



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



# PIANO TRIENNALE



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
**PIANO TRIENNALE 2023 | 2025**

In copertina: il triennio 2023-2025 sarà fortemente connotato dalle attività del PNRR.  
La copertina è dedicata alle diverse applicazioni della fisica di base in questo contesto.

Ente	ISTITUTO NAZIONALE FISICA NUCLEARE INFN
------	--



## *PIANO TRIENNALE DI ATTIVITÀ 2023 - 2025*

### *AGGIORNAMENTO 2023*

## **INDICE**

<b>INTRODUZIONE .....</b>	I
<b>1. L'ISTITUTO .....</b>	1
<b>2. LE RISORSE FINANZIARIE.....</b>	3
2.1 L'EVOLUZIONE STORICA DEL BILANCIO .....	3
2.2 LE RISORSE ORDINARIE .....	4
2.3 IL PROFILO TRIENNALE DELLE RISORSE DISPONIBILI E DELLA SPESA PER IL PERIODO 2023-2025 .....	7
<b>3. LE RISORSE DI PERSONALE .....</b>	11
3.1 FABBISOGNO DI PERSONALE .....	11
3.2 PARITÀ, pari opportunità e benessere organizzativo.....	18

<b>4. GLI OBIETTIVI GESTIONALI E ORGANIZZATIVI.....</b>	<b>21</b>
<b>5. L'ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA.....</b>	<b>23</b>
5.1 RESOCONTO DELL'ATTIVITÀ SVOLTA .....	23
5.1.1 <i>Fisica delle particelle agli acceleratori</i> .....	23
5.1.2 <i>Fisica astroparticellare</i> .....	25
5.1.3 <i>Fisica nucleare</i> .....	26
5.1.4 <i>Fisica teorica</i> .....	27
5.1.5 <i>Ricerca tecnologica e interdisciplinare</i> .....	29
5.2 PROSPETTIVE PER LE ATTIVITÀ DI RICERCA NELLE CSN PER IL PERIODO 2023 - 2025 .....	32
5.2.1 <i>Fisica delle particelle agli acceleratori</i> .....	32
5.2.2 <i>Fisica astroparticellare</i> .....	33
5.2.3 <i>Fisica nucleare</i> .....	35
5.2.4 <i>Fisica teorica</i> .....	36
5.2.5 <i>Ricerche tecnologiche e interdisciplinari</i> .....	36
<b>6. LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA .....</b>	<b>39</b>
6.1 I LABORATORI NAZIONALI.....	39
6.1.1 <i>Laboratori Nazionali di Frascati – LNF</i> .....	39
6.1.2 <i>Laboratori Nazionali del Gran Sasso – LNGS</i> .....	40
6.1.3 <i>Laboratori Nazionali di Legnaro – LNL</i> .....	45
6.1.4 <i>Laboratori Nazionali del Sud – LNS</i> .....	47
6.2 CENTRI NAZIONALI.....	51
6.2.1 <i>CNAF</i> .....	51
6.2.2 <i>Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics – GGI</i> .....	52
6.2.3 <i>Trento Institute for Fundamental Physics and Applications – TIFPA</i> .....	54
6.3 ALTRE INFRASTRUTTURE.....	56
6.3.1 <i>Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BEni Culturali – LABEC</i> .....	56
6.3.2 <i>Laboratorio Acceleratori e Supercondutività Applicata – LASA</i> .....	57
6.3.3 <i>European Gravitational Observatory – EGO</i> .....	58
6.3.4 <i>European Plasma Research Accelerator with Excellence in Applications – EuPRAXIA</i> .....	58
<b>7. I PROGETTI CON ALTRI ENTI E UNIVERSITÀ, PROGETTI EUROPEI, ERIC E FONDI ESTERNI....</b>	<b>61</b>
7.1 UNIVERSITÀ ED ALTRI ENTI .....	61
7.2 PROGETTI EUROPEI ED ERIC.....	61
7.3 FONDI ESTERNI .....	63
<b>8. I PROGETTI DEL PNRR .....</b>	<b>65</b>
8.1 I PROGETTI A GUIDA INFN .....	65
8.2 ALTRE ATTIVITÀ.....	69
8.3 LA GOVERNANCE .....	69
<b>9. LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, SOCIETÀ E FONDAZIONI .....</b>	<b>71</b>
<b>10. LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE E ALTA FORMAZIONE .....</b>	<b>73</b>
10.1 LE ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE E DI DIFFUSIONE DELLA CULTURA SCIENTIFICA .....	74
10.1.1 <i>Ufficio Comunicazione</i> .....	74
10.1.2 <i>Commissione coordinamento 3<sup>a</sup> missione – CC3M</i> .....	77
10.2 L'INFN PER L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LA COMPETITIVITÀ INDUSTRIALE .....	78
<b>11. LA VALUTAZIONE DELL'ENTE .....</b>	<b>83</b>

## APPENDICE: CVI REPORT 2022

## INTRODUZIONE

Il Piano Triennale di Attività 2023-2025 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'ente nei prossimi tre anni.<sup>1</sup>

Ricordo le principali caratteristiche dell'ente:

- una missione molto chiara che si traduce in una forte compattezza della comunità con conseguente grande efficienza dei progetti;
- un auto-governo responsabile: buon equilibrio tra la rappresentatività della comunità e il controllo MUR unito a una gestione interna fortemente orientata dalla scienza. Nell'INFN, oltre all'ampio coinvolgimento del personale di ricerca negli organi di governo, il modello di gestione e organizzazione, simile ad altri utilizzati dalla ricerca a livello internazionale, prevede la partecipazione e il contributo continuo della comunità scientifica. Proposte provenienti da tutta la comunità, valutazione ex-ante, revisione e controllo ex-post dei pari, pianificazione degli obiettivi scientifici e delle risorse da parte di organi rappresentativi della comunità scientifica. L'auto-governo responsabile è uno degli elementi identitari dell'Istituto, che maggiormente ha contribuito e contribuisce al successo della nostra attività di ricerca, da preservare assolutamente nello spirito e nella sostanza;
- un rapporto strettissimo con le università grazie a una diffusione capillare sul territorio nazionale. L'INFN fornisce un cruciale sostegno alle attività di ricerca in fisica delle università, rappresentando una fonte di ricchezza e vivacità culturale e traendo vantaggio dal rapporto con i giovani, alla cui formazione contribuisce attivamente;
- un'eccellente capacità di formazione a livello di lauree, dottorati e attività *post-doc*. I giovani si qualificano e ottengono risultati eccezionali anche all'estero e costituiscono un grande serbatoio di competenze, che spesso trasferiscono alla società. La prova di questa capacità è negli ottimi risultati della valutazione ministeriale e delle abilitazioni nazionali. Allo stesso tempo, le nostre attività e infrastrutture di ricerca attraggono scientificamente anche studiosi, in particolare giovani, provenienti dall'estero, come dimostra il successo del programma annuale di borse *post-doc* per stranieri;
- attività di ricerca che si svolgono in gran parte nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali in cui rivestiamo ruoli di primo piano. Siamo tra i leader del CERN, il più grande laboratorio mondiale di fisica delle alte energie. Abbiamo i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), il più grande e più facilmente accessibile laboratorio sotterraneo esistente, una infrastruttura di ricerca unica utilizzata da ricercatori provenienti da tutto il mondo. Il consorzio EGO (in compartecipazione con il CNRS francese e il NIKHEF olandese) a Cascina (Pisa), dove si svolge l'esperimento VIRGO, si è dimostrato strumento straordinario per il successo nella ricerca delle onde gravitazionali;
- infrastrutture di ricerca proprie: oltre ai LNGS, altri tre grandi laboratori, i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) e i Laboratori Nazionali del Sud (LNS), in grado di portare avanti ricerca di eccellenza e allo stesso tempo permettere la formazione di giovani di assoluto valore. La sfida di questi anni è rinnovare queste strutture e mantenerle competitive. Per questo, oltre alle attività

---

<sup>1</sup> Una [pagina web](#) dedicata ai piani triennali mette a disposizione online tutti i documenti, oltre alle schede delle attività e dei progetti. L'accesso alla pagina richiede un account Microsoft 365 personale o aziendale che, se necessario, può essere ottenuto [qui](#).

pluriennali che li caratterizzano, tutti questi laboratori hanno in corso piani di potenziamento, alimentati da fondi europei, nazionali e regionali, che prevedono la costruzione di nuove infrastrutture di livello internazionale in vari campi di ricerca e applicativi;

- ricadute di utilità sociale e trasferimento tecnologico: le nostre ricerche fanno uso e richiedono lo sviluppo di tecnologie avanzate insieme al mantenimento di know-how. Queste trovano naturale applicazione a temi di alta utilità sociale: beni culturali, *cloud computing* e calcolo *HPC*, *quantum technologies*, intelligenza artificiale, radioterapie innovative come l'adroterapia, strumentazione e metodologie avanzate di diagnostica medica, produzione di radioisotopi per la farmaceutica e molto altro;
- attività strutturate di terza missione, *public engagement* e alta formazione, coordinate a livello nazionale e presenti nelle strutture sul territorio;
- esistenza da lungo tempo di un sistema di autovalutazione con l'ausilio di un Comitato di Valutazione Internazionale.

L'anno appena trascorso ha visto l'istituto fortemente impegnato nell'elaborazione dei progetti presentati nell'ambito della Missione 4 del PNRR. La nostra strategia è stata di utilizzare al meglio il *know-how* presente nell'ente per potenziare le nostre infrastrutture, sviluppare nuovi progetti di R&D per la ricerca e le applicazioni del futuro, coordinare e potenziare le nostre attività in settori tecnologici emergenti come la superconduttività a alta temperatura, il calcolo ad alte prestazioni, i *big data*, l'intelligenza artificiale e le tecnologie quantistiche, inserendo i nuovi progetti nell'ambito della politica di aggiornamento e potenziamento delle nostre infrastrutture di ricerca già avviata da alcuni anni.

La nostra decennale esperienza nel calcolo scientifico e nei *big data* ci ha candidato naturalmente a guidare la proposta di [ICSC](#), il centro nazionale di ricerca in *high performance computing*, *big data* e *quantum computing*. Gestito dalla Fondazione ICSC secondo il modello hub e spoke, il centro ha un budget di oltre 300 milioni di euro, conta 52 partecipanti tra università, istituti di ricerca e aziende e mira a diventare il riferimento per il calcolo scientifico, integrando e potenziando le risorse esistenti, per arrivare ad un'infrastruttura nazionale di tipo *cloud data lake* su reti ad alte prestazioni, a vantaggio di tutto il sistema nazionale della ricerca. In sinergia con ICSC, l'INFN è capofila anche del progetto infrastrutturale TeRABIT, in collaborazione con GARR e OGS, volto a potenziare la rete per la ricerca in alcune aree geografiche, come ad esempio la Sardegna, e partecipa ai due partenariati estesi FAIR, sugli aspetti fondazionali della intelligenza artificiale, e NQSTI, che si occupa di tecnologie quantistiche, temi questi che sono già presenti nelle nostre ricerche e che siamo interessati a sviluppare ulteriormente.

Oltre a TeRABIT, nell'ambito del bando PNRR per le infrastrutture di ricerca e innovazione, sono stati finanziati altri 5 progetti a guida INFN finalizzati a potenziare ed estendere infrastrutture di ricerca attive o in corso di costruzione nei nostri laboratori nazionali: EU-APS è sinergico alle attività dell'infrastruttura europea EuPRAXIA in costruzione a LNF; KM3NeT4RR dà un forte impulso al completamento del telescopio per neutrini sottomarino ARCA, costruito a largo del sito di Capo Passero dei LNS; LNGS-FUTURE potenzia i LNGS con riferimento specifico alla ricerca di eventi rari.

I due progetti rimanenti riguardano infrastrutture che si occupano di preparare le tecnologie del futuro in due importanti settori delle nostre ricerche: IRIS costituisce un'infrastruttura distribuita tra Milano-LASA, Genova e Salerno che si occupa di sviluppare tecnologie superconduttrive ad alta temperatura per la realizzazione di magneti ad alto campo per gli

acceleratori di particelle di prossima generazione, ma anche per applicazioni civili, come i cavi per il trasporto dell'energia elettrica; ETIC si propone di sviluppare la tecnologia necessaria per costruire l'interferometro per la rivelazione di onde gravitazionali di prossima generazione, *Einstein Telescope* (ET), e progettarne la costruzione nel sito di Sos Enattos in Sardegna.

L'istituto è infatti fortemente impegnato a promuovere la candidatura italiana a ospitare ET, in competizione con il sito proposto da Belgio, Germania e Paesi Bassi, potendo contare sul pieno supporto del Governo e della Regione Sardegna, che hanno già reso disponibile una parte del finanziamento necessario al progetto. Il sito italiano si distingue per livelli di sismicità e rumore antropico tra i più bassi in Europa che lo rendono un candidato eccellente.

Siamo inoltre partner di 3 progetti di potenziamento di infrastrutture di ricerca guidati da altri enti: CTA+ a guida INAF, EBRAINS-Italy e ITINERIS, entrambi guidati dal CNR. Grazie alla nostra distribuzione sul territorio nazionale, siamo in grado di contribuire anche agli ecosistemi regionali per l'innovazione in Emilia-Romagna, nel Lazio, in Liguria, in Sicilia e in Toscana, dove mettiamo le nostre competenze al servizio di attività di interesse sociale che spaziano dalle scienze della vita alla preservazione del patrimonio culturale, dal trasferimento tecnologico alla transizione digitale. Infine, prendiamo parte ad altri tre partenariati estesi: *SPACE IT UP*, cofinanziato da MUR e ASI e riguardante le attività di ricerca nello spazio, ANTHEM e DARE, cofinanziati sul piano di investimenti complementari del PNRR da MUR e Ministero della Salute con tema "*Research initiatives for technologies and innovative trajectories in the health and care sectors*".

Questo eccezionale sforzo progettuale, realizzato con successo in pochi mesi, è un'ulteriore conferma delle capacità dell'Istituto nel pianificare e proporre nuove iniziative. La vera sfida, tuttavia, viene dall'esecuzione dei progetti che, per dimensioni e tempistiche, costituiscono un banco di prova formidabile per qualsiasi struttura amministrativa e gestionale. Il PNRR ha portato circa 300 milioni di euro all'INFN, aumentando il *budget* dell'ente del 50% per il 2022 e 2023, da investire entro i prossimi due-tre anni in risorse strumentali e umane, seguendo regole diverse da quelle delle procedure ordinarie. Questa impresa, per avere successo, ha bisogno di estrema chiarezza delle regole di rendicontazione, massima semplificazione delle procedure amministrative e collaborazione a tutti i livelli istituzionali. Per far fronte a questa emergenza, l'istituto ha costituito una struttura temporanea di missione PNRR con una cabina di regia guidata da un *portfolio manager* di grande esperienza, che affianca la struttura amministrativa e gestionale ordinaria negli ambiti del reclutamento, del *procurement*, della rendicontazione e del *project management*, avvalendosi anche del supporto di una società di consulenza esterna. In questo modo, contiamo di riuscire a far fronte nei tempi previsti al forte incremento dei carichi di lavoro amministrativo e gestionale dovuti alle attività legate al PNRR senza incidere eccessivamente sullo svolgimento delle altre attività dell'Istituto.

L'impegno straordinario per i progetti PNRR, infatti, non ha rallentato le nostre attività di ricerca, come potrete leggere in dettaglio in questo piano triennale.

Il CERN è il nostro laboratorio internazionale di riferimento per la fisica agli acceleratori di alta energia, con un'ampia e apprezzata comunità INFN. A LHC, nel luglio 2022 è partito il nuovo periodo di presa dati (Run 3) e gli esperimenti ATLAS e CMS hanno raggiunto l'obiettivo previsto per il 2022 in termini di dati raccolti, nonostante il periodo di presa dati sia stato accorciato di due settimane per ridurre i costi energetici. Oltre a CERN, abbiamo importanti collaborazioni con esperimenti a *collider* americani e asiatici, in particolare nel settore della fisica di alta intensità. Per quanto riguarda la preparazione del futuro, proseguono le attività di R&D per il *collider* europeo di prossima generazione FCC (*Future*

*Circular Collider*), senza trascurare progetti ambiziosi come il *Muon Collider* e le nuove tecniche di accelerazione al plasma con tecnologie laser, che sono il tema di ricerca della già citata infrastruttura europea EuPRAXIA in costruzione a LNF, con ricadute interessanti in vari campi applicativi.

Sono proseguite anche le attività di fisica astro-particellare, che si svolgono nello spazio, nei laboratori sotterranei e in quelli sottomarini, alcune delle quali condotte in collaborazione con altri enti come ASI, INAF e INGV. LNGS ospita una frazione importante di queste attività e continua a rappresentare un luogo unico e ideale per le ricerche di eventi rari. Numerosi e importanti esperimenti per lo studio della radiazione cosmica, delle proprietà del neutrino, per l'osservazione diretta della materia oscura e le onde gravitazionali, che vedono importanti partecipazioni di gruppi di ricerca INFN, sono in corso di presa dati, in fase di progettazione o costruzione a LNGS, a LNS e in altri laboratori in Europa, Americhe e Asia. Per quanto riguarda gli scenari futuri, oltre al già citato interferometro ET in Sardegna, l'impegno dell'INFN è ospitare a LNGS due dei tre rivelatori per lo studio delle proprietà dei neutrini di prossima generazione, CUPID e LEGEND-1000, mantenendo la leadership in questo settore di ricerca. Purtroppo, al momento, questi due progetti versano in uno stato di incertezza legato all'instabilità della situazione internazionale dovuta al conflitto russo-ucraino.

Nell'ambito della fisica nucleare, l'esperimento ALICE a LHC ha ripreso la presa dati per il Run 3 con i nuovi rivelatori installati durante lo *shutdown* appena terminato. Stiamo completando la preparazione degli esperimenti *flagship* dei nostri laboratori nazionali in questo settore, SPES a LNL e il nuovo ciclotrone superconduttore a LNS, mentre a LNGS è iniziata l'attività sperimentale di astrofisica nucleare. Proseguono anche le misure di interesse medico per l'adroterapia e per lo studio di materiali adatti agli schermi di protezione dai raggi cosmici delle future missioni spaziali. Per la preparazione del futuro più lontano, abbiamo partecipato alla definizione dell'esperimento EPIC che sarà operativo al nuovo *Electron Ion Collider* a BNL (USA) intorno al 2030.

Le attività di ricerca INFN nel campo della fisica teorica continuano a svilupparsi in stretta collaborazione con il mondo accademico e altre istituzioni scientifiche, sia in Italia che all'estero. Una rilevante frazione di queste ricerche è legata alla ricerca sperimentale presente e futura condotta dall'INFN nel campo della fisica delle particelle, della fisica nucleare e dell'astrofisica. Durante il 2022, segnaliamo la forte ripresa in presenza del programma di workshop e scuole del GGI (*Galileo Galilei Institute*), il nostro centro nazionale di studi avanzati. Il GGI conferisce anche la *Galileo Galilei Medal* per la fisica teorica e sono appena stati annunciati i vincitori dell'edizione 2023: Zvi Bern, Lance Dixon e David Kosower sono stati premiati per i loro studi su tecniche innovative per il calcolo di alti ordini in teoria delle perturbazioni, ingrediente teorico indispensabile per la comprensione dei fenomeni misurati a LHC.

Nel 2022, l'attività tecnologica e interdisciplinare si è sviluppata attraverso un centinaio di progetti che vanno dalle tecnologie quantistiche all'intelligenza artificiale per la diagnostica medica, ai rivelatori per calorimetri e per i beni culturali, con particolare attenzione alle proposte dei giovani ricercatori. In particolare, al LABEC di Firenze le nostre tecnologie hanno un utilizzo importante nel settore dei beni culturali, e il polo di Firenze anima la rete CHNET che è il nodo nazionale della rete europea per i beni culturali E-RIHS. Continua la costruzione di un acceleratore di nuova concezione in collaborazione con il CERN e sarà presto installato presso l'Opificio delle Pietre Dure, che diventerà così il secondo museo in Europa a poter disporre di uno strumento di diagnostica così sofisticato. Per quanto riguarda l'adroterapia, l'INFN si sta impegnando a consolidare le competenze sviluppate nel passato nel campo degli acceleratori per la cura dei tumori, rafforzando il rapporto con il CNAO, il

Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica, il cui sincrotrone è stato costruito da una collaborazione tra CERN e INFN, e sviluppando le attività di fisica medica al nostro centro nazionale TIFPA e a LNS.

Per quanto riguarda il calcolo scientifico, negli ultimi due decenni l'INFN ha realizzato un'infrastruttura nazionale multidisciplinare a supporto del calcolo scientifico tra le più vaste d'Europa, basata sul modello del *grid computing*. L'utilizzo è sempre stato dominato dalle collaborazioni a LHC, ma recentemente hanno assunto un ruolo importante anche altre comunità. L'infrastruttura è costituita da un Tier-1 al CNAF e 10 centri Tier-2 sul tutto il territorio nazionale. Il supercomputer Leonardo, realizzato dal consorzio italo-sloveno composto per la parte italiana da CINECA, INFN e SISSA, è stato installato presso il Tecnopolo di Bologna e inaugurato a novembre 2022 con una cerimonia alla quale ha partecipato il Presidente della Repubblica. Il Tecnopolo ospiterà a breve anche il *data center* del nostro centro nazionale per il calcolo CNAF, che verrà spostato nel corso del 2023. Nel campo emergente del *quantum computing*, i nostri interessi vanno dalla fisica delle basse, medie e alte energie, agli algoritmi per la minimizzazione generica e ai simulatori quantistici. L'INFN è l'unico partner non statunitense del progetto SQMS a Fermilab sulle tecnologie quantistiche, finanziato con 115 milioni di dollari. Tutte le attività del calcolo saranno integrate e potenziate nell'ambito del centro nazionale ICSC.

In ambito europeo è operativa una strategia comune dell'INFN con CNR e Sincrotrone di Trieste che identifica l'intera filiera che va dalla costruzione delle macchine acceleratrici fino al loro sfruttamento da parte dell'utenza (esempi ne sono XFEL, ESS, ELI, ESRF, EuroFel, SESAME). Prosegue la costruzione di parti rilevanti di ESS a Lund, in Svezia e continuiamo, terminata la costruzione, il supporto tecnico-scientifico a SESAME, che costituisce il più importante centro di ricerca internazionale del Medio Oriente, nel quale sono coinvolti Cipro, Egitto, Giordania, Iran, Israele, Pakistan.

Come istituzione che opera su temi scientifici di frontiera, l'INFN ha quindi un rilevante impatto sul progresso della conoscenza, sullo sviluppo tecnologico e per l'economia del Paese. L'Istituto è fortemente impegnato nella attività di terza missione, dal trasferimento tecnologico all'alta formazione e alla diffusione della cultura scientifica. I festeggiamenti per i 70 anni dell'Istituto, che si sono conclusi nel 2022, sono stati un'ulteriore occasione per organizzare eventi sulla nostra storia e le nostre ricerche nelle strutture presenti su tutto il territorio nazionale.

Siamo estremamente soddisfatti del risultato dell'ultima VQR 2015-2019 che ci vede primi per qualità tra i grandi enti di ricerca, confermando gli ottimi risultati delle VQR precedenti.

Sul piano organizzativo dedichiamo una grande attenzione alla pianificazione e alla realizzazione del riammodernamento gestionale che prevede una razionalizzazione degli aspetti amministrativi e tecnici. Nel 2022 abbiamo proseguito nell'aggiornamento, implementazione e monitoraggio dei nostri obiettivi gestionali e organizzativi, inclusa la valutazione della performance, come descritto nel Piano Integrato di Attività e Organizzazione (PIAO) e proceduto a una profonda revisione del SMVP (Sistema di Valutazione della Performance), sia a livello individuale che di ente.

Il 2022 ha visto il FOE aumentare di alcuni punti percentuali grazie principalmente agli interventi del Governo sul reclutamento straordinario e i passaggi di livello a cui, per mantenere i livelli di eccellenza, dovrebbe seguire e consolidarsi un aumento delle entrate per spese di ricerca. Nel 2024, in coincidenza con la fine delle entrate legate al PNRR, la spesa destinata alla ricerca potrebbe subire una diminuzione consistente, riassestandosi sui valori precedenti al 2022. Per consolidare le attività di ricerca attualmente sostenute dai fondi del PNRR, è indispensabile poter fare affidamento su un aumento stabile dei fondi destinati a spese per la ricerca.

Nel 2023 prosegue l'attuazione della politica di riequilibrio dei profili dopo il completamento delle stabilizzazioni e del piano straordinario di reclutamento del personale di ricerca, con nuove posizioni nei livelli IV-VIII. Prosegue anche la valorizzazione del nostro personale con un elevato numero di progressioni, sia di livello che stipendiali, per i livelli IV-VIII e le mobilità orizzontali per tutto il personale. Per le progressioni dei livelli I-III sono stati fatti concorsi interni, anche in questo caso per un numero elevato di posizioni. Queste ultime sono state finanziate sui fondi previsti a questo scopo nella legge di bilancio 2022. La parte rimanente di questi fondi verrà utilizzata nel 2023 per ulteriori passaggi con l'obiettivo di svuotare almeno in parte il III livello. Lo scopo è avere un tempo medio di permanenza nel III livello paragonabile alla durata del RTD universitario, in modo da rimanere competitivi nel reclutamento del personale di ricerca. La riforma del preruolo universitario, con lo stralcio degli enti di ricerca, rischia infatti di incidere negativamente sulla qualità del reclutamento degli enti e rendere impossibile la già scarsa mobilità del personale nelle due direzioni. Da questo punto di vista è estremamente importante mantenere il parallelismo tra le carriere nell'università e negli enti di ricerca e incentivare la mobilità con provvedimenti mirati.

A questo problema si aggiunge la difficoltà di essere attrattivi nei riguardi di studiosi (stranieri o italiani) operanti all'estero a causa delle condizioni oggettivamente sfavorevoli: difficoltà di accesso ai concorsi, offerta economica sotto la media europea (svantaggio compensato nei primi cinque anni dai benefici fiscali), scarse prospettive di carriera, ostacoli burocratici, barriera linguistica. È indispensabile continuare a sviluppare programmi e norme volti ad attrarre ricercatori dall'estero, sia italiani che stranieri.

A queste criticità, vorrei aggiungere la complessità del codice degli appalti che mal si adatta alle esigenze del *procurement* per attività di ricerca internazionalizzate e ad alta tecnologia come le nostre, finendo per appesantire notevolmente il lavoro dell'amministrazione.

La soluzione finale a tutti i problemi di acquisizione di risorse strumentali ed umane richiederebbe la definizione di un quadro normativo specifico per gli EPR, pensato per le esigenze della ricerca, che superi definitivamente la normativa generale della pubblica amministrazione.

Purtroppo, anche quest'anno devo concludere parlando dell'impatto della guerra russa-ucraina sulla nostra comunità, dal momento che il conflitto non si è concluso rapidamente come tutti ci auguravamo. I laboratori e le collaborazioni internazionali continuano a essere in grande difficoltà. Le regole della scienza, basate sulla collaborazione e la condivisione di obiettivi comuni, non si coniugano con la guerra e l'embargo. L'Istituto continua a adoperarsi per promuovere soluzioni che possano tenere aperti i canali tra i popoli, ricordando che la scienza ha sempre avuto questo ruolo anche nei periodi storici più difficili. In attesa della conclusione del conflitto, abbiamo cercato di aiutare i nostri colleghi ucraini e russi, in fuga da guerra o repressione, predisponendo un programma di accoglienza temporanea cofinanziato con i fondi messi a disposizione dal Governo.

Antonio Zoccoli - Presidente dell'INFN

## 1. L'ISTITUTO

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è l'ente pubblico di ricerca, vigilato dal MUR, dedicato allo studio dei costituenti fondamentali della materia e alle loro interazioni; la sua attività di ricerca, teorica e sperimentale si estende ai campi della fisica subnucleare, nucleare e delle astro-particelle. L'ente considera poi con grande attenzione tutte le applicazioni, derivanti da tale ricerca di base, che abbiano un significativo impatto sulla società, il territorio e il suo tessuto produttivo, e costituiscano un importante stimolo per l'innovazione tecnologica del nostro Paese.

Le attività di ricerca dell'INFN si svolgono in un ambito di collaborazione e competizione internazionale e in stretta cooperazione con il mondo universitario italiano, sulla base di consolidati e pluridecennali rapporti. Numerose attività di ricerca sono condotte in sinergia con altri enti di ricerca nazionali. La ricerca fondamentale nei settori di interesse dell'ente richiede l'uso di tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia che l'INFN sviluppa sia nei propri laboratori che in collaborazione con partner industriali.

L'attività dell'INFN si basa su due tipi di strutture di ricerca complementari: le sezioni e i laboratori nazionali (vedi Figura 1.1). I quattro laboratori nazionali, con sede a Catania (LNS – Laboratori Nazionali del Sud), Frascati (LNF – Laboratori Nazionali di Frascati), Gran Sasso (LNGS – Laboratori Nazionali del Gran Sasso) e Legnaro (LNL – Laboratori Nazionali di Legnaro), rappresentano un'ossatura fondamentale per tutte le iniziative dell'INFN e ospitano grandi apparecchiature e infrastrutture messe a disposizione della comunità scientifica nazionale e internazionale. Le 20 sezioni e i 6 gruppi collegati alle sezioni o laboratori hanno sede in altrettanti dipartimenti di fisica universitari e realizzano la stretta connessione tra l'istituto e le università.

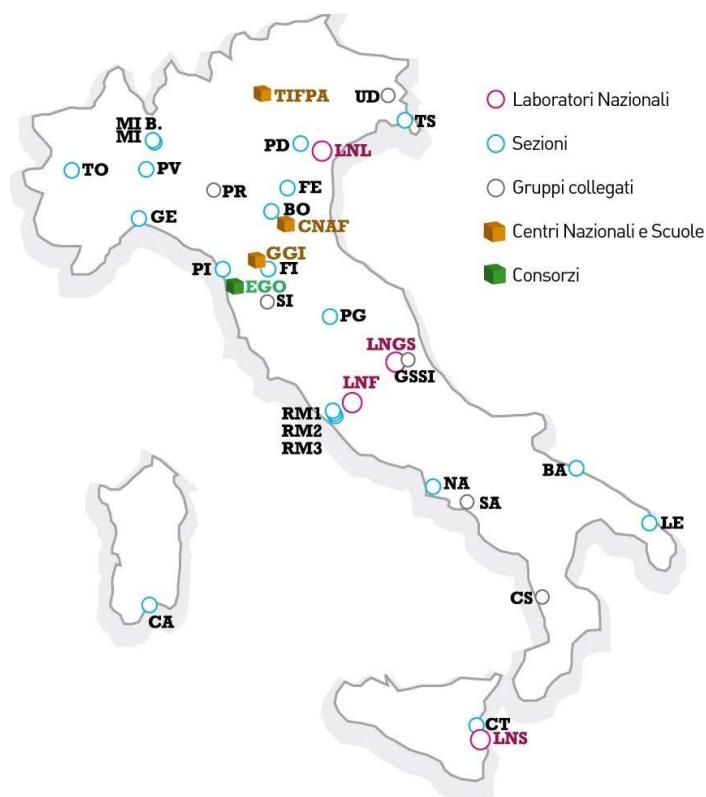


Figura 1.1 Le strutture sul territorio nazionale

A supporto delle attività INFN vi sono inoltre tre centri nazionali: il CNAF di Bologna, che ospita il principale centro di calcolo dell'ente; il TIFPA di Trento (*Trento Institute for Fundamental Physics and Applications*), un centro nazionale di scienza e tecnologia gestito insieme alla provincia, all'università ed alla fondazione Bruno Kessler; il GGI (*Galileo Galilei Institute*) di Firenze, istituto d'eccellenza per l'alta formazione in fisica teorica in collaborazione con l'università di Firenze.

Oltre ai laboratori e ai centri nazionali, l'ente partecipa ad altre grandi infrastrutture di ricerca sul territorio, come EGO (*European Gravitational Observatory*) che opera, mantiene e sviluppa l'interferometro VIRGO per lo studio delle onde gravitazionali con sede a Cascina (PI) o come KM3NeT, l'infrastruttura di ricerca distribuita che raccoglie i telescopi per neutrini di prossima generazione nel mare Mediterraneo, a cui l'Italia contribuisce con il telescopio sottomarino ARCA (*Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss*) a largo di Capo Passero in Sicilia.

Per lo svolgimento dell'attività scientifica, l'istituto si avvale di cinque Commissioni scientifiche nazionali (CSN), organismi consultivi del Consiglio direttivo. Esse coprono le seguenti linee scientifiche: fisica subnucleare (CSN1), fisica astro-particellare (CSN2), fisica nucleare (CSN3), fisica teorica (CSN4), ricerche tecnologiche e interdisciplinari (CSN5).

L'organizzazione manageriale e scientifica dell'ente è mostrata in Figura 1.2

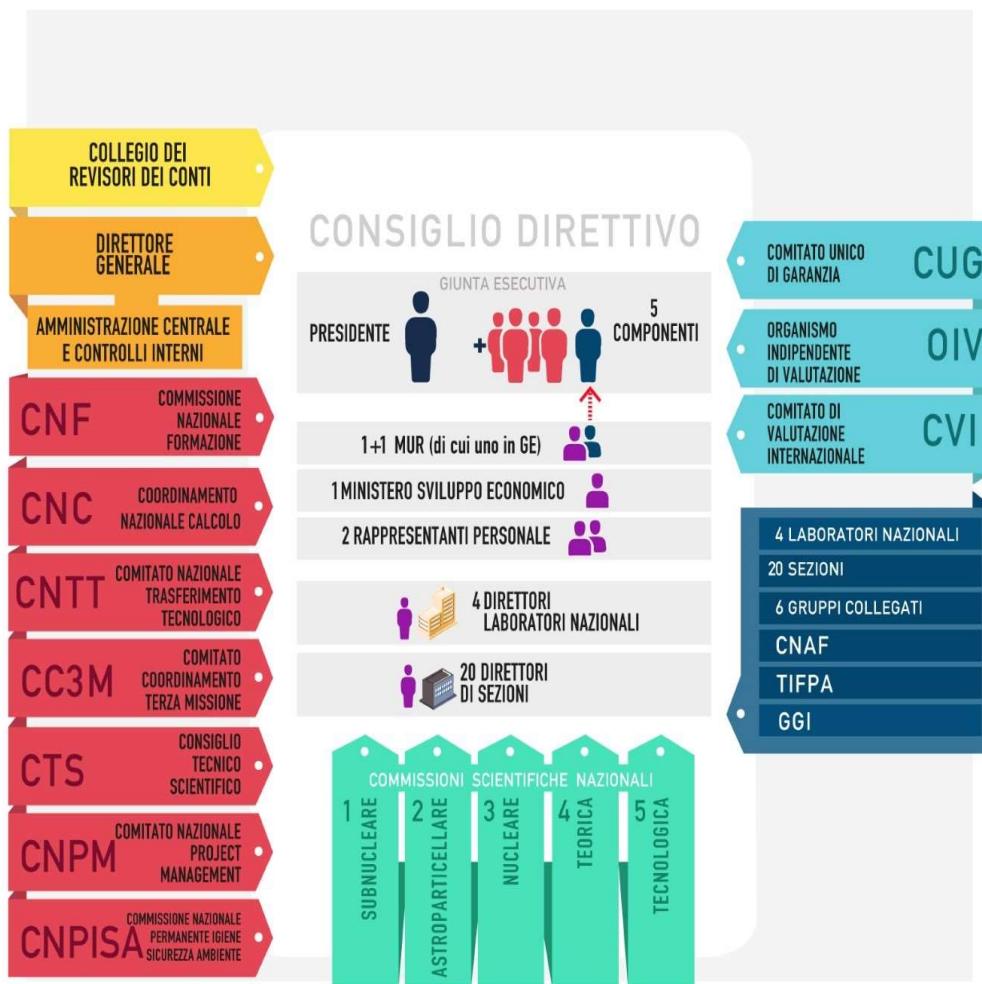


Figura 1.2 L'organizzazione dell'ente

## 2. LE RISORSE FINANZIARIE

### 2.1 L'evoluzione storica del bilancio

Il Bilancio dell'ente si compone delle seguenti entrate:

- a) il Fondo di finanziamento ordinario erogato dal Ministero dell'Università e della Ricerca in attuazione del D. Lgs. 204/1998 art. 7, recante "Disposizioni per il coordinamento, la programmazione e la valutazione della politica nazionale relativa alla ricerca scientifica e tecnologica", ai sensi della legge 59/1997 art. 11, c. 1, lettera d);
- b) gli ulteriori finanziamenti straordinari statali previsti dalla legge di bilancio o da provvedimenti normativi d'urgenza;
- c) per l'esercizio 2023 i finanziamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il piano che si inserisce all'interno del programma Next Generation EU (NGEU) e all'interno del quale l'istituto ha presentato - in qualità di proponente, coproponente, hub, spoke, affiliato spoke- e sono stati approvati 16 progetti per un ammontare complessivo finanziato di 353 M€, di cui 166 M€ accertati nell'esercizio 2022, e 187,5 M€ previsti per l'esercizio 2023;
- d) i finanziamenti per progetti esterni di ricerca o tecnologici provenienti da diverse fonti tra cui ad esempio i fondi dei programmi europei e i fondi regionali (PON e POR);
- e) in via del tutto residuale, i proventi dall'attività di trasferimento tecnologico.

La figura (Fig. 2.1) illustra le entrate dell'ente tratte dai bilanci consuntivi dell'istituto, dai dati consolidati al 31 dicembre 2022 e preventivati per l'esercizio 2023 a partire dal 2010, ripartite in due blocchi: trasferimenti correnti da ministeri a) e b) (FOE e altre entrate utilizzate per attività a carattere istituzionale) e tutte le altre entrate con vincolo di destinazione di cui alle lettere c), d) (entrate destinate alla realizzazione di progetti di ricerca specificamente finanziati) ed e).

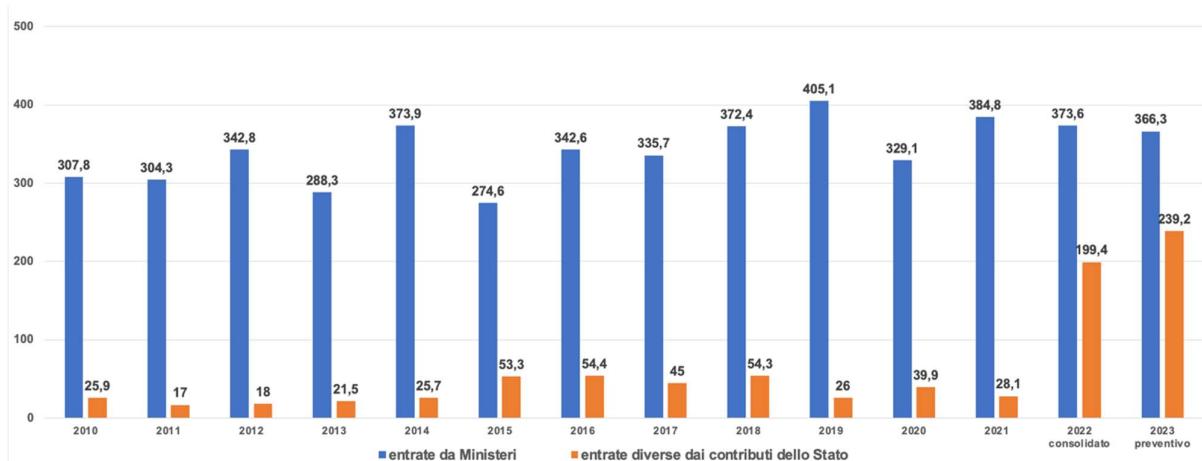


Figura 2.1 Entrate

Le entrate destinate allo svolgimento dell'attività istituzionale, dopo una progressiva e costante riduzione rispetto ai massimi del 2000, negli ultimi 10 anni si sono stabilizzate e, con i provvedimenti governativi degli ultimi anni, tendono ad un incremento. In particolare, si è registrato un aumento delle entrate destinate all'assunzione di nuovo personale (Tab.

2.2 e Cap. 3) a cui dovrebbe seguire e consolidarsi un aumento delle entrate per spese di ricerca. Di contro si è avuto un incremento altalenante delle entrate con vincolo di destinazione e delle entrate per progetti esterni; queste ultime 3 si riferiscono a fondi destinati a progetti di ricerca o tecnologici di durata pluriennale provenienti da diverse fonti, tra cui ad esempio i fondi dei programmi europei, i fondi regionali (PON e POR) e i fondi per lo sviluppo infrastrutturale.

L'istituto si è attivato per avere accesso ai finanziamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il piano che si inserisce all'interno del programma Next Generation EU (NGEU) con un pacchetto da 750 Mrd€ costituito per circa la metà da sovvenzioni, concordato dall'Unione Europea in risposta alla crisi pandemica. La principale componente del programma NGEU è il Dispositivo per la Ripresa e Resilienza (Recovery and Resilience Facility - RRF), che ha una durata di sei anni, dal 2021 al 2026, e una dimensione totale di 672,5 Mrd€ (312,5 miliardi di euro di sovvenzioni, i restanti 360 miliardi di euro di prestiti a tassi agevolati). In questo scenario il PNRR individua la ricerca e l'innovazione come motori per la ripartenza del Paese e come strumenti fondamentali per lo sviluppo economico e sociale. Ritenendola un'occasione unica per contribuire alla ripresa della Nazione, l'ente ha individuato una serie di iniziative progettuali in essere o da attivare che, grazie al finanziamento del PNRR, potranno essere portate a compimento in tempi rapidi.

I prossimi anni vedranno quindi l'istituto fortemente impegnato nella gestione dei numerosi progetti ammessi al finanziamento e questo comporterà un notevole sforzo sia manageriale che organizzativo per raggiungere gli obiettivi prefissati (Cap. 8).

## 2.2 Le risorse ordinarie

Il budget INFN viene assegnato dal MUR attraverso il FOE e si compone di diverse parti che sono riassunte nella tabella 2.1, che riporta l'assegnazione del FOE 2022.

Decreto MUR n. 571 del 21 giugno 2022	
FOE ordinario MUR	276.397.972
FOE internazionali	31.550.000
FOE a carattere continuativo	18.000.000
FOE straordinario	750.000
<b>Totale Entrate</b>	<b>318.697.972</b>

*Tabella 2.1 – Composizione del FOE (euro)*

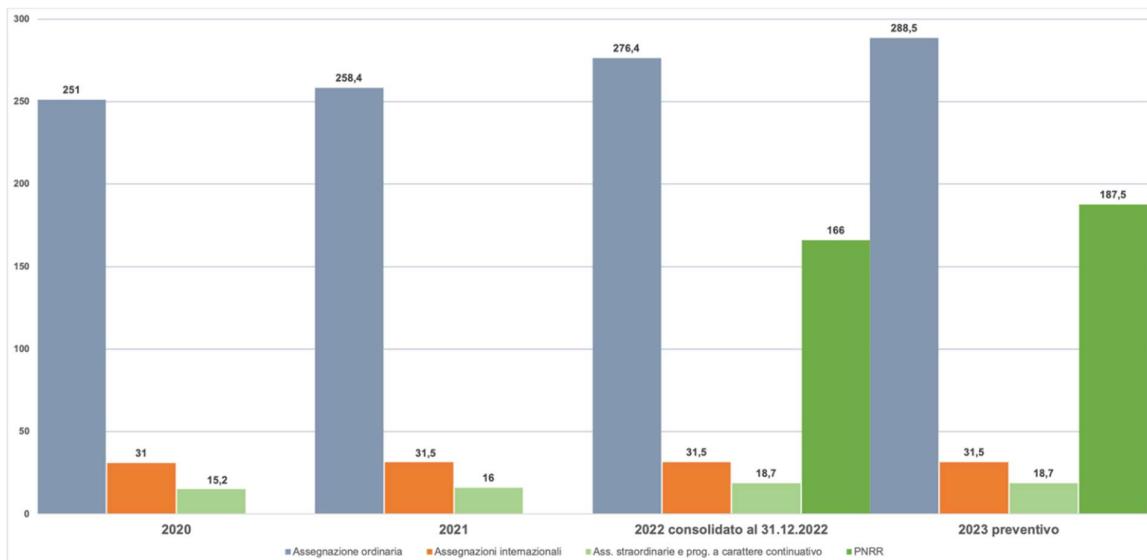
Tra queste diverse voci solo la prima non ha una destinazione vincolata a progetti di ricerca predeterminati ed i corrispondenti fondi possono essere spesi, oltre che per gli stipendi, per le attività di ricerca istituzionali dell'INFN, quali ad esempio le ricerche presso laboratori internazionali come il CERN di Ginevra, o i laboratori INFN di Frascati, di Legnaro, del Sud (Catania) e del Gran Sasso.

I fondi per “attività di ricerca a valenza internazionale” sono vincolati a progetti soggetti ad accordi internazionali, stipulati dal governo italiano, come ad esempio la ESS (*European*

*Spallation Source*) in Svezia o VIRGO in Italia. L'INFN agisce come gestore dei fondi che sono previsti da questi accordi.

Il FOE a carattere continuativo finanzia il progetto tecnologie d'eccellenza del piano di sviluppo 2019-2030, destinato a sviluppare all'interno dell'ente le tecnologie di frontiera necessarie ad affrontare le sfide scientifiche dei prossimi anni per la costruzione di esperimenti basati su tecnologie innovative e di frontiera in campi diversi, come, ad esempio, quelli dell'elettronica, della meccanica di precisione, della sensoristica avanzata, del calcolo scientifico o della criogenia e della supercondutività. Queste ultime in particolare riguardano gli sviluppi per le applicazioni nel campo degli acceleratori di ultima generazione (upgrade ad alta luminosità dell'acceleratore LHC al CERN di Ginevra) e gli esperimenti che ricercano la materia oscura o che studiano i neutrini che entreranno in funzione presso i LNGS o ancora i rivelatori di onde gravitazionali di prossima generazione.

Nella Figura 2.2 si rappresenta graficamente l'andamento delle entrate dal MUR negli ultimi 2 anni consuntivati (2020-2021), nell'esercizio in via di consuntivazione (2022) e nel bilancio di previsione per l'anno 2023, comprensivo delle risorse PNRR inserite nel bilancio di previsione 2023 e aggiornate con la prima delibera di variazione.



**Figura 2.2 Differenti tipologie di Entrate FOE in milioni di euro**

Oltre al FOE, l'INFN negli ultimi anni aveva visto un'assegnazione di finanziamenti anche grazie a interventi governativi a carattere straordinario che hanno riguardato tutta la ricerca nazionale; tra i più significativi si ricordano:

- D.L. 34/2020 art. 238, convertito in legge 17 luglio 2020, N. 77 (Decreto rilancio) e il DMUR n. 802/2020 che, al fine di sostenere l'accesso dei giovani alla ricerca, assegna all'istituto € 9.787.413 (ora inglobato nel FOE 2022);
- L. 178/2020 art. 1 c. 541 e il DMUR n. 614/2021 che, per sostenere la competitività del sistema della ricerca italiana a livello internazionale mediante l'assunzione e la stabilizzazione di ricercatori negli enti pubblici di ricerca, assegna all'istituto € 4.463.938 (ora inglobato nel FOE 2022);
- L. 178/2020 art. 1 c. 548 e il DMUR n. 737/2021 che, in attuazione del Piano Nazionale Ricerca (PNR) stanzia le risorse per gli esercizi finanziari 2021, 2022 e 2023; per il 2022 all'INFN sono stati assegnati € 6.221.400; per il 2023 la distribuzione delle risorse seguirà criteri di premialità;

- d) L. 145/2018 art.1, c. 95, che istituisce un fondo investimenti di potenziamento delle infrastrutture di ricerca e prevede per tre progetti INFN di ricerca per i prossimi anni (HPC, laboratori (interamente dedicato al progetto EuPRAXIA) e ESS) un finanziamento pluriennale dettagliato nella Tabella 2.1. Si rinvia al capitolo 5.1.5 e seguenti (HPC), al capitolo 6 (EuPRAXIA), capitolo 7.2 (ESS) per maggiori informazioni.

All'art.1, co. 95 della legge n. 145/2018	DENOMINAZIONE	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Totale
Descrizione intervento																
HPC	Finanziamento per l'integrazione delle infrastrutture di calcolo scientifico di INFN e CINECA per la creazione di un Hub europeo per Big Data	5	20	52	10	10	5	3	-	-	-	-	-	-	-	105
LABORATORI (EuPRAXIA)	Finanziamento all'INFN per i progetti da realizzare nei diversi laboratori	3	2	1	10	10	12	13	13	12	12	12	6	2	-	108
ESS	European Spallation Source	-	-	-	-	15	15	20	20	20	20	20	20	20	5	175
	<b>Totale</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>53</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>388</b>

**Tabella 2.1 – Finanziamento pluriennale progetti infrastrutturali (in milioni di euro)**

Finanziamenti	2019	2020	2021	Consolidato 2022	Stima 2023	Stima 2024	Stima 2025
FOE	253,7	251	258,4	276,4	288,5	288,5	288,5
FOE-Progetti internazionali	31	31	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
FOE-Progetti straordinari	1,1	0,3	1	0,8	0,7	0,7	0,7
FOE-Progetti continuativi	15	15	15	18	18	18	18
L 234/21 art. 1 c. 310 lett. a) Integrazione FOE (consolidato nel FOE dal 2023)	-	-	-	12,1	-	-	-
L 234/21 art. 1 co 310 lett. b)*	-	-	-	7,6	7,6	7,6	7,6
L 234/21 art. 1 co 310 lett. c)	-	-	-	3,7	3,7	3,7	4,1
L. 178/2020 art. 1 c.549 DM 646/21 (fondo edilizia e infrastrutture)	-	-	7,6	7	22	22	22
Decreto rilancio (L.77/2020) Dal 2022 inglobati nel FOE	-	-	9,8	-	-	-	-
L. 178/2020 art. 1 c.541 DM 614/21. Dal 2022 inglobati nel FOE	-	-	4,5	-	-	-	-
Finanziamenti COVID	-	3,9	3,9	-	-	-	-
L. 145/2018 art. 1 c 95 (HPC, laboratori e ESS)	8	22	53	20	35	32	36
PNR (L. 178/2021 art. 1 c. 578 DM 737/21)	-	-	6,2	6,2	-	-	-
PNRR	-	-	-	166	187,5	-	-
L. 196/2017 progetto XFel	4	4	4	4	4	4	4
<b>Totale</b>	<b>312,8</b>	<b>327,2</b>	<b>394,9</b>	<b>553,3</b>	<b>598,5</b>	<b>408</b>	<b>412,4</b>

\*importi stimati sulla base delle percentuali di contributo FOE

**Tabella 2.2 in milioni di euro**

Nella Tabella 2.2 si riporta il dettaglio dei finanziamenti statali a partire dal 2019 con una proiezione previsionale per il triennio 2023-2025.

Il budget totale INFN, dopo le significative riduzioni degli anni 2015-2018, a partire dal 2019 torna a crescere grazie ai provvedimenti normativi straordinari che finanziano la stabilizzazione del personale di ricerca, l'assunzione di giovani ricercatori e il finanziamento di nuovi progetti con interventi legislativi specifici quali ad esempio il finanziamento per il progetto HPC e laboratori fino al 2030.

Un segnale decisamente positivo considerato che i progetti di ricerca dell'INFN si caratterizzano per una durata pluriennale che può facilmente raggiungere, e in alcuni casi superare, il decennio: in questo periodo il profilo e il tipo di spesa variano considerevolmente (progettazione, ingegnerizzazione, costruzione, messa in opera e funzionamento). È dunque indispensabile poter contare su un flusso ragionevolmente costante di risorse, o almeno su una programmazione pluriennale di finanziamento che permetta di ottimizzare l'uso delle risorse e la programmazione scientifica. Non va dimenticato che l'aumento del numero di ricercatori e tecnologi va accompagnato da un corrispondente aumento del budget di ricerca, se si vogliono mantenere i livelli di eccellenza.

Nelle ultime tre colonne è mostrata una stima del budget INFN per gli anni 2023, 2024 e 2025, tenuto conto dei finanziamenti aggiuntivi ottenuti negli ultimi anni che portano il budget ordinario FOE intorno ai 338,7 M€.

Oltre ai finanziamenti suddetti, l'istituto, come detto, si è attivato per avere accesso ai finanziamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) che incrementano significativamente le risorse di bilancio nel biennio 2022-2023.

L'Italia ha istituito il fondo complementare con il D.L. 59/2021 e l'INFN ha presentato nel corso del 2021 alcune proposte progettuali rispondendo ai primi bandi emanati dal MUR.

Si rimanda al Capitolo 8 per ulteriori dettagli.

### **2.3 Il profilo triennale delle risorse disponibili e della spesa per il periodo 2023-2025**

Con riferimento all'esercizio 2023, le risorse sono state considerate sulla base delle informazioni disponibili al momento della predisposizione del bilancio di previsione (ottobre 2022) e sono, pertanto, suscettibili di mutamenti in aumento in ragione dello stato dell'iter di approvazione di ulteriori progetti PNRR.

Le previsioni delle risorse disponibili e della spesa per gli esercizi compresi nel bilancio pluriennale sono state valutate sulla base delle informazioni disponibili al momento della predisposizione del bilancio di previsione (ottobre 2023), e non contengono quindi i mutamenti in aumento, oggi noti, legati ai processi di approvazione del PNRR. Le cifre ufficiali presentate nel bilancio di previsione [EF 2023](#), cap. 6.1, pag. 84, sono qui riportate nella tabella 2.5. Esse sono basate sui seguenti criteri di riferimento:

#### **ENTRATE**

Le entrate per il primo esercizio del bilancio pluriennale (2023), escluse le partite di giro, sono state determinate, in 532 M€, di cui 330,7 M€ sono finanziamenti istituzionali e i restanti 201,3 M€ sono entrate previste per altri progetti di ricerca specificatamente finanziati.

Per gli esercizi 2024 e 2025, si prevede una riduzione delle entrate in ragione della cessazione dei finanziamenti dei progetti PNRR riportati nella Tabella 2.2.

## SPESE

Le spese previste per l'anno 2023 sono state valutate sulla base storica degli ultimi anni per quanto riguarda il funzionamento delle strutture ed i fondi centrali. Per quanto riguarda le attività di ricerca ci si è basati sullo stato dei progetti pluriennali in corso e sull'impatto dei nuovi progetti approvati.

L'istituto è, inoltre, attivo – sia a livello centrale, da parte delle Commissioni scientifiche e degli organi di governo dell'ente, sia a livello locale, da parte delle singole strutture territoriali - nella ricerca di fondi esterni finalizzati a specifiche finalità di ricerca, tali da integrare in quantità crescente il trasferimento dallo Stato (es.: Unione Europea, regioni, fondazioni, privati, enti di ricerca).

Il Bilancio pluriennale è redatto solo in termini di competenza per un periodo non inferiore al triennio. Esso descrive, in termini finanziari, le linee strategiche dell'istituto nel breve-medio periodo predisposte in ragione delle risorse finanziarie disponibili. È allegato al Bilancio di previsione 2023 e non ha valore autorizzativo. Il Bilancio pluriennale presenta un'articolazione delle poste coincidente con quella del Bilancio annuale finanziario decisionale e la prima annualità corrisponde al presente Bilancio annuale finanziario decisionale dell'Esercizio 2023. Il Bilancio pluriennale viene annualmente aggiornato in occasione della presentazione del Bilancio di previsione e non forma oggetto di autonoma approvazione.

Nella Tabella 2.3 viene rappresentata la previsione finanziaria pluriennale di spesa per il triennio 2023-2025 allegata al Bilancio di previsione 2023.

Bilancio Triennale	2023		2024		2025	
Personale	209,273	39,34%	205,000	48,93%	205,000	48,35%
Funzionamento	28,642	5,38%	28,000	6,68%	28,000	6,60%
Attrezzature	19,494	3,66%	20,000	4,77%	20,000	4,72%
Ricerca	243,094	45,69%	135,000	32,22%	140,000	33,02%
Spese Centrali Vari	31,506	5,92%	31,000	7,40%	31,000	7,31%
<b>Grand Total</b>	<b>532,009</b>	100,00%	<b>419,000</b>	100,00%	<b>424,000</b>	100,00%

*Tabella 2.3 previsione pluriennale delle spese 2023-2025 in milioni di €*

Si precisa che la previsione di spesa del personale riportata nella Tabella 2.3 si riferisce, ovviamente, al costo del personale come risultante dalla somma dei capitoli di spesa del nuovo piano dei conti integrato riferiti al personale. Tale somma pertanto differisce da quella indicata nel paragrafo successivo “Risorse di personale” che riporta i costi del conto annuale.

La tabella 2.4 riassume il quadro complessivo delle risorse disponibili e della previsione di spesa per il triennio 2023-2025. Nel 2024 in coincidenza con la fine delle entrate legate al PNRR, la spesa destinata alla ricerca subisce una diminuzione significativa, riassestandosi sui valori precedenti al 2022. Nel futuro prossimo sarebbe importante poter fare affidamento su un aumento stabile dei fondi per la ricerca, in modo da poter consolidare le attività di ricerca, sostenute attualmente sia con il PNRR che con l'aumento del personale.

<b>ENTRATE:</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>
FOE ordinario MUR	288,566	288,566	288,566
FOE internazionali	23,550	23,550	23,550
FOE a carattere continuativo	18,000	18,000	18,000
FOE straordinario	0,750	0,750	0,750
Fondo PNRR	127,900		
Progettuali	70,170	85,134	90,134
Entrate diverse	3,073	3,000	3,000
<b>Totale Entrate</b>	<b>532,009</b>	<b>419,000</b>	<b>424,000</b>

<b>SPESE:</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>
<u>ATTIVITÀ DI RICERCA:</u>			
Fisica delle particelle	20,600	20,600	20,600
Fisica astroparticellare	15,200	15,200	15,200
Fisica nucleare	9,500	9,500	9,500
Fisica teorica	3,300	3,300	3,300
Ricerche tecnologiche	6,200	6,200	6,200
	54,800	54,800	54,800
Progetti strategici, speciali, calcolo, C3M e trasferimento tecnologico cofinanziamenti	6,794	6,800	6,800
Attività di ricerca su progetti	177,100	69,000	74,000
Fondo di riserva	4,400	4,400	4,400
<b>Totale Ricerca</b>	<b>243,094</b>	<b>135,000</b>	<b>140,000</b>
Funzionamento strutture	48,135	48,000	48,000
Personale	209,273	205,000	205,000
Fondi centrali e partecipazione a Consorzi	31,506	31,000	31,000
<b>Totale Spese</b>	<b>532,009</b>	<b>419,000</b>	<b>424,000</b>

*Tabella 2.4 Previsione pluriennale 2023-2025 in milioni di €*

Strutture	CSN1	CSN2	CSN3	CSN4	CSN5	Total	Total	Total	Total
						2022	2021	2020	2019
LNF	1,30	0,50	0,39	0,06	0,32	2,57	2,49	3,11	4,88
LNGS		0,75	0,06	0,05	0,02	0,89	1,05	0,83	1,34
LNL	0,25	0,11	0,87		0,34	1,57	1,23	1,22	1,04
LNS		0,48	1,12	0,03	0,35	1,97	1,37	1,64	1,03
Sezioni	21,78	8,44	7,11	2,87	3,82	44,03	39,77	36,02	38,67
<b>Totale</b>	<b>23,33</b>	<b>10,28</b>	<b>9,55</b>	<b>3,02</b>	<b>4,85</b>	<b>51,02</b>	<b>45,91</b>	<b>42,81</b>	<b>46,97</b>

*Tabella 2.5 Spese finanziate dalle CSN in milioni di €*

## **Emergenza epidemiologica da COVID-19 e conflitto russo-ucraino**

L'anno 2022 ha visto il graduale superamento dello stato di emergenza dovuto alla pandemia da Covid-19 e il ritorno alla quasi normalità; residuano provvedimenti governativi volti a scongiurare la riattivazione del virus. L'uso della modalità di lavoro in smart working è tornato in modalità regolata dalla contrattazione collettiva e non più emergenziale. Sono ripartite moderatamente le trasferte del personale all'estero e in Italia; sono ripartiti saltuariamente le riunioni, gli incontri e i corsi di formazione in presenza e le selezioni di personale attraverso le modalità indicate dal legislatore (D.L. 44/2021), mediante utilizzo di strumenti informatici e digitali e, ove possibile, mediante svolgimento in videoconferenza della prova orale.

Lo scoppio del conflitto nell'area Ucraina a febbraio 2022, tutt'ora in corso, sta determinando un nuovo mutamento nelle relazioni commerciali con la Russia e la Bielorussia e si iniziano a vedere gli effetti economici con una forte impennata del prezzo dei carburanti e dell'energia elettrica che avrà effetti negativi sui costi dei progetti di ricerca e sull'approvvigionamento di materiali speciali.

Inoltre, iniziano a scarseggiare alcune materie prime (componentistica elettronica, cristalli ecc.) necessaria per le attività di sviluppo dei progetti, con conseguente allungamento nei tempi di approvvigionamento.

### 3. LE RISORSE DI PERSONALE

#### 3.1 Fabbisogno di personale

L’istituto alla data del 31 dicembre 2022 ha registrato un organico di 2106 dipendenti a tempo indeterminato, con un incremento complessivo, rispetto all’anno precedente, di 106 dipendenti, risultante dalla combinazione delle stabilizzazioni, delle nuove posizioni finanziate dal decreto “Rilancio”, del turnover e delle cessazioni. Nella tabella 3.1 si riporta il totale del personale, suddiviso per profili professionali e per genere, sia a tempo indeterminato che a tempo determinato, alla data del 31 dicembre 2022 e il riscontro del personale a tempo indeterminato alla data del 31 dicembre 2021.

Profilo	Livello	Personale a Tempo Indeterminato al 31/12/2021	Personale a Tempo Indeterminato al 31/12/2022			Personale a Tempo Determinato al 31/12/2022		
			M	F	Totale	M	F	Totale
Direttore Generale	0	0	0	0	0	1	0	1
Dirigente di II fascia	0	2	0	2	2	0	0	0
Dirigente di ricerca	1	113	126	32	158	0	0	0
Primo ricercatore	2	252	219	59	278	0	0	0
Ricercatore	3	296	199	64	263	12	0	12
Dirigente tecnologo	1	45	65	7	72	1	0	1
Primo tecnologo	2	117	113	26	139	1	0	1
Tecnologo	3	230	179	57	236	9	13	22
Collaboratore tecnico E.R.	4	385	338	24	362	0	0	0
Collaboratore tecnico E.R.	5	108	96	6	102	0	0	0
Collaboratore tecnico E.R.	6	85	103	2	105	40	6	46
Operatore tecnico	6	36	30	3	33	0	0	0
Operatore tecnico	7	2	2	0	2	1	0	1
Operatore tecnico	8	3	2	0	2	1	2	3
Funzionario di amministrazione	4	44	9	33	42	0	0	0
Funzionario di amministrazione	5	8	4	16	20	1	6	7
Collaboratore di amministrazione	5	158	29	124	153	0	0	0
Collaboratore di amministrazione	6	52	8	41	49	0	0	0
Collaboratore di amministrazione	7	53	24	53	77	4	28	32
Operatore di amministrazione	7	6	1	5	6	0	0	0
Operatore di amministrazione	8	5	3	2	5	0	0	0
<b>Totale</b>		<b>2.000</b>	<b>1.550</b>	<b>556</b>	<b>2.106</b>	<b>71</b>	<b>55</b>	<b>126</b>

**Tabella 3.1 Personale al 31 dicembre 2022**

Per il triennio 2023-2025, l’istituto ha definito una politica assunzionale e di sviluppo professionale del proprio personale utile al raggiungimento degli obiettivi operativi previsti dalla strategia scientifica descritta nel presente PTA, nel pieno rispetto dei vincoli stabiliti dall’art. 9 del D. Lgs. 218/2016.

Le tabelle 3.2 e 3.3 riportano in dettaglio il fabbisogno del personale per l’anno 2022 separato in nuove assunzioni e progressioni. I dati sono riassunti nella tabella 3.4 che include anche le cessazioni previste durante l’anno.

Come si evince dalla tabella 3.2, l’istituto prevede per l’anno 2023 un piano assunzionale caratterizzato da 50 nuove posizioni per il profilo del ricercatore, a completamento del piano straordinario di reclutamento dei ricercatori, iniziato nel 2021, e ulteriori 5 per il profilo del tecnologo per garantire il turn-over. Tale pianificazione tiene conto del numero di assunzioni, già autorizzate con l’approvazione dei precedenti PTA, e che verranno attuate nell’anno in corso riguardanti 2 dirigenti tecnologi, 60 primi ricercatori, 54 primi tecnologi e 18 tecnologi. Il numero di passaggi da ricercatore/tecnologo a primo ricercatore/primo tecnologo potrebbe essere ulteriormente incrementato utilizzando i fondi dedicati previsti nella legge di bilancio 2022, recentemente ripartiti tra gli enti. Anche se la riforma del pre-ruolo per gli enti di ricerca

è stata stralciata, infatti, l'istituto considera indispensabile mantenere, per quanto possibile, il parallelismo con il reclutamento universitario e a questo fine si propone di attuare una politica di concorsi che porti ad un tempo di transizione medio dal III al II livello paragonabile a quello dei nuovi RTD universitari.

Anche per i profili tecnici e amministrativi l'istituto intende dare seguito alle autorizzazioni ottenute con l'approvazione dei precedenti PTA, che hanno previsto l'assunzione di 40 tecnici e 34 amministrativi, ai quali si aggiungono ulteriori 60 nuove assunzioni, di cui 30 per il profilo di CTER, 15 per il profilo di funzionario di amministrazione e 15 per il profilo di collaboratore di amministrazione. Queste posizioni costituiscono un piano di reclutamento straordinario di personale tecnico-amministrativo che l'ente programma sui propri fondi e volto a ripristinare il bilanciamento tra i profili, dopo il completamento dei piani straordinari di reclutamento del personale di ricerca finanziati dal governo, che si ritiene ottimale per il funzionamento dell'istituto.

L'INFN continua a dare seguito al piano assunzionale straordinario riservato alle categorie protette, nel rispetto degli obblighi previsti dalla L. 68/99. Dall'ultima denuncia presentata dall'istituto in data 31 dicembre 2022 emerge, che sono stati assunti 118 dipendenti appartenenti alle categorie protette, a fronte di un obbligo assunzionale di 160 unità, da completare nell'arco della durata delle singole convenzioni sottoscritte con i Centri per l'Impiego presenti nelle Regioni dove risiedono le strutture INFN. L'istituto, all'interno del piano assunzionale straordinario dedicato alle categorie protette, prevede di assumere nell'anno ulteriori 42 dipendenti iscritti alle categorie protette di cui alla legge 68/99, suddivisi in 1 tecnologo, 20 CTER, 4 funzionari e 17 collaboratori di amministrazione.

Profilo e livello	NUOVE ASSUNZIONI				Totale	
	PTA anni precedenti		Previsioni PTA 2023 - 2025			
	Personale da assumere	Rientro dei cervelli	Fabbisogno personale	Rispetto obblighi L. 68/99		
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	
Dirigente II fascia	0	0	0	0	0	
Dirigente di ricerca	0	1	0	0	1	
Primo ricercatore	60	0	0	0	60	
Ricercatore	0	0	50	0	50	
Dirigente tecnologo	2	0	0	0	2	
Primo tecnologo	54	0	0	0	54	
Tecnologo	18	0	5	0	23	
Collaboratore tecnico E.R. IV	4	0	0	0	4	
Collaboratore tecnico E.R. V	0	0	0	0	0	
Collaboratore tecnico E.R. VI	32	0	30	20	82	
Operatore tecnico VI	0	0	0	0	0	
Operatore tecnico VII	0	0	0	0	0	
Operatore tecnico VIII	4	0	0	0	4	
Funzionario di amministrazione IV	0	0	0	0	0	
Funzionario di amministrazione V	11	0	15	4	30	
Collaboratore di amministrazione V	0	0	0	0	0	
Collaboratore di amministrazione VI	0	0	0	0	0	
Collaboratore di amministrazione VII	23	0	15	18	56	
Operatore di amministrazione VII	0	0	0	0	0	
Operatore di amministrazione VIII	0	0	0	0	0	
<b>Totale</b>	<b>208</b>	<b>1</b>	<b>115</b>	<b>42</b>	<b>366</b>	

**Tabella 3.2 Fabbisogno di personale 2023 – assunzioni**

Relativamente allo sviluppo professionale, per l'anno 2023 l'istituto intende dare seguito alle procedure, già autorizzate dai precedenti PTA, dedicate alla mobilità tra profili a parità di livello come l'art. 65 del CCNL del 21.2.2002 quadriennio e biennio economico 1998-1999 come integrato dall' art. 22, comma 2, del CCNL 13.5.2009 quadriennio e biennio economico 2006-2007 e come l'art 52 del CCNL del 21/2/2002 quadriennio e biennio economico 1998

e 1999. Infatti, nella tabella 3.3 sono previsti 9 passaggi per il III e il II livello e un totale di 25 passaggi per i profili tecnici e amministrativi. Inoltre, dopo quelle concluse nel 2022, l'ente ha bandito ulteriori 128 progressioni di livello nei profili previste dall'art. 54 del CCNL del 21/2/2002.

Profilo e livello	NUOVE PROGRESSIONI								Totale	
	PTA anni precedenti		Previsioni PTA 2023 – 2025							
	Art. 65	Art. 52	Art. 15	Art. 65	Art. 22	Art. 52	Art. 53	Art. 54		
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dirigente II fascia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dirigente di ricerca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Primo ricercatore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ricercatore	6	0	0	0	0	0	0	0	6	
Dirigente tecnologo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Primo tecnologo	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
Tecnologo	2	0	0	0	0	0	0	0	2	
Collaboratore tecnico E.R. IV	0	0	0	0	0	0	0	34	34	
Collaboratore tecnico E.R. V	0	5	0	0	0	0	0	30	35	
Collaboratore tecnico E.R. VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operatore tecnico VI	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Operatore tecnico VII	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
Operatore tecnico VIII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Funzionario di amministrazione IV	0	0	0	0	0	0	0	5	5	
Funzionario di amministrazione V	0	20	0	0	0	0	0	0	20	
Collaboratore di amministrazione V	0	0	0	0	0	0	0	34	34	
Collaboratore di amministrazione VI	0	0	0	0	0	0	0	17	17	
Collaboratore di amministrazione VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Operatore di amministrazione VII	0	0	0	0	0	0	0	5	5	
Operatore di amministrazione VIII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Totale</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>128</b>	<b>162</b>	

**Tabella 3.3 Fabbisogno di personale 2023 – progressioni**

SINTESI DEL FABBISOGNO DEL PERSONALE						
Profilo e livello	Personale in servizio al 31/12/2022	Nuove assunzioni	Cessanti anno 2023	Nuove progressioni	Posti liberati con i concorsi e le progressioni	Personale in servizio al 31/12/2023
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	158	1	3	0	0	156
Primo ricercatore	278	60	4	0	1	333
Ricercatore	263	50	3	6	62	254
Dirigente tecnologo	72	2	1	0	0	73
Primo tecnologo	139	54	1	1	0	193
Tecnologo	236	23	0	2	60	201
Collaboratore tecnico E.R. IV	362	4	4	34	0	396
Collaboratore tecnico E.R. V	102	0	1	35	34	102
Collaboratore tecnico E.R. VI	105	82	0	0	30	157
Operatore tecnico VI	33	0	2	1	0	32
Operatore tecnico VII	2	0	0	2	1	3
Operatore tecnico VIII	2	4	0	0	2	4
Funzionario di amministrazione IV	42	0	0	5	0	47
Funzionario di amministrazione V	20	30	0	20	5	65
Collaboratore di amministrazione V	153	0	2	34	25	160
Collaboratore di amministrazione VI	49	0	0	17	34	32
Collaboratore di amministrazione VII	77	56	0	0	17	116
Operatore di amministrazione VII	6	0	0	5	0	11
Operatore di amministrazione VIII	5	0	0	0	5	0
<b>Totale</b>	<b>2.106</b>	<b>366</b>	<b>21</b>	<b>162</b>	<b>276</b>	<b>2.337</b>

**Tabella 3.4 Fabbisogno di personale 2023 – tabella riassuntiva**

FABBISOGNO DI PERSONALE - ANNO 2024					
Profilo e livello	Previsione del personale in servizio al 31/12/2023	Previsioni assunzionali PTA 2022 - 2024 II annualità	Cessanti anno 2024	Posti liberati con i concorsi e con le progressioni	Previsione di personale in servizio al 31/12/2024
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	156	15	7	0	164
Primo ricercatore	333	0	14	15	304
Ricercatore	254	0	3	0	251
Dirigente tecnologo	73	15	2	0	86
Primo tecnologo	193	0	2	15	176
Tecnologo	201	0	2	0	199
Collaboratore tecnico E.R. IV	396	0	7	0	389
Collaboratore tecnico E.R. V	102	0	2	0	100
Collaboratore tecnico E.R. VI	157	9	0	0	166
Operatore tecnico VI	32	0	0	0	32
Operatore tecnico VII	3	0	1	0	2
Operatore tecnico VIII	4	0	0	0	4
Funzionario di amministrazione IV	47	0	1	0	46
Funzionario di amministrazione V	65	4	0	0	69
Collaboratore di amministrazione V	160	0	7	0	153
Collaboratore di amministrazione VI	32	0	0	0	32
Collaboratore di amministrazione VII	116	5	0	0	121
Operatore di amministrazione VII	11	0	2	0	9
Operatore di amministrazione VIII	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>2.337</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>2.305</b>

**Tabella 3.5 Previsione del fabbisogno di personale per l'anno 2024**

FABBISOGNO DI PERSONALE - ANNO 2025						
Profilo e livello	Previsione del personale in servizio al 31/12/2024	Assunzioni Previsioni assunzionali PTA 2022 - 2024 III annualità	Cessanti anno 2025	Progressioni Attuazione art. 15 del CCNL	Posti liberati con i concorsi e con le progressioni	Previsione di personale in servizio al 31/12/2025
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	164	0	17	0	0	147
Primo ricercatore	304	0	16	60	0	348
Ricercatore	251	0	4	0	60	187
Dirigente tecnologo	86	0	4	0	0	82
Primo tecnologo	176	0	4	60	0	232
Tecnologo	199	0	0	0	60	139
Collaboratore tecnico E.R. IV	389	0	8	0	0	381
Collaboratore tecnico E.R. V	100	0	2	0	0	98
Collaboratore tecnico E.R. VI	166	10	0	0	0	176
Operatore tecnico VI	32	0	2	0	0	30
Operatore tecnico VII	2	0	0	0	0	2
Operatore tecnico VIII	4	0	0	0	0	4
Funzionario di amministrazione IV	46	0	0	0	0	46
Funzionario di amministrazione V	69	4	0	0	0	73
Collaboratore di amministrazione V	153	0	7	0	0	146
Collaboratore di amministrazione VI	32	0	0	0	0	32
Collaboratore di amministrazione VII	121	4	1	0	0	124
Operatore di amministrazione VII	9	0	0	0	0	9
Operatore di amministrazione VIII	0	0	0	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>2.305</b>	<b>18</b>	<b>65</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>2.258</b>

**Tabella 3.6 Previsione del fabbisogno di personale per l'anno 2025**

Le previsioni del fabbisogno di personale e le politiche di sviluppo professionale per gli anni 2024 e 2025 sono illustrate dalle Tabelle 3.5 e 3.6.

L'indicatore del limite massimo alle spese di personale, calcolato rapportando le spese complessive per il personale di competenza dell'anno di riferimento alla media delle entrate complessive dell'ente, come risultante dai bilanci consuntivi dell'ultimo triennio, è pari a un coefficiente assunzionale di circa 32,6%, lontano dal vincolo del 80% previsto dal D. Lgs. 218/2016. La tabella 3.7 riporta il dettaglio della percentuale del coefficiente assunzionale.

<b>Indicatore art. 9, comma 2 del D. Lgs 218/2016</b>	<b>2023</b>
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2022	€ 131.639.815
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 404.303.871
<b>Rapporto assunzionale al 31/12/2022</b>	<b>32,6%</b>

*Tabella 3.7 Dettaglio della percentuale del coefficiente assunzionale*

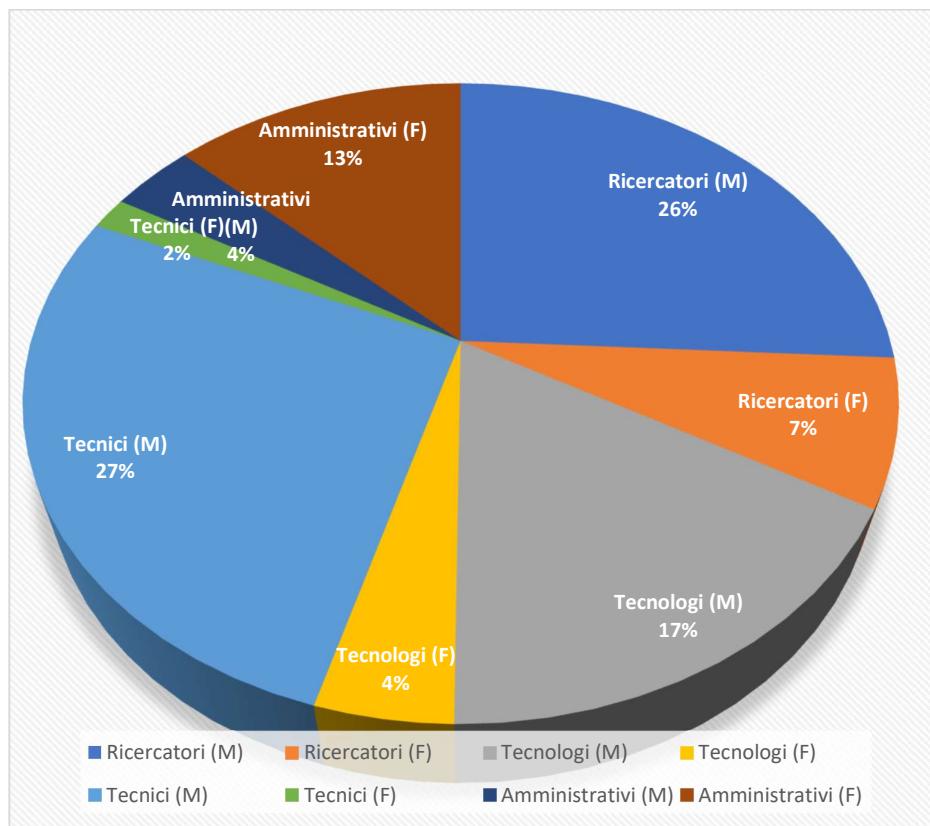
Inoltre, l'istituto soddisfa anche il secondo requisito definito dall'art. 9, co. 6, lettera b) dello stesso decreto legislativo. Infatti, la spesa media delle assunzioni e delle progressioni previste nel 2023 è inferiore al margine a disposizione rispetto al limite dell'80%. Infine, la tabella 3.8 evidenzia anche che alla data del 31 dicembre 2023, tenuto anche conto del costo aggiuntivo per le nuove assunzioni (escluse quelle finanziate dal D.M. 802/2020, come previsto dal decreto stesso) e nuove progressioni e del risparmio ottenuto con le cessazioni previste nell'anno, calcolato sempre sulla base del costo medio, il rapporto assunzionale diventerà pari a circa il 38%.

<b>Indicatore art. 9, comma 6 lett. b) del D. Lgs 218/2016</b>	<b>2023</b>
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2022	€ 131.639.815
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 404.303.871
Costo delle assunzioni e delle progressioni previste nel 2023	€ 22.573.099
Risparmio ottenuto con le cessazioni previste nel 2022	€ 1.447.742
<b>Rapporto assunzionale previsto al 31/12/2023 a media delle entrate invariata</b>	<b>37,8%</b>

*Tabella 3.8 Rapporto assunzionale nel 2023*

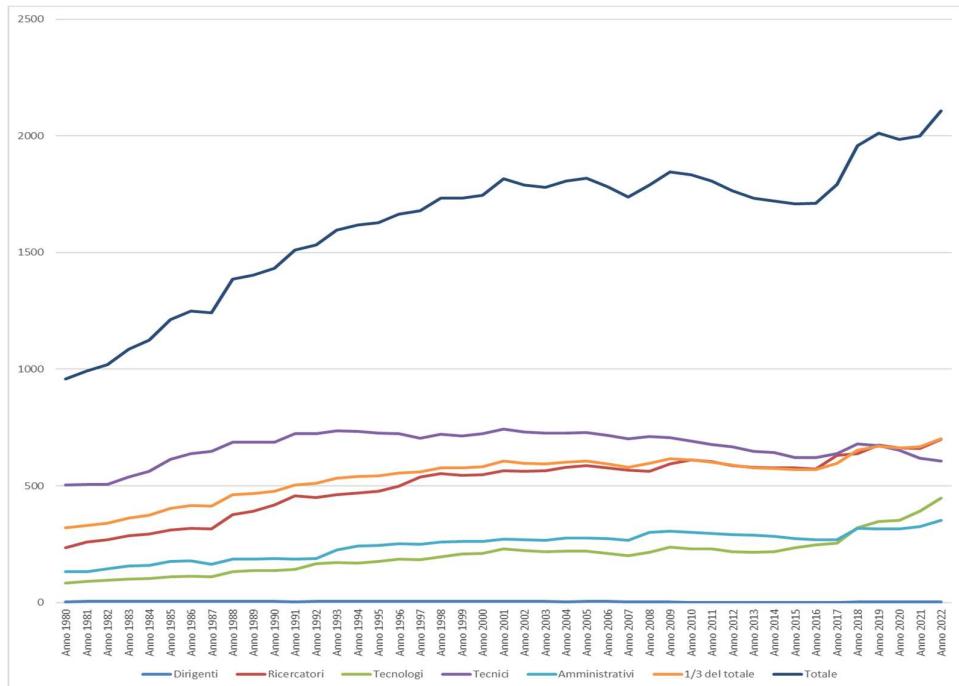
Per quanto riguarda il personale a tempo determinato, al 31/12/2022 si contano 126 posizioni pari al 6% del personale a tempo indeterminato, finanziato in parte sul FOE e in parte su fondi esterni. Osserviamo con soddisfazione come i piani straordinari di reclutamento degli ultimi anni abbiano riportato il numero di contratti a tempo determinato ad un livello fisiologico. Nel 2023, tuttavia, le assunzioni a tempo determinato saranno dominate dal personale assunto per i progetti PNRR. A dicembre 2022 abbiamo bandito 69 posizioni da CTER, 134 posizioni da tecnologo e 3 posizioni da dirigente tecnologo a tempo determinato, tutte previste dai progetti PNRR a cui l'istituto partecipa e che dovranno essere integrate con alcune ulteriori unità di personale nel corso del 2023. Questo picco di contratti a tempo determinato dovuti al PNRR, per i quali è previsto un processo di stabilizzazione a partire dal 2027, è un elemento che deve essere incorporato nella politica del personale di medio periodo per non diventare un problema tra cinque anni.

La distribuzione tra i profili del personale presente nell'ente è rappresentata in Figura 3.1. È da notare che l'incidenza del personale amministrativo sul totale del personale è limitato al 17%, molto al di sotto dell'incidenza media negli EPR. L'aumento del carico di lavoro legato a nuovi adempimenti legislativi e allo sforzo di reperimento di fonti esterne di finanziamento sta sovraccaricando la struttura amministrativa.



**Figura 3.1 Distribuzione dei profili del personale per genere**

Il grafico in Figura 3.2 mostra l'andamento del numero di dipendenti, suddivisi per ricercatori, tecnologi, tecnici e amministrativi, dal 1980 ad oggi.



**Figura 3.2 Variazione temporale di ricercatori, tecnologi, tecnici e amministrativi**

Oltre all'effetto dei pensionamenti degli ultimi anni, è in generale visibile l'aumento del personale ricercatore e tecnologo per effetto dei piani straordinari di reclutamento e delle stabilizzazioni, andamento già evidenziato nel PTA 2022 - 2024. Queste ultime hanno aumentato, sia pure in misura minore, anche il personale tecnico-amministrativo. Nonostante questo, si può notare una tendenza pluriennale al calo del personale tecnico. Questo si spiega in parte con le mutate esigenze dello sviluppo tecnologico che richiede personale sempre più qualificato (ingegneri meccanici, elettronici, gestionali, informatici, ecc.) che trova collocazione nel profilo di tecnologo. Nell'ambito della programmazione del fabbisogno di personale per il prossimo triennio, comunque, l'istituto ha intenzione di continuare a mantenere elevata la sua capacità di progettazione e realizzazione di esperimenti ad alto contenuto scientifico e tecnologico, assumendo sia tecnici che tecnologi.

Altro Personale	Personale in servizio al 31/12/2022								
	Impiegati in ricerca			Non impiegato in ricerca			Dati complessivi		
	M	F	Totale	M	F	Totale	M	F	Totale
Assegnisti	266	108	374	0	0	0	266	108	374
Borsisti	45	30	75	21	6	27	66	36	102
Co.co.co.	1	1	2	2	2	4	3	3	6
Comandi in entrata	0	0	0	1	5	6	1	5	6
<b>Totalle</b>	<b>312</b>	<b>139</b>	<b>451</b>	<b>24</b>	<b>13</b>	<b>37</b>	<b>336</b>	<b>152</b>	<b>488</b>

**Tabella 3.9 Giovani in formazione nel 2022**

Ulteriore personale dell'istituto è principalmente composto da giovani in formazione quali borsisti e assegnisti (vedi Tabella 3.9). Questo personale fornisce un contributo essenziale alle attività di ricerca dell'ente e numericamente è pari al 42% del personale ricercatore e tecnologo.

L'istituto si avvale inoltre per le sue ricerche anche di personale universitario o appartenente ad altri enti di ricerca, che viene associato a vario titolo alle sue strutture ed alle sue attività. Le diverse tipologie di associazione sono presentate nella Tabella 3.10. Come si può vedere, quasi il 35% del personale associato è rappresentato da personale in formazione, quali borsisti, assegnisti e dottorandi, mentre gli incarichi di ricerca sono di norma assegnati a personale universitario la cui attività di ricerca è svolta in prevalenza con l'INFN. In particolare, segnaliamo che il 20% dei dottorandi associati sono direttamente finanziati dall'INFN, tramite opportuni accordi e convenzioni con le università.

Personale associato con tipi di associazione	Personale impiegato in ricerca al 31/12/2022			
	M	F	Totale	%
Incarichi di ricerca	649	167	816	18%
Assegnisti	270	96	366	8%
Borsisti	29	9	38	1%
Dottorandi	826	317	1143	25%
Altre associazioni	1482	493	1975	44%
Associazioni tecniche	143	22	165	4%
<b>Totalle</b>	<b>3.399</b>	<b>1.104</b>	<b>4.503</b>	<b>100%</b>

**Tabella 3.10 Diverse tipologie di associazione nel 2022**

Tipologia Struttura	Dirigente		Ricercatore		Tecnologo		Tecnico		Amministrativo		Totale
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	
AC e Presidenza	2	0	0	1	15	12	2	12	56	19	119
Centri Nazionali	0	0	0	4	6	27	1	12	4	1	55
Laboratori	0	0	35	95	31	142	14	234	82	23	656
Sezioni	0	0	120	444	39	175	18	313	132	35	1276
<b>Totalle</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>155</b>	<b>544</b>	<b>91</b>	<b>356</b>	<b>35</b>	<b>571</b>	<b>274</b>	<b>78</b>	<b>2106</b>

**Tabella 3.11 Distribuzione del personale a tempo indeterminato nelle strutture al 31/12/2022**

In Tabella 3.11 mostriamo la distribuzione dei vari profili di personale a tempo indeterminato, distinti per genere, nelle strutture dell'ente sul territorio: AC, centri nazionali, laboratori e sezioni. Si nota come nei 4 laboratori si trovi circa il 30% del personale, con prevalenza di tecnologi (40%) e tecnici (40%), mentre le 24 sezioni con i 6 gruppi collegati hanno circa il 60% del personale con una frazione ancora più alta di ricercatori (80%).

In considerazione dell'elevata internazionalizzazione delle sue attività, l'istituto ha sempre favorito la mobilità dei propri ricercatori e tecnologi verso l'estero attraverso lo strumento del congedo per motivi di studio e ricerca. In Tabella 3.12 è riportato il numero di questi congedi negli ultimi 10 anni divisi per aree geografiche. Il CERN, laboratorio internazionale di riferimento per l'ente, ha attratto un numero significativo di congedi, ma personale INFN sta visitando anche istituzioni di ricerca in vari paesi europei, in USA e in Asia, con numeri in linea con gli anni precedenti.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CERN	7	13	12	9	8	7	4	8	17	11
Europa	3	6	9	3	5	1	1	3	11	7
Asia	1	2	0	0	0	0	1	2	1	1
America	1	1	2	2	2	1	3	2	7	6

*Tabella 3.12 Congedi per motivi di studio e ricerca*

### 3.2 Parità, pari opportunità e benessere organizzativo

L'attenzione all'organizzazione del lavoro, l'integrazione della dimensione di genere nella ricerca e l'attuazione delle pari opportunità nella pubblica amministrazione sono i punti cardini necessari per un'efficace politica del personale attenta al benessere, all'equità e alla trasparenza. Questi elementi, al centro anche delle raccomandazioni europee, assumono particolare importanza considerata la sottorappresentazione delle donne in tutti i profili e livelli del personale, eccetto quello amministrativo, tipica delle discipline STEM. Essi sono alla base del Piani Triennali di Azioni Positive (PTAP) che l'ente adotta dal 2002 tramite il [CUG](#) (Comitato Unico di Garanzia).

Attualmente è in fase di approvazione PTAP 2023-2026 che intende rafforzare gli obiettivi del precedente [PTAP 2019](#) :

- aumentare la trasparenza nei processi decisionali e migliorare la condivisione delle informazioni;
- rimuovere i pregiudizi inconsapevoli dalle pratiche istituzionali e dai comportamenti quotidiani;
- promuovere l'eccellenza nel sostenere la parità e la diversità
- adottare prospettive generazionali e di genere nella ricerca;
- migliorare il benessere organizzativo agendo sulla gestione delle risorse umane e sull'ambiente di lavoro favorendo la genitorialità e operando per l'inclusione delle diversità.

Nel 2022 è stato approvato il primo [GEP](#) (Gender Equality Plan).

Negli anni passati l'ente ha messo in campo delle iniziative che continuano regolarmente nel tempo quali: 1) indennità di maternità per fornire alle assegniste una integrazione a quanto erogato dall'INPS durante il congedo di maternità obbligatorio; 2) erogazione di fondi per un programma di mentoring per giovani ricercatrici; 3) estensione al personale con assegno di ricerca della polizza di assicurazione medica che copre tutte le spese connesse

alla maternità dalla gestazione alla nascita; 4) contributo per i costi di asili nido per i figli di dipendenti INFN; 5) realizzazione di convenzioni con asili o organizzazione di centri estivi in prossimità del luogo di lavoro per alcune strutture; 6) distribuzione ai commissari di tutti i concorsi INFN di un breve opuscolo, realizzato dal CUG, sui bias inconsci e su come operare per mitigare i suoi effetti.

Alcune delle azioni positive del PTAP 2019 sono dal 2020 inserite nel Piano delle Performance dell'ente e gli obiettivi proposti sono stati sempre raggiunti:

- bilancio di genere sul web. Realizzazione di un sistema di banche dati che permetta rapidamente e automaticamente di monitorare la situazione del personale in ottica di genere e generazionale;
- aumentare oltre il 30% il genere sottorappresentato nei comitati scientifici nominati dal Consiglio Direttivo;
- monitorare che sia raggiunta la stessa probabilità di successo per donne e uomini nelle procedure concorsuali;
- aumentare il finanziamento per il *mentoring* e per premi/riconoscimenti per giovani studentesse e ricercatrici.

Nel 2022 è stato bandito per il primo anno il concorso (“Più Donne per la fisica”) per offrire borse di studio a studentesse iscritte al primo anno della magistrale in Fisica su indirizzi di interesse dell’INFN. Inoltre, continua il “Premio Milla Baldo Ceolin”, sponsorizzato dalla CSN4, riservato a donne e indirizzato alle migliori tesi magistrali in campo teorico.

Nel 2023 si prevede anche di realizzare un terzo ciclo del programma di mentoring per giovani ricercatrici e ricercatori, che ha ricevuto un primo riconoscimento dall’osservatorio indipendente EIGE (European Institute for Gender Equality) come pratica italiana rilevante.

Le attivita' del CUG e lo stato della parità nell'ente sono stati presentati alla International Conference on High Energy Physics [ICHEP2022](#).

Inoltre, sempre nel 2022 sono stati divulgati i risultati dell’indagine per la valutazione dello stress lavoro correlato e qualità della vita organizzativa. I risultati sono disponibili in forma anonimizzata sia a livello di ente che delle singole strutture al fine di predisporre proposte correttive e identificare azioni di miglioramento. Le principali criticità rilevate sono relative a pressione lavorativa, clima competitivo, comunicazione. È percepito un rischio esaurimento ma controbilanciato da un forte coinvolgimento con il proprio lavoro. La situazione simile a quella rilevata in altri ambienti ricerca. Sono stati proposti interventi per attenuare la pressione temporale, sviluppare crescita professionale e la partecipazione.

Dopo un primo ciclo, promosso dalla consigliera di fiducia, nel 2023 sarà ripreso il progetto degli Smart Lab sostenuto economicamente dalla commissione formazione dell’ente e guidato da un gruppo di pilotaggio di cui fa parte la presidente del CUG. Sostanzialmente gli Smart Lab sono un luogo di lavoro in cui vengono discusse ed elaborate soluzioni di miglioramento su temi specifici, spesso legate a problematiche organizzative.

Si prevede anche di attuare un terzo ciclo di mentoring per giovani ricercatrici e ricercatori. L’esperienza è stata molto positiva per le giovani e i giovani che vi hanno partecipato ed ha ricevuto un primo riconoscimento dall’osservatorio indipendente [EIGE](#) (European Institute for Gender Equality) come pratica italiana rilevante.

Sempre nel 2023 è prevista la stesura del primo bilancio di genere. È stato istituito un gruppo di lavoro, si è individuato il piano di lavoro e si sta procedendo con la raccolta dei dati, con la collaborazione del CUG, della Direzione Risorse Umane e della Direzione Servizi Informativi.



## 4. GLI OBIETTIVI GESTIONALI E ORGANIZZATIVI

L'INFN caratterizza la propria azione scientifica a livello nazionale ed internazionale mostrando una forte compattezza e determinazione della comunità con conseguente grande efficienza nel grado di raggiungimento dei risultati dei progetti scientifici e tecnologici. Questa caratteristica dell'istituto è riconosciuta ed apprezzata ai massimi livelli europei ed internazionali. Il mantenimento dell'elevato standard sia per gli obiettivi scientifici che per il grado di realizzazione richiedono una continua ed attenta evoluzione dei processi organizzativi, gestionali ed amministrativi, operata in ottica di miglioramento dell'efficacia e dell'efficienza delle azioni e individuando aree tematiche di elevato impatto.

L'INFN opera un autogoverno responsabile della ricerca ricorrendo ad un ampio coinvolgimento, sia del proprio personale che del personale universitario associato all'istituto, negli organi di governo dell'ente e stimolando la partecipazione e il contributo continuo della comunità scientifica. L'istituto esamina e valuta, ed eventualmente supporta, tutte le proposte provenienti da tutta la comunità; i processi di monitoraggio in itinere e di revisione e controllo ex post sono operati tra pari; la pianificazione degli obiettivi scientifici e delle risorse è operata da parte di organi rappresentativi della comunità scientifica.

L'auto-governo responsabile è uno degli elementi identitari dell'istituto, che maggiormente ha contribuito e contribuisce al successo della nostra attività, da preservare assolutamente nello spirito e nella sostanza. Per questo si ritiene prioritario rendere più efficienti e completi i sistemi gestionali di supporto agendo su:

- l'integrazione del software di gestione dei preventivi scientifici con i dati dei consuntivi al temine dell'anno finanziario;
- l'utilizzo di strumenti avanzati di *project management* per seguire su base pluriennale l'evoluzione dei progetti, la gestione delle risorse umane e strumentali e gli impegni finanziari;
- l'organizzazione di strutture in Amministrazione Centrale adeguate alla gestione dei progetti PNRR.

Le competenze tecniche ed amministrative del personale dell'istituto costituiscono la risorsa primaria, necessaria per la realizzazione dei progetti di ricerca scientifica e tecnologica nazionali ed internazionali in linea con i successi raggiunti nei 70 anni di storia dell'INFN. L'attenzione al personale da parte dell'ente è sempre stata massima e l'analisi delle criticità gestionali è sempre stata costante. Proseguendo questo sforzo si provvederà:

- al monitoraggio ed all'aggiornamento continuo dello strumento di gestione degli emolumenti del personale incluse le banche dati di supporto;
- all'informatizzare definitivamente le pratiche concorsuali, inclusa la fase di presentazione delle domande da parte dei candidati;
- al perfezionamento e all'adattamento delle pratiche di valutazione delle performance gestionale ed amministrativa alle esigenze dell'istituto, ed all'utilizzo di appositi applicativi per la gestione completa del ciclo della performance.

L'istituto da sempre opera una attenta valutazione scientifica dei progetti unita alla rendicontazione economica, delle risorse umane, delle realizzazioni tecniche e dei risultati conseguiti. Queste complesse attività richiedono una organica e sistematica raccolta di dati e la elaborazione di documenti di analisi e di sommario. Le notevoli quantità di documenti generati richiedono:

- la revisione e il potenziamento dei sistemi di gestione degli archivi dati armonizzata con le procedure di caricamento ed estrazione dei dati stessi;
- la digitalizzazione dei documenti generati nei processi di valutazione e rendicontazione;
- la conservazione sostitutiva dei fascicoli prodotti a norma di legge.

## 5. L'ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

La missione principale dell'INFN è lo studio dei componenti di base della materia e la ricerca teorica e sperimentale nei campi della fisica subnucleare, nucleare e astro particellare. Gran parte delle attività scientifiche sono condotte nell'ambito delle cinque Commissioni scientifiche nazionali (CSN) e sviluppate in stretta collaborazione con l'università e altre istituzioni scientifiche sia in Italia sia all'estero. L'approccio utilizzato dalle CSN è di tipo bottom-up: le comunità di riferimento sottopongono alle Commissioni nuove proposte che vengono vagliate e, in caso di approvazione, sostenute finanziariamente. Per tutte le attività, l'ampio spettro e la qualità delle ricerche condotte sono dimostrati dal considerevole numero di articoli, citazioni e presentazioni a conferenze internazionali. Le pagine web delle Commissioni scientifiche nazionali possono essere raggiunte direttamente dalla pagina web del sito principale dell'[INFN](#).

### 5.1 Resoconto dell'attività svolta

#### 5.1.1 Fisica delle particelle agli acceleratori

Il comitato scientifico INFN incaricato di esaminare, monitorare e supportare gli esperimenti e i progetti di fisica delle particelle agli acceleratori è la Commissione scientifica nazionale 1 (CSN1), alla quale afferiscono circa 1200 fisici, ingegneri e studenti di dottorato che contribuiscono alle attività di alte energie dell'INFN. Il numero totale di Full Time Equivalent (FTE) che lavorano in CSN1 nel 2022 è stato di 853. Il budget complessivo per lo stesso anno è stato pari a 20 M€, con ulteriori 3.5 M€ provenienti da fondi esterni.

All'acceleratore LHC del Cern, nel 2022, la CSN1 ha supportato ATLAS e CMS (due grandi esperimenti general-purpose), l'esperimento LHCb, dedicato agli studi sul flavour ed esperimenti di dimensioni minori, come LHCf e SND@LHC, dedicati a misure specifiche. Sempre al CERN due esperimenti hanno raccolto dati all'acceleratore SPS: COMPASS che studia la struttura e la spettroscopia adronica, e NA62 per studi sui decadimenti rari del mesone K. Nel biennio 2021-2022, ATLAS e CMS sono stati fortemente impegnati nel completamento delle operazioni legate a LS2 (second *long shutdown*), e alla partenza del nuovo periodo di presa dati (Run 3, iniziato a luglio 2022) con energia nel centro di massa aumentata a 13.6 TeV. Il collaudo dei due apparati sperimentali, fortemente migliorati durante LS2, è stato completato, e ognuno dei due esperimenti ha raccolto circa  $38 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata, raggiungendo l'obiettivo previsto per il 2022, nonostante il periodo di presa dati sia stato accorciato di due settimane per risparmi energetici. Le prime misure basate sui dati a 13.6 TeV, riguardanti la produzione di coppie di quark top, sono state completate e rese pubbliche. Gli altri risultati pubblicati da ATLAS e CMS nello scorso biennio si basano sui dati raccolti nel precedente Run 2 e riguardano misure sul Modello Standard e la caratterizzazione del bosone di Higgs, mentre gli altri risultati sono relativi allo studio delle interazioni tra ioni pesanti e la ricerca di nuova fisica. Qui menzioniamo solo qualche risultato: entrambi gli esperimenti hanno misurato gli accoppiamenti dei bosoni W e Z al bosone di Higgs con precisione del 5% e dei fermioni di terza generazione al 10-20%. La massa del bosone di Higgs è stata misurata con precisione del 1.5 per mille. La ricerca di produzione di coppie di bosoni di Higgs ha permesso di mettere limiti significativi all'accoppiamento del bosone di Higgs con sé stesso. L'esperimento ATLAS ha osservato per la prima volta la produzione di tre bosoni W e l'esperimento CMS ha fornito la prima misura della polarizzazione longitudinale del bosone W negli eventi contenenti anche un bosone Z. La massa del quark più pesante, il quark top, è stata misurata da entrambi gli esperimenti con una precisione del 2.2 per mille. Durante LS2 l'esperimento LHCb è stato

completamente rivisto e notevolmente potenziato, consentendo di aumentare di cinque volte il numero di collisioni  $pp$  per unità di tempo e la mole di dati raccolti. L'aggiornamento ha riguardato in particolare i sotto-rivelatori finanziati dall'INFN, ossia il sistema a muoni, il tracciatore upstream (UT), il sistema RICH e il nuovo sistema SMOG2, una cella di stoccaggio per l'inezione di diversi gas a monte del rivelatore VELO, che amplia in modo significativo le potenzialità scientifiche del programma a bersaglio fisso dell'esperimento. Nel corso del 2022, con i primi dati del Run 3, l'esperimento è stato collaudato quasi completamente (il rivelatore UT è in installazione a inizio 2023). La collaborazione LHCb ha pubblicato notevoli risultati basati sui dati raccolti nel Run 2, che riguardano lo studio della violazione di CP con quark b, lo studio dell'universalità leptonica, la spettroscopia adronica, la fisica elettrodebole e delle interazioni forti e lo studio di collisioni di ioni pesanti. Tra questi evidenziamo solamente la prima misura della violazione di CP diretta nel settore del quark charm, osservata per la prima volta nel decadimento di un mesone  $D^0$  in coppie di pioni carichi. L'esperimento LHCf, dedicato allo studio degli sciami adronici per migliorare la comprensione dell'interazione dei raggi cosmici primari con i nuclei dell'atmosfera, è stato migliorato con l'installazione di un nuovo rivelatore al silicio. L'esperimento ha misurato per la prima volta la produzione del mesone  $\eta$  nella regione ad altissima rapidità. La costruzione del nuovo esperimento SND@LHC, finalizzato alla rivelazione dei neutrini prodotti nelle collisioni a LHC, è stata completata in tempo per poter raccogliere i suoi primi dati all'inizio del Run 3 nel 2022. L'esperimento è stato collaudato con successo ed è pronto per la fisica. L'SPS del CERN ha ripreso a fornire protoni nel luglio 2021, gli esperimenti NA62 e COMPASS hanno ripreso a prendere dati dopo due anni di stop. L'apparato NA62 è stato notevolmente migliorato durante LS2 con un sistema migliore di rivelatori di tracciamento e un sistema di contatori di vetro aggiuntivi per ridurre drasticamente il fondo dominante dovuto ai decadimenti K a monte dell'esperimento. L'apparato COMPASS ha raccolto i suoi ultimi dati nel 2022 utilizzando un bersaglio polarizzato; l'apparato sarà in parte riutilizzato per il nuovo esperimento AMBER.

L'esperimento MEG 2 al Paul Scherrer Institute (Svizzera), ha completato il collaudo e raccolto i primi dati nel 2022, con lo scopo di porre limiti sempre più stringenti (o osservare) il decadimento del muone in elettrone e fotone. L'accoppiamento tra muone, elettrone e fotone è di particolare interesse e sarà studiato anche dall'esperimento MU2E a Fermilab (USA): la costruzione dei moduli del calorimetro, di responsabilità INFN, è stata completata negli ultimi due anni. L'esperimento g-2 a Fermilab (USA), finalizzato allo studio del momento magnetico anomalo del muone, ha continuato la presa dati nel 2022 e un primo modulo dell'esperimento MUonE al CERN è stato collaudato. L'esperimento PADME ai laboratori nazionali di Frascati ha completato con successo un periodo di presa dati nel 2022, con lo scopo di osservare o porre limiti all'esistenza del *dark photon*. Nel 2022 l'esperimento ha reso pubblica una interessante misura di produzione di coppie di  $\gamma$ , che dimostra l'eccellente performance dell'apparato.

Nello scorso biennio l'esperimento Belle II al collider  $e^+e^-$  SuperKEKB (Giappone) ha completato il suo primo periodo di presa dati, raccogliendo circa mezzo  $ab^{-1}$  di luminosità integrata. Belle II ha pubblicato i suoi primi risultati nel settore della fisica del quark b e nella ricerca di nuova fisica. In particolare, una nuova misura del decadimento del mesone  $B^0$  in coppie  $\pi^0\pi^0$  ha dimostrato le grandi potenzialità dell'esperimento per gli stati finali con particelle neutre. L'esperimento BESIII a BEBC (Cina) ha continuato la raccolta dei dati per lo studio della fisica del quark charm e del leptone tau; l'esperimento ha pubblicato recentemente vari risultati, tra i quali menzioniamo l'evidenza di stati esotici a quattro quark (tetra-quark) contenenti quark charm.

### *5.1.2 Fisica astroparticellare*

La CSN2 coordina le attività di ricerca nel campo della fisica astroparticellare. Gli argomenti sono raggruppati in 4 aree tematiche principali: Radiazione dall'Universo, Gravità e Fisica quantistica, Fisica del Neutrino e Universo Oscuro. La finalità principale delle ricerche mira a dare una risposta alle questioni più rilevanti del settore: la natura della materia oscura, l'origine della radiazione cosmica, la natura del neutrino oltre a sorgenti e proprietà delle onde gravitazionali.

Gli esperimenti sono realizzati e condotti dove le condizioni sperimentalistiche risultano ottimali: nei principali laboratori di ricerca, come nello spazio, oppure in alta montagna o nelle profondità della terra e del mare.

Il contributo dei gruppi INFN ai progetti di ricerca della CSN2 si distingue sempre per il fatto di coprire diversi aspetti rilevanti che vanno dalla realizzazione di parti dei rivelatori fino all'analisi dei dati. Questa scelta garantisce sempre anche la copertura di ruoli di rilievo e responsabilità nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali.

Una caratteristica importante della strategia della CSN2 è quella di supportare, per ciascuna area tematica, esperimenti che da una parte garantiscano la massima copertura dei temi di ricerca più importanti e dall'altra realizzino una struttura piramidale al culmine della quale c'è sempre un numero limitato di esperimenti in fase avanzata di presa dati, seguiti da progetti in fase di realizzazione o espansione, e infine da un insieme più ampio di attività minori di sviluppo di idee (o realizzazione di dimostratori) con interessanti potenzialità per future evoluzioni.

Questo approccio caratterizza anche le attività dei prossimi anni in cui oltre a esperimenti in fase avanzata di presa dati come DAMPE, MAGIC, FERMI, AMS2 e IXPE per la radiazione cosmica, ICARUS, CUORE e LEGEND per le proprietà del neutrino, XENONnT, DAMA per l'osservazione diretta della materia oscura ed infine VIRGO per le onde gravitazionali, troviamo esperimenti in fase di realizzazione come JUNO, KM3, DUNE, CTA o DARKSIDE, oppure in fase di aggiornamento come AUGER e AMS2 oppure ancora prossimi a entrare in attività, come EUCLID e GAPS. La situazione di progetti importanti come CUPID e LEGEND-1000 da una parte e HERD dall'altra versa ancora in uno stato di incertezza legato all'instabilità della situazione internazionale (crisi Ucraina da una parte e relazioni con la Cina dall'altra). Migliore è la situazione di EUCLID il cui lancio risulta ora ritardato solo di qualche mese a seguito del reperimento di un nuovo lanciatore (Falcon 9). Per ciò che riguarda i programmi di lunga scadenza, LiteBIRD procede regolarmente verso il lancio previsto nel 2029, mentre un grosso avanzamento è stato ottenuto da LISA (l'interferometro per onde gravitazionali su scala planetaria) la cui "adoption" da parte ESA è stata anticipata al 2023. Va sottolineato che molte attività (in particolare quelle per l'osservazione dell'universo) sono condotte in stretta collaborazione con altri enti di ricerca come INAF e INGV, oltre che con ASI.

Un ruolo particolare è giocato dai LNGS che ospitano una frazione importante delle attività della CSN2 e che continua a rappresentare un luogo unico e ideale per le ricerche di eventi rari (materia oscura, neutrini cosmici e doppio beta).

Va anche ricordato che oltre al supporto finanziario garantito dal budget ordinario della CSN2, molti degli esperimenti possono contare su quello basato su fondi ministeriali e/o regionali oltre che da accordi di collaborazione con ASI.

Grande rilevanza ha avuto a questo riguardo il PNRR che ha coinvolto ben 5 attività di CSN2 (KM3NeT, ET, CTA+ e LNGS per le infrastrutture, oltre al partenariato esteso per le attività spaziali) con un importantissimo supporto finanziario che permetterà nei prossimi 3 anni di completare oltre metà del rivelatore ARCA di KM3NeT, buona parte delle principali

infrastrutture di ET, garantire la realizzazione di almeno 2 LST (*Large-Sized Telescope*) nel sito australe di CTA e potenziare i LNGS.

Tra le note di rilievo del 2022 vanno certamente menzionati i primi mesi di presa dati di IXPE, la continuazione delle campagne marine di KM3, l'approvazione della proposta di aggiunta di un piano del tracciatore ad AMS2 sulla ISS e quella di partecipazione dei gruppi italiani all'esperimento HK in Giappone.

Come sempre, la CSN2 è anche attenta ai diversi sviluppi sia di natura scientifica sia tecnologica che caratterizzano al momento una decina di attività più piccole che nel corso dei prossimi tre anni potrebbero evolvere in nuovi importanti progetti oppure essere sostituite da un numero equivalente di nuove proposte.

### *5.1.3 Fisica nucleare*

La CSN3 si occupa degli esperimenti dedicati alla fisica nucleare e rivolti agli studi delle proprietà e delle caratteristiche dei nuclei in tutta la mappa dei nuclidi, dei processi nucleari fondamentali, del Quark-Gluon Plasma (QGP) primordiale e delle reazioni nucleari di rilievo per i processi astrofisici. Queste ricerche sono condotte da esperimenti che operano sia in diversi laboratori internazionali (CERN, GSI, GANIL, JLAB, RIKEN, TRIUMF, etc.) sia nei laboratori italiani dell'INFN (Catania LNS, Frascati LNF, Gran Sasso LNGS e Legnaro LNL) e in quello presente a Caserta (CIRCE). Gli esperimenti usano diversi tipi di fascio (protoni, neutroni, fotoni e nuclei stabili o instabili), con energie che variano di molti ordini di grandezza, dal keV al TeV. La CSN3 segue anche esperimenti dedicati a studi multidisciplinari, tra cui le applicazioni biomediche o gli aspetti fondamentali del modello standard e della simmetria materia-antimateria. Maggiori dettagli sono disponibili nel sito web della [CNS3](#).

Nel 2022, circa 880 ricercatori hanno partecipato ad attività sperimentali nell'ambito della CSN3, per un totale di circa 500 FTE, un numero confrontabile con quello degli anni precedenti. Il bilanciamento di genere è intorno al 30-40%, in funzione dei ruoli ricoperti. Il numero di tesi (triennali, magistrali e PhD) è leggermente aumentato rispetto agli anni precedenti raggiungendo circa 90, anche qui con un bilanciamento di genere intorno al 35%. Nel 2022 il finanziamento totale è stato di 9200 k€ e il 77% degli obiettivi prefissati sono stati raggiunti.

Il 2022 ha visto la pubblicazione di un [articolo di rassegna](#) sulle tecniche di identificazione di particelle usate negli esperimenti di fisica nucleare della CSN3, con un forte coinvolgimento dei ricercatori più giovani. Inoltre, sono stati organizzati quattro workshops che hanno contribuito a meglio definire le linee di ricerca nei laboratori italiani sino alla fine del decennio: [Mid-term plans of Nuclear Physics in Italian Laboratories](#).

Le attività della CSN3 sono raggruppate in sei diverse linee di ricerca, per ciascuna delle quali vengono brevemente illustrate alcune tra le principali attività nel 2022:

#### Dinamica dei Quark e degli Adroni

I gruppi italiani hanno partecipato attivamente alla definizione dell'esperimento EPIC, che sarà operativo intorno al 2030 presso il nuovo Electron Ion Collider (EIC) a BNL in USA. Con il collisionatore Daphne di LNF l'esperimento Siddharta ha raccolto la prima parte di dati per lo studio delle interazioni tra quarks strani e nucleoni sfruttando la produzione di atomi kaonici.

#### Transizione di fase nella materia adronica

L'esperimento ALICE presso il collisionatore LHC del CERN ha ripreso la presa dati per il RUN3 con i nuovi rivelatori installati durante il Long Shut-down 2. Numerose sono state le

pubblicazioni, fra le quali spiccano le prime misure dell'effetto dead-cone della QCD e dell'interazione dei nuclei di anti-He (di interesse per lo studio della produzione di Dark Matter di tipo cosmologico), ambedue su Nature. È in fase di studio la proposta di un upgrade chiamato ALICE3 previsto oltre il 2030.

#### Struttura nucleare e meccanismi di reazione

È ripresa l'attività sperimentale presso i LNL, in particolare con l'apparato AGATA che, insieme ad altri rivelatori complementari e dopo un *commissioning* di successo, è entrato nel vivo della prima campagna scientifica. In attesa della messa in funzione di SPES ai LNL e POTLNS ai LNS, i gruppi italiani hanno continuato i lavori di R&D e costruzione per i nuovi esperimenti. Contemporaneamente si sono intensificate le attività sperimentali nei laboratori esteri e l'analisi e pubblicazione dei dati raccolti.

#### Astrofisica nucleare

L'attività sperimentale si è svolta ai LNGS, con l'inizio degli studi con LUNA-MV, presso i laboratori CIRCE di Caserta e in diversi laboratori esteri. È iniziata la sperimentazione presso il CERN di n\_TOF con un nuovo fascio di neutroni ad alta intensità. Prosegue l'R&D per i nuovi rivelatori, alcuni dei quali legati alle nuove sperimentazioni a LNL e LNS con fasci esotici. Numerose le pubblicazioni e rilevante il loro impatto nella definizione dei modelli teorici. PANDORA ai LNS ha iniziato la costruzione dell'apparato per misure di decadimenti in plasmi. Ci sono stati inoltre nuovi ed interessanti sviluppi sull'uso di laser per ricerche in ambito di fisica nucleare.

#### Simmetrie ed interazioni fondamentali

È iniziata la presa dati al nuovo deceleratore di antimateria ELENA al CERN, con numerosi gruppi italiani coinvolti. Sono iniziate le prime misure del raggio del protone a RAL. Proseguono le misure di effetti quantistici ai LNGS e le misure del momento di dipolo elettrico/magnetico presso l'acceleratore COSY (Germania).

#### Applicazioni e società

L'esperimento FOOT ha effettuato una prima serie di misure di sezioni d'urto di interesse medico per l'adroterapia e per lo studio di materiali adatti agli schermi di protezione dai raggi cosmici delle future missioni spaziali. Nel 2022 è proseguita la costruzione dell'apparato nella sua forma più completa.

#### *5.1.4 Fisica teorica*

Le attività di ricerca INFN nel campo della fisica teorica sono coordinate dalla CSN4.

Tali attività sono sviluppate in stretta collaborazione con il mondo accademico e altre istituzioni scientifiche, sia in Italia sia all'estero. Il numero di articoli, di citazioni e di presentazioni a conferenze internazionali dimostrano la vastità e la qualità della ricerca svolta dalla CSN4. Una rilevante frazione della ricerca in fisica teorica è fortemente legata alla ricerca sperimentale, condotta dall'INFN nel campo della fisica delle particelle, della fisica nucleare e dell'astrofisica. A causa dell'ampio spettro degli argomenti trattati, le attività della CSN4 sono organizzate in sei aree che coprono le tematiche principali. Queste aree, chiamate "Linee Scientifiche" (LS), sono:

- LS1: Teoria delle stringhe e dei campi (29%).
- LS2: Fenomenologia delle Particelle (16 %).
- LS3: Fisica adronica e nucleare (9%).
- LS4: Metodi matematici (14 %).

- LS5: Fisica astroparticellare e cosmologia (20%).
- LS6: Statistica e Teoria dei campi applicata (12%).

I numeri tra parentesi indicano le percentuali di afferenza dei ricercatori alle singole LS.

Nel 2022 oltre 1300 fisici, inclusi gli studenti di Dottorato e i post-doc, che corrispondono a oltre 1100 FTE, sono stati coinvolti nelle attività di ricerca della CSN4.

Durante il 2022 la comunità teorica è stata organizzata in 35 progetti di ricerca (Iniziative Specifiche), finalizzate alla partecipazione a collaborazioni scientifiche e a sinergie tra diverse unità di ricerca.

Ogni tre anni ciascuna LS è valutata da due referee indipendenti, appartenenti a istituti di ricerca internazionali. I risultati di questo processo di valutazione sono utilizzati per distribuire le risorse finanziarie e le *fellowship* post-doc della CSN4.

La CNS4 è attualmente presente in tutte le strutture INFN, incluso il centro TIFPA a Trento e in tre dei quattro laboratori nazionali (esclusi i LNL) e nei tre Gruppi collegati (Parma, Salerno e Cosenza). Nel 2021 i ricercatori afferenti alla CSN4 hanno pubblicato 1840 articoli, che corrispondono a 1.60 articoli per FTE, con un *impact factor* medio di circa 5.45 per lavoro e un numero medio di citazioni per articolo di 4.23.

A causa delle circostanze eccezionali dovute alla pandemia, a partire dal 2020 una frazione del budget destinato alle trasferte per collaborazioni e seminari è stata utilizzata per aumentare il numero di assegni di ricerca per ricercatori stranieri.

Nel seguito sono commentate le attività scientifiche della CSN4 con alcuni focus su quelle maggiormente connesse con l'attività sperimentale dell'INFN, i.e. la fisica delle particelle e delle astroparticelle, la cosmologia, le onde gravitazionali e la fisica adronica e nucleare.

#### Fisica di precisione del Modello Standard

La precisione raggiunta negli esperimenti condotti a LHC e le proiezioni per I futuri *run* ad alta luminosità hanno dato un vigoroso impulso allo studio di tecniche di calcolo sempre più raffinate e alla recente realizzazione di strumenti computazionali adatti a un confronto significativo tra predizioni teoriche e dati sperimentali. Nell'ambito degli studi sui possibili futuri collider con fasci leptonici, sono state intraprese nuove attività dedicate a una descrizione di altissima precisione delle collisioni leptoniche di alta energia, sfruttando I metodi di calcolo recentemente sviluppati per le collisioni adroniche.

#### Fisica oltre il Modello Standard

Nell'ambito delle ricerche di nuove teorie che estendano il Modello Standard delle interazioni fondamentali, in un approccio di tipo bottom-up, particolare attenzione è stata dedicata allo studio delle possibili classi di modelli in grado di spiegare contemporaneamente alcuni recenti risultati sperimentali, quali, per esempio, le anomalie osservate dall'esperimento LHCb concernenti possibili violazione dell'universalità leptonica e la discrepanza tra predizione teorica e recenti misure del momento magnetico anomalo del muone.

#### Fisica nucleare e adronica

In tale settore si segnalano le attività teoriche connesse con lo sviluppo del progetto Electron Ion Collider, le attività relative all'interpretazione dei risultati dell'esperimento ALICE sulla materia adronica ad alta temperatura e densità e, infine, le ricerche in astrofisica nucleare, di interesse particolare per lo studio dei raggi cosmici e della dinamica interna delle stelle di neutroni, in relazione all'emissione di onde gravitazionali.

### Onde Gravitazionali

Con la rivelazione sperimentale di segnali prodotti dalla propagazione di onde gravitazionali, le ricerche in fisica teorica hanno visto un notevole sviluppo, consolidato anche nel corso del 2022, nello studio delle sorgenti di tali segnali. In particolare, si segnalano gli studi sui sistemi binari di stelle di neutroni e sulle coppie di buchi neri spiraleggianti e le connessioni con altre forme di radiazione di origine astrofisica in un contesto multi-messaggero. Si segnalano gli studi sulle potenzialità future connesse con il progetto ET.

### Fisica dei neutrini

Degni di nota, tra i molteplici risultati raggiunti, i progressi nelle analisi globali di tutti i dati sperimentali disponibili nel settore dei neutrini, mirate alla determinazione delle masse e dei parametri di oscillazione.

### Cosmologia e Materia Oscura

Sulla base dei dati di *survey* cosmologiche provenienti da esperimenti nello spazio, si sono ottenuti progressi significativi nello studio teorico della natura della materia ed energia oscura in relazione al modello cosmologico di riferimento e sue estensioni e possibili interpretazioni in termini di particelle elementari. Sono state studiate le possibili conseguenze sul modello cosmologico prodotte dalla rivelazione di segnali di onde gravitazionali (sia di origine astrofisica che cosmologica) ai presenti e futuri apparati di rivelazione.

All'approccio bottom-up che parte dall'interpretazione dei risultati sperimentali, si affiancano i risultati ottenuti con l'approccio *top-down*. Quest'ultimo, partendo dalla teoria delle stringhe come schema coerente per l'unificazione a livello quantistico delle forze fondamentali, delimita le possibili teorie effettive utili per predizioni teoriche verificabili in linea di principio con i dati delle osservazioni cosmologiche. Tale approccio caratterizza il settore di ricerca denominato "fenomenologia di stringa", in rapida evoluzione.

#### *5.1.5 Ricerca tecnologica e interdisciplinare*

La CSN5 finanzia e coordina i progetti di R&D per il supporto tecnologico agli esperimenti di fisica fondamentale dell'INFN. Promuove inoltre attività interdisciplinari, in collaborazione con le università e gli altri enti pubblici di ricerca come il CNR, in cui le conoscenze dell'INFN sono messe al servizio della società, in settori come la fisica medica, la fisica dell'ambiente e l'analisi dati. I progetti della CSN5 sono basati su argomenti in cui le competenze dell'INFN sono riconosciute a livello internazionale: rivelatori di radiazioni, acceleratori di particelle, elettronica e analisi dei dati.

Oltre alle applicazioni nella ricerca fondamentale, vengono sviluppate attività con significativi impatti sociali ed economici, come l'imaging medico, i metodi di terapia del cancro e la diagnostica, l'analisi e la protezione dell'ambiente e del patrimonio culturale. Uno degli impatti più significativi è venuto dallo sviluppo di piani di trattamento radioterapico con particelle cariche e neutroni.

Esistono tre diversi tipi di progetti finanziati dalla CSN5: progetti standard, bandi per presentare proposte specifiche e sovvenzioni per giovani ricercatori.

I progetti standard sono progetti di 2-3 anni con finanziamenti medio-bassi (circa 300 k€ su 3 anni). I bandi sono progetti più ampi che coinvolgono grandi reti per lo sviluppo di attività strategiche e ad alto impatto. Le sovvenzioni sono progetti presentati da giovani ricercatori, con un massimo di 6 anni dal conseguimento del dottorato di ricerca, in cui la CSN5 finanzia sia la borsa di studio sia il progetto di ricerca.

Nel 2022, l'attività di CSN5 è stata sviluppata attraverso 94 progetti che spaziano dalle tecnologie quantistiche all'AI (*Artificial Intelligence*) per la diagnostica medica, dai rivelatori per calorimetri ai beni culturali. Va notato che quasi il 40% del bilancio della CSN5 è dedicato ogni anno a reti di grandi dimensioni e borse speciali concesse a giovani ricercatori.

Tra i diversi progetti portati avanti nel 2022 è degno di nota il bando DARTWARS, con l'obiettivo di realizzare rivelatori superconduttori a basso rumore, al limite quantistico (limite di Heisenberg) per la rilevazione di segnali a microonde. Il superamento del limite quantistico è un requisito fondamentale per future applicazioni di frontiera, come la misurazione della massa dei neutrini, l'osservatorio a raggi X di prossima generazione, la misurazione della CMB e la rivelazione di materia oscura e assioni, in cui l'INFN è profondamente coinvolto.

L'obiettivo del bando FALAPHEL è quello di migliorare lo stato dell'arte dei collegamenti dati ad alta velocità e dei circuiti di lettura a segnale misto per le future applicazioni di rivelatori di pixel ad alta velocità e di studiare l'integrazione di questi collegamenti dati e di blocchi front-end analogici/digitali in un prototipo di circuito di lettura. Il progetto mira al tracciamento degli esperimenti FCC-*hh*, sfruttando l'opportunità di sostituire i sistemi di pixel interni degli esperimenti HL-LHC intorno al 2032.

Nel campo del calcolo, al progetto NEXT\_AIM afferiscono diverse unità INFN in una rete dedicata alle applicazioni dell'AI nella diagnostica medica, finalizzata all'obiettivo della medicina di precisione.

Infine, nel 2022 sono state portate avanti le attività sullo sviluppo tecnologico degli acceleratori di particelle, anche attraverso il progetto TEFEN, il cui obiettivo è dimostrare la possibilità di realizzare cavità risonanti di niobio su rame con prestazioni paragonabili alla tecnologia *bulk niobium* riducendo le difficoltà inerenti questa tecnologia.

L'INFN è da sempre all'avanguardia nel calcolo scientifico. L'istituto ha infatti una lunga storia di supporto, sviluppo ed utilizzo di infrastrutture di calcolo e storage distribuito. L'evoluzione del calcolo nell'INFN segue da vicino le necessità della comunità scientifica. Da un lato gli esperimenti nei grandi laboratori internazionali hanno reso necessario non solo condurre campagne di analisi dati, ma anche disporre di risorse di calcolo adeguate a svolgere simulazioni di tipo Montecarlo, che rappresentano una risorsa fondamentale per la ricerca scientifica. Con l'avvento del LHC, sono aumentate drammaticamente le esigenze di calcolo e di storage e hanno portato all'evoluzione di un'infrastruttura di calcolo che è diventata parte integrante dell'istituto. Dall'altro lato anche le ricerche in fisica teorica richiedono l'impiego di rilevanti risorse che hanno richiesto e richiedono significativi investimenti nel campo del calcolo HPC (*High Performance Computing*). Grazie all'esperienza e alle competenze sviluppate nello sviluppo e la gestione di grandi infrastrutture di calcolo l'INFN è proponente di due rilevanti progetti PNRR: il Centro Nazionale di *HPC, Big Data e Quantum Computing* ICSC (localizzato al Tecnopolo di Bologna) e dell'infrastruttura TeRABIT, che verranno discusse in maggiore dettaglio nel seguito.

Negli ultimi due decenni l'INFN ha realizzato, grazie anche ad un cospicuo contributo da progetti europei, un'infrastruttura nazionale multidisciplinare a supporto del calcolo scientifico tra le più vaste d'Europa, basata sul modello del *Grid Computing*. La sua interconnessione con le infrastrutture delle altre nazioni la rende una componente fondamentale della *Grid* europea EGI (*European Grid Infrastructure*) e di WLCG (*Worldwide LHC Computing Grid*). L'utilizzo è sempre stato dominato dalle collaborazioni LHC, ma recentemente hanno assunto un ruolo importante anche gli esperimenti astroparticellari. L'infrastruttura è costituita da un *Tier-1* e 10 centri *Tier-2*, dotati di *data center* di varie

dimensioni, capaci di offrire servizi basati su standard comuni. I centri forniscono risorse di calcolo e *storage* a varie comunità scientifiche, sia a livello nazionale sia internazionale, rendendo l'INFN un punto di riferimento per il calcolo scientifico. La leadership dell'INFN in questo importante settore si è confermata anche negli anni recenti contribuendo in modo significativo allo sviluppo delle iniziative europee di EOSC (*European Open Science Cloud*), EDI (*European Data Infrastructure*) e EuroHPC (*High Performance Computing*).

L'INFN è tra i promotori di ICDI (Infrastruttura Calcolo e Dati Italiana), un forum delle principali infrastrutture di calcolo di ricerca italiane che ha lo scopo di promuovere sinergie nei servizi per i dati scientifici a livello nazionale e ottimizzare la partecipazione italiana a sfide europee e globali in questo settore. A lungo termine, ICDI mira a creare un organismo nazionale di coordinamento, che interagisca con istituzioni nazionali ed europee e supporti il MUR nella definizione delle strategie nazionali nel campo della ricerca basata sui dati. I principali partner ICDI, tra cui l'INFN, hanno partecipato al progetto EOSC-Pillar insieme al consorzio francese per *OpenScience* e ai rappresentanti della Federazione tedesca dati, Helmholtz. L'obiettivo generale di EOSC-Pillar è stato l'implementazione della EOSC (*European Open Science Cloud*) sfruttando le iniziative nazionali. L'INFN ha coordinato il progetto IBiSCo nell'ambito del programma PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 finanziato dal MUR. Questo progetto, che si inquadra nel "Pillar 2: Infrastructure" di IPCEI-HPC-BDA (*Important Project of Common Interest on High Performance Computing and Big Data enabled Applications*), ha potenziato l'infrastruttura ReCaS del Sud Italia, realizzata anche con programmi PON, e il progetto DHTCS in collaborazione con CNR, INAF, INGV e GARR. Lo scopo del progetto è stato la creazione di un sistema distribuito nel Sud Italia che appare logicamente come un unico nodo connettendo ad alta banda passante i siti di Bari, Catania e Napoli attraverso una rete connessa con il Tier-1 del CNAF e il PoP GARR di Milano, accesso alla rete internazionale della ricerca GEANT. La piattaforma IBiSCo ha comportato inoltre una strettissima collaborazione con altri enti di ricerca come il CNR, l'INAF, l'INGV e le università degli studi Aldo Moro di Bari e Federico II di Napoli.

In questo contesto si è collocato anche il progetto SUPER, POR-FESR della Regione Emilia-Romagna, che ha portato a un potenziamento e una maggiore integrazione delle risorse di CINECA e CNAF. Questo *hub* di calcolo è uno degli elementi chiave del modello *data lake* che l'INFN intende adottare per la gestione della grande quantità di dati prodotta a HL-LHC (*High Luminosity-LHC*) e rappresenta il prototipo dell'infrastruttura nazionale che si realizzerà con i progetti in ambito PNRR che si sono nel frattempo costituiti.

Nel corso del 2022 si è infatti concretizzata la proposta, coordinata dall'INFN, per il Centro di HPC, *big data* e *quantum computing* nell'ambito del "Investimento 1.4" della M4C2 del PNRR pensato per potenziare l'infrastruttura di calcolo nazionale, mettendo insieme risorse esistenti e nuove su una rete multi-Tbps per realizzare un *data lake* al servizio di un'ampia comunità scientifica. Il Centro Nazionale, denominato ICSC-XC, è organizzato in dieci aree tematiche: dalla ricerca fondamentale alla società digitale, passando per scienza dei materiali, clima, ambiente, medicina e altro ancora, oltre ad un'attività dedicata alla gestione dell'infrastruttura comune. Il progetto coinvolge 25 università, 12 enti di ricerca, 14 partner privati, oltre 1500 ricercatori e ha un budget di 320 milioni di euro su tre anni.

Sempre nell'ambito dei progetti della M4C2 del PNRR, l'INFN partecipa ad altri progetti di particolare rilevanza per il calcolo. Nell'ambito dell'Investimento 3.1 coordina il progetto TeRABIT che, con un budget di 41 milioni di euro, insieme agli stessi partner che gestiscono l'infrastruttura di ICSC-XC e in sinergia con esso, si propone di potenziare in modo complementare a quanto fatto nel Centro Nazionale le infrastrutture di ricerca coinvolte. Partecipa inoltre al progetto Itineris, occupandosi degli aspetti computazionali nelle scienze ambientali. Nell'ambito dell'Investimento 1.3 partecipa ai partenariati estesi FAIR sugli aspetti fondazionali dell'intelligenza artificiale e NQSTI sulle scienze e tecnologie

quantistiche. Nell'ambito dell'Investimento 1.5 partecipa agli ecosistemi dell'innovazione ECOSISTER della Regione Emilia Romagna e THE della Regione Toscana, con compiti che riguardano l'utilizzo delle risorse di calcolo. Nel piano complementare al PNRR su iniziative di ricerca per tecnologie e percorsi innovativi in ambito sanitario ed assistenziale, l'INFN partecipa al progetto DARE occupandosi delle tecnologie di gestione dei dati e del loro processamento.

Nel novembre 2022 è stato inaugurato al Tecnopolo di Bologna il supercalcolatore *pre-exascale* (250 PFLOPS) "Leonardo", finanziato in modo paritetico dalla JRU EuroHPC e dal MUR, in cui l'INFN è partner principale assieme a CINECA. Leonardo si è classificato al quarto posto nella "Top-500" dei centri HPC mondiali.

Per quanto riguarda HPC, oltre alle attività sperimentali anche numerose aree di ricerca in fisica teorica e modellistica dei sistemi richiedono un supporto rilevante di specifiche risorse di calcolo che in alcuni casi raggiungono il limite delle odierne capacità tecnologiche: esempi in questo campo sono tra l'altro simulazioni di teorie di *gauge* su reticolo, lo studio della turbolenza e la modellizzazione ed implementazione di *neural network* applicate sia allo studio del comportamento del cervello umano e di intelligenza artificiale sia ai sistemi di controllo e alla ricostruzione/analisi offline di eventi agli esperimenti HEP. Negli ultimi anni, l'enorme investimento economico richiesto ha ridotto per l'INFN la finestra di opportunità di realizzazione di sistemi HPC dedicati completamente *custom*, ma grazie al ricco bagaglio di *know-how* nell'ambito delle architetture di calcolo e delle tecnologie associate, l'INFN riesce sempre ad avere un ruolo significativo nelle attività di R&D del settore, come testimoniano i progetti H2020 ExaNeSt e il suo successore EuroExa, nonché la partecipazione alla *flagship* HBP (*Human Brain Project*) con il progetto WaveScale.

## 5.2 Prospettive per le attività di ricerca nelle CSN per il periodo 2023 - 2025

### 5.2.1 Fisica delle particelle agli acceleratori

Nei prossimi tre anni le attività sperimentali nel campo della fisica delle particelle agli acceleratori (CSN1) saranno particolarmente intense, sia per la ripresa delle collisioni protone-protone ( $pp$ ) al Large Hadron Collider del CERN, iniziata nel 2022 dopo tre anni di manutenzione e miglioramento della macchina e degli apparati sperimentali, sia per la continuazione di importanti progetti in laboratori europei ed extra-europei. Inoltre, per il 2026/2027 è prevista la stesura della nuova ESPP (*European Strategy for Particle Physics*) che sarà basata sugli studi effettuati nel prossimo triennio. Negli anni 2023-2025 gli esperimenti ATLAS e CMS prevedono di triplicare la mole di dati a disposizione, approfondendo gli studi dettagliati delle proprietà del bosone di Higgs, scoperto alla stessa macchina acceleratrice dieci anni fa, e in particolare miglioreranno la misura degli accoppiamenti del bosone di Higgs ai fermioni di seconda e terza generazione. Questi esperimenti misureranno anche in maniera dettagliata le proprietà dei bosoni W e Z e del quark top, ampliando il territorio esplorato per nuova fisica. L'esperimento LHCb, completamente rinnovato, sarà in grado di studiare con grande precisione le proprietà del quark beauty, aumentando di un fattore sei la quantità di dati raccolti e permettendo di chiarire se anomalie riscontrate in alcuni decadimenti degli adroni con beauty siano effettivamente presenti. Inoltre, questo esperimento continuerà l'indagine relativa ai nuovi stati adronici esotici, interpretati come tetra-quark e penta-quark, la cui evidenza è diventata via via più solida negli ultimi anni. Nel settore della fisica del quark beauty informazioni complementari arriveranno dall'esperimento Belle2 a KEK (Giappone) che opera con collisioni elettrone-positrone ( $e^+e^-$ ), mentre l'esperimento BES III a IHEP (Cina) fornirà dati importanti sulla spettroscopia degli stati adronici esotici con quark charm, anch'esso attraverso collisioni  $e^+e^-$ . Nei prossimi tre anni sarà studiata per la prima volta la produzione

di neutrini a LHC grazie all'esperimento SND@LHC che è stato collaudato nel 2022: questo esperimento permetterà la misura della sezione d'urto di interazione di neutrini in una zona cinematica dove ancora non esistono dati.

Al di là dei collisori, nei prossimi anni sono previsti funzionare importanti esperimenti con fasci singoli e bersaglio fisso. L'esperimento NA62 al CERN continua la presa dati con fasci di kaoni carichi per misurare decadimenti rari di questo adrone contenente i quark strange. L'esperimento AMBER al CERN, in partenza nel 2023, si basa su uno spettrometro multiuso dedicato allo studio della distribuzione del quark nel pion, alla ricerca di produzione di anti-elio e alla misura del raggio del protone. L'esperimento MEG 2 al Paul Scherrer Institute (Svizzera), in cui fisici dell'INFN cercano di evidenziare possibili rari decadimenti del muone in elettrone e fotone, è entrato in funzione nel 2022 e raccoglierà dati nei prossimi anni; ulteriori dati arriveranno dall'esperimento MU2E in costruzione a Fermilab (USA), anch'esso con importante partecipazione di fisici italiani. Una misura del momento magnetico anomalo del muone con altissima precisione è attualmente in corso grazie all'esperimento g-2, sempre a Fermilab: dati preliminari sembrano indicare una deviazione con le previsioni teoriche per questo importante parametro ed il risultato finale è atteso per i prossimi anni. Un importante controllo di questa misura verrà dall'esperimento MUonE al CERN.

Un'attività rilevante per il triennio 2023-2026 riguarda la preparazione e costruzione dei nuovi apparati per la fase di alta luminosità di LHC (HL-LHC, 2029-2038). Gli impegni dell'INFN per HL-LHC comportano risorse significative, investite per la costruzione dei nuovi tracciatori, calorimetri elettromagnetici e adronici, rivelatori di tempo di volo, rivelatori di muoni, luminometri e sistemi di acquisizione dati. Tali impegni corrispondono rispettivamente a circa il 9% e il 12% del costo totale degli upgrade di ATLAS e CMS. Sono inoltre allo studio upgrades specifici per gli esperimenti dedicati al flavour, tra cui LHCb (fase 2), BELLE 2 (fase ad altissima luminosità) e HIKE (successore di NA62), che comporteranno nei prossimi anni un intenso sforzo di R&D per lo sviluppo di rivelatori adeguati.

Molteplici studi e test sono inoltre previsti nei prossimi tre anni per fornire le informazioni necessarie al processo decisionale per la scelta dei futuri acceleratori, di cui si occuperà la comunità dei fisici delle particelle nella prossima ESPP e di cui i fisici INFN sono parte integrante. L'attività principale riguarda lo studio di fattibilità per futuri collisori pp ed e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>, da collocarsi in un nuovo tunnel di grandi dimensioni (91 km) nell'area del CERN. Tale progetto fornirebbe una struttura di ricerca per studi di fisica fondamentale alla frontiera dell'energia a partire dal 2040, per i decenni successivi. Studi sono in corso anche per nuovi tipi di collisori, in particolare con fasci di muoni.

### 5.2.2 Fisica astroparticellare

Gli esperimenti FERMI e AMS2 continuano a stupire per la rilevanza dei risultati prodotti e la bontà delle prestazioni a dispetto dell'età (il loro lancio risale al 2008 e 2011 rispettivamente). I loro programmi sono certamente destinati a continuare anche negli anni futuri. In particolare, l'estensione delle attività di FERMI fino al 2025 è stata già approvata anche dalla NASA mentre la proposta di upgrade di AMS2 mira ad estenderne la durata fino alla conclusione del programma della ISS. In realtà la proposta nasce proprio da questa scadenza e mira a realizzare il nuovo piano del tracciatore nel corso dei prossimi due anni per poter sfruttare al meglio i rimanenti anni di attività. Responsabilità dei gruppi INFN è quella della sua integrazione e test.

Hyper-Kamiokande (HK) e DUNE rappresentano il principale impegno della CSN2 per i prossimi anni per ciò che riguarda la fisica con neutrini (cosmici e da acceleratore) e sono destinati ad assorbire una parte significativa del supporto finanziario. Per ciò che riguarda DUNE, i gruppi italiani hanno la responsabilità di uno dei *near detector* (SAND) oltre che del

sistema di lettura della luce di scintillazione dei moduli del *far detector*. Va sottolineato che si tratta di un impegno a termine medio/lungo in quanto l'inizio della presa dati di DUNE è attesa per il 2028. Nel caso di HK, l'INFN è capofila della proposta di affiancare ai grandi fotomoltiplicatori proposti e realizzati dai colleghi giapponesi un insieme di mPMT (basati sull'esperienza di KM3) in grado di migliorare le prestazioni del rivelatore. I gruppi italiani hanno anche avuto la responsabilità della produzione delle schede dell'elettronica di lettura di questi rivelatori, vincendo una competizione interna in cui erano coinvolti anche gruppi francesi e giapponesi. L'inizio della presa dati di HK è previsto per il 2027 per cui queste attività rappresenteranno un impegno consistente nei prossimi tre anni. Gli stessi gruppi INFN stanno anche ultimando la realizzazione delle TPC per il *near detector* di T2K (ND280 che coprirà lo stesso ruolo anche in HK) il cui inizio della presa dati è previsto nel corso del 2023. I prossimi anni saranno anche cruciali per un altro importante esperimento sulla fisica del neutrino, JUNO la cui costruzione ha subito un momentaneo rallentamento a causa della pandemia e sta ora procedendo a tappe forzate per iniziare la presa dati nel 2024. Il principale contributo dei gruppi INFN riguarda la preparazione dello scintillatore liquido, ereditata dall'esperienza di Borexino. La CSN2 ha recentemente approvato anche la proposta di un contributo sostanziale alla realizzazione di un *near detector* (TAO) che permetterà di ridurre le incertezze sistematiche della misura.

La rivelazione diretta della materia oscura è dominata nei tre prossimi anni dalla costruzione di DARKSIDE che ha mostrato importanti sviluppi nel corso del 2022 e si appresta ora ad affrontare la fase impegnativa di costruzione dell'apparato. La realizzazione della facility NOA ai LNGS è ormai completata, così come le gare per la realizzazione del criostato e gli accordi per l'estrazione e purificazione dell'UAr. Nel frattempo, XENONnT continua la presa dati mentre i gruppi INFN stanno già iniziando a discutere la possibile partecipazione a DARWIN.

C'è naturalmente grande attesa per l'inizio del *run* O4 di VIRGO AdV+, previsto per la primavera del 2023 che estenderà la distanza di osservazione delle onde gravitazionali aumentando tra l'altro la probabilità di osservare nuovi eventi di fusione di stelle di neutroni. Nel frattempo, la preparazione del *run* O5, in cui inizio è previsto nel corso del 2026, è già iniziata, mentre l'installazione delle nuove parti e la lunga messa in opera procederà subito dopo la conclusione di O4. Oltre che per l'approvazione del programma ETIC del PNRR, il progetto ET (già incluso nella *roadmap* ESFRI) sta ricoprendo un crescente interesse da parte della comunità INFN sia per le potenzialità nella rivelazione delle onde gravitazionali dopo la conclusione di VIRGO, sia per la possibilità che venga selezionato per la sua realizzazione il sito sardo di Sos Enattos. Poiché ET è un programma di lunga scadenza destinato a prendere dati nel corso degli anni '30, i gruppi INFN di VIRGO hanno già iniziato a pensare ad un piano di misure (post-O5) che copra il periodo intermedio sfruttando le competenze fin qui acquisite e le relative infrastrutture (VIRGO). Infine, i recenti sviluppi di LISA a livello ESA hanno dato un forte impulso alle attività sperimentali ed incrementato le aspettative dei ricercatori. I gruppi INFN sono responsabili dello sviluppo del GRS (*Gravitational Reference System*), il cui funzionamento è stato già garantito dal successo di LISA\_Pathfinder. I prossimi anni vedranno quindi lo sviluppo dei primi modelli tecnologici da implementare sui 3 moduli spaziali.

Per ciò che riguarda la ricerca del doppio decadimento beta, CUORE continuerà la presa dati fino al 2024 mentre LEGEND-200 ha recentemente completato la messa in opera del rivelatore e ha dato inizio alla presa dati il 19/12/2022. In attesa di risolvere i problemi legati all'approvvigionamento di grandi quantità di materiale isotopicamente arricchito e accogliere nuovi progetti (CUPID e LEGEND-1000) presso LNGS, questi esperimenti garantiranno all'INFN nei prossimi anni un ruolo scientifico di primo piano.

AUGER-Prime completerà l'upgrade del rivelatore nel corso del 2023 e darà quindi inizio ad una nuova presa dati destinata a durare almeno fino al 2030 per migliorare la nostra conoscenza della componente di altissima energia dei raggi cosmici. Nel corso del 2023 è atteso anche il lancio di EUCLID e GAPS, i cui risultati sono attesi nei prossimi anni e destinati a fornirci nuove informazioni sulla natura dell'energia e della materia oscura.

Il grande supporto dato dal piano PNRR, accoppiato al successo delle ultime campagne marine, sta incrementando notevolmente le aspettative per KM3NeT. Il completamento nel 2025 della prima metà di ARCA permetterà di sfruttare la posizione geografica ideale del rivelatore per l'osservazione dei neutrini provenienti dal centro galattico. Nel frattempo, l'installazione dei nuovi moduli ha già dato inizio all'osservazione *multi-messenger* delle principali sorgenti astrofisiche ed è destinata a continuare nei prossimi anni con un incremento costante della sensibilità.

Come sempre, la CSN2 è anche attenta ai diversi sviluppi sia di natura scientifica sia tecnologica che caratterizzano al momento una decina di attività più piccole che nel corso dei prossimi tre anni potrebbero evolvere in nuovi importanti progetti oppure essere sostituite da un numero equivalente di nuove proposte.

### 5.2.3 Fisica nucleare

Nel periodo 2023-2026 le attività sperimentali in Italia e all'estero della CSN3 proseguiranno con alcune importanti scadenze.

Per gli esperimenti a più alta energia, continuerà la presa dati di ALICE presso l'acceleratore LHC del CERN (*Run3*) con fasci di protone e piombo e di JLAB12 al *Jefferson Laboratory* (USA) con fasci di elettroni. In contemporanea, si finalizzeranno le proposte degli esperimenti EPIC presso il nuovo collisionatore EIC a BNL (USA), e ALICE3 al CERN, che sostituirà ALICE a partire dal Run 5 di LHC, ambedue previsti per i primi anni '30. Una nuova proposta di esperimento per studiare il punto critico nel diagramma di fase QCD al SppS del CERN, Na60+, è in attesa di valutazione.

In Italia, la sperimentazione di fisica nucleare con fasci a più bassa energia è già ripresa presso i laboratori LNL e a breve partirà anche a LNS. La messa in funzione di SPES a LNL inizierà sul finire del 2024 mentre ai LNS le ricerche post-upgrade (POTLNS) dovrebbero partire nel 2025. Numerosi sono gli esperimenti che la CSN3 sta supportando in questa fase: GAMMA/AGATA, ASFIN, CHIRONE, FORTE, NUMEN, NUCLEX, PRISMA. Per l'astrofisica nucleare, presso i laboratori LNGS entrerà nel vivo l'attività sperimentale con il nuovo acceleratore LUNA-MV, coadiuvata dalla nuova sperimentazione all'acceleratore CIRCE a Caserta. Presso i LNS sarà completata la costruzione di PANDORA per misure di decadimento all'interno di plasmi, mentre si svilupperanno possibili future sperimentazioni di fisica nucleare tramite l'uso di potenti laser. Inoltre, a LNF si completerà la presa dati di SIDDHARTA per la misura del sistema K-Deuterio presso l'acceleratore Daphne.

All'estero proseguiranno le collaborazioni con altri laboratori: GSI, GANIL, CERN-Isolde, RIKEN, TRIUMF, iThemba. In particolare, proseguirà l'attività di n\_TOF al CERN, che potrà sfruttare anche un nuovo fascio di neutroni ad alta intensità.

Alcuni esperimenti di fisica fondamentale sono in presa dati e proseguiranno nei prossimi anni: FAMU al RAL per la misura del raggio del protone, VIP a LNGS per la ricerca di violazioni del Principio di Esclusione di Pauli, JEDI a COSY per la misura del momento di dipolo elettrico del deuterio, LEA per studi sull'antimateria presso il deceleratore ELENA del CERN.

Sul piano più applicativo, al CNAO e in altri laboratori proseguiranno gli studi di FOOT sulle sezioni d'urto nucleari per adroterapia e per la radioprotezione nei viaggi spaziali. Si

dovrebbero anche concretizzare alcuni esperimenti per la misura di sezioni d'urto e produzione di isotopi teragnostici per applicazioni medicali.

#### 5.2.4 Fisica teorica

L'attività nei molteplici filoni di ricerca della CSN4 proseguirà sviluppando le tematiche attualmente oggetto di studio, tenendo conto delle nuove evidenze suggerite dai dati sperimentali, con l'obiettivo di contribuire alla formulazione di nuovi modelli che permettano una migliore comprensione delle interazioni fondamentali.

Grande attenzione sarà posta alle analisi globali dei dati sperimentali, includendo sia i dati raccolti agli acceleratori di particelle che i dati dagli esperimenti nello spazio, dagli interferometri per onde gravitazionali ed esperimenti di ricerca diretta di materia oscura e di studio delle proprietà dei neutrini.

Oggetto di indagine per i componenti della CSN4 saranno anche i grandi progetti futuri in cui l'INFN gioca un ruolo di primo piano, come, per esempio, i futuri collider (FCC, *muon collider, EIC*) e il progetto ET.

#### 5.2.5 Ricerche tecnologiche e interdisciplinari

Nel 2023 saranno finanziati diversi nuovi progetti basati sulle *quantum technologies*.

UNIDET realizzerà un dispositivo, integrato otticamente, per la rivelazione simultanea del numero e della fase dei fotoni, che include la produzione di un chip utilizzabile per applicazioni nel *quantum sensing* e nel *quantum computing*. Qub-IT è un progetto rivolto alla costruzione di un rivelatore del singolo fotone che sorpassa i precedenti dispositivi in termini di efficienza e basso rumore; tale dispositivo sarà fruibile anche per la rivelazione degli assioni della *dark matter* con l'esperimento INFN QUAX, in altri esperimenti per la ricerca di *dark matter* con bassa massa e negli esperimenti sulla ricerca della quinta forza.

QU-ISS è un progetto dedicato allo sviluppo di un sistema di rivelazione basato sulla correlazione quantistica, utile per ottenere risoluzioni eccellenti con bassissimo rumore nelle immagini mediche e per raggiungere elevatissime risoluzioni tramite *hyperspectral imaging* nelle ispezioni industriali, nelle immagini ambientali e nella realtà virtuale.

Dal punto di vista dei beni culturali, metodi analitici basati sui neutroni sono in via di sviluppo in progetti come CHNET-BRONZE.

Per quanto riguarda le opportunità rivolte ai giovani ricercatori, nel 2023 saranno finanziati sei nuovi *grants*, destinati ad attività riguardanti il *medical imaging*, il controllo della dose ricevuta nella terapia per la cura dei tumori con adroni, i rivelatori basati su tecnologie quantistiche, i rivelatori di neutroni organici flessibili e i microdosimetri.

Il numero di progetti supportati dalla commissione nel 2023 verrà ridotto a 73, per realizzare un migliore supporto alle attività più promettenti grazie a un metodo di selezione basato sul punteggio, usato per aumentare in modo oggettivo i metodi di selezione, confrontando temi di ricerca che includono un ampio ventaglio di argomenti.

Nel 2023, le attività sullo sviluppo e il miglioramento delle tecnologie di accelerazione saranno supportate attraverso nuove sperimentazioni e il bando HB2TF, il cui obiettivo è studiare nuovi fotocatodi e metodi di irradiazione laser per sorgenti di elettroni. Inoltre, la ricerca interdisciplinare su argomenti all'avanguardia come la *flash therapy* dei tumori, perseguita dal bando FRIDA, permetterà anche di approfondire lo sviluppo di nuove tecnologie di acceleratori per l'erogazione di alte dosi focalizzate su impulsi brevi.

Per quanto riguarda le prospettive del calcolo scientifico, l'INFN partecipa a diversi progetti legati alla iniziativa europea EOSC e in EuroHPC è partner principale, insieme a CINECA,

del consorzio che ha portato in Italia, al Tecnopolis di Bologna, il supercalcolatore *pre-exascale* (250 PFlop) "Leonardo", a cui nel 2023 si affiancherà nei *data hall* del Tecnopolis il *Tier-1 WLCG* del CNAF, costituendo in questo modo un *data center* unico nel panorama europeo per capacità di calcolo e di gestione ed analisi di dati sperimentali. Questo hub di calcolo è uno degli elementi chiave del modello *data lake* che l'INFN intende adottare per la gestione della grande quantità di dati prodotta a HL-LHC (*High Luminosity-LHC*). Un secondo *hub* del modello *data lake* è costituito dalla infrastruttura di calcolo realizzata dal progetto IBiSCo nell'ambito del programma PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 finanziato dal MUR e di cui l'INFN è stato coordinatore.

L'INFN partecipa alle attività di ICDI (Infrastruttura Calcolo e Dati Italiana). È però chiaro che nei prossimi anni l'impegno principale dell'INFN sarà nell'ambito dei progetti PNRR che sono partiti nel 2022. Il Centro Nazionale ICSC-XC rappresenta la realizzazione dei principi per cui era stata creata l'iniziativa ICDI, con però una capacità organizzativa e finanziaria che non erano immaginabili nel momento in cui ICDI era stato istituito. Si potenzieranno tutti i centri di calcolo che rappresentano l'infrastruttura distribuita Big Data dell'INFN e si opererà per la creazione di un Cloud nazionale insieme a CINECA, GARR e agli altri partner del progetto, sia pubblici sia privati, costruendo anche su quanto realizzato nel progetto POR-FESR dell'Emilia-Romagna SUPER. Nel contesto di ICSC-XC saranno creati due nuovi centri di calcolo tematici ai LNGS e ai LNF, dedicati rispettivamente allo studio sulla resilienza ai disastri naturali e antropici, in collaborazione col consorzio HPC4DR di cui INFN è socio, e alla Space Economy. Si potenzierà significativamente, grazie all'iniezione di nuovo personale prevista dai diversi progetti PNRR, la capacità dell'INFN di sviluppare algoritmi in grado di sfruttare le nuove tecnologie hardware e software nell'ambito della ricerca fondamentale, che continua a costituire la missione principale dell'ente.

Nel prossimo decennio, le risorse necessarie per il calcolo scientifico aumenteranno in maniera consistente. Oltre alla crescita prevista di circa un ordine di grandezza per gli esperimenti a HL-LHC, diventeranno più significative le necessità di altri esperimenti (es. CTA), raggiungendo la scala attuale di un esperimento a LHC. Per affrontare questa sfida, l'INFN ha partecipato e partecipa a varie attività di R&D, in particolar modo attraverso progetti europei.

**HPC:** nei prossimi anni i sistemi HPC alla scala dell'ExaFlops raggiungeranno la maturità tecnologica necessaria per entrare in produzione nei centri di calcolo. Il costo per l'impiego in campo scientifico è oggi stimato in diversi (3-5) miliardi di euro e dovrà quindi essere affrontato a livello continentale. La strategia della politica Europea per il supercalcolo viene attuata attraverso l'iniziativa EuroHPC JU (*Joint Undertaking*), che colleziona i finanziamenti a livello Europeo in ambito HPC e realizza un comitato multinazionale di indirizzo scientifico e finanziamento economico all'infrastruttura di supercalcolo Europeo. Nel 2019 EuroHPC JU ha concluso la procedura di selezione dei consorzi Europei per l'installazione e la gestione di 3 macchine *pre-Exascale* e 8 sistemi *Petascale* che ha portato alla realizzazione nel corso del 2022 del supercomputer "Leonardo" presso il Tecnopolis di Bologna. L'INFN continuerà ad operare attivamente in questo ambito, per garantire l'evoluzione del sistema realizzato. In parallelo l'INFN partecipa attivamente alle attività di ricerca finalizzate all'esplorazione tecnologica ed al progetto di sistema per piattaforme *ExaScale* europee come previste a partire dal 2024, dall'ulteriore *pillar* di EuroHPC JU. In questo quadro e con l'obiettivo di indirizzare le scelte future per l'HPC Europeo verso le necessità del calcolo scientifico dell'ente, diversi gruppi INFN sono attualmente coinvolti, con ruoli chiave di management e contribuzione scientifico/tecnologica, nella redazione di proposte per la partecipazione alle call EuroHPC, apportando contributi per la parte di disegno architettonicale e sistemistico e proponendo significativi *use case* applicativi per il *co-design* ed il *benchmark* dei nuovi sistemi. L'INFN ha dimostrato di poter integrare in modo trasparente risorse HPC

fornite da CINECA con la propria infrastruttura di calcolo distribuito. Queste tecniche sono essenziali per poter condividere in modo efficace le risorse presenti e future messe a disposizione dal Centro Nazionale, dalla EuroHPC JU e dagli altri canali di finanziamento.

Quantum computing: il meccanismo fisico che rende un computer quantistico potenzialmente più veloce di un sistema classico è il fatto che ogni *qubit* possa essere programmato in uno stato di *entanglement* rispetto agli altri, in modo che un computer quantistico "perfetto" con  $N$  *qubit* possa in linea di principio essere capace di descrivere  $2^N$  stati contemporaneamente. Con l'aumentare di  $N$ , la potenza di calcolo teorica aumenta esponenzialmente. Al giorno d'oggi il coinvolgimento di grandi aziende come Google, IBM, Intel e Microsoft sta guidando verso enormi progressi tecnologici, con sistemi dotati di decine di *qubit entangled*, accessibili via modalità *cloud*. L'Europa ha deciso di scommettere sulle *quantum technologies* (un *superset* del *quantum computing*) come motore per lo sviluppo europeo, attraverso un progetto multimilionario e pluriennale *flagship*: l'INFN può e vuole far parte del filone di ricerca e sviluppo sulle tecnologie quantistiche. Anche se non è realistico immaginare che l'INFN costruisca un computer quantistico nei suoi laboratori, le sue comunità intendono partecipare alla ricerca su come utilizzare al meglio l'hardware che sarà disponibile, sia tramite emulatori sia su sistemi reali. La comunità dei fisici è la più adatta per studiare e implementare algoritmi utilizzando questa nuova tecnologia; gli interessi vanno dalla fisica delle basse, medie e alte energie, agli algoritmi per la minimizzazione generica e ai simulatori quantistici (sistemi quantistici in grado di riprodurre il comportamento di altri sistemi quantistici). L'INFN è l'unico partner non statunitense del progetto SQMS (*Superconducting Quantum Materials and Systems Center*), con sede al *Fermilab*, finanziato dal DOE (*Department of Energy*) con 115 milioni di dollari. L'ente contribuirà al progetto grazie al suo *know-how* competitivo a livello mondiale in fisica teorica, nelle tecnologie superconduttrive e criogeniche e nello sviluppo di rivelatori. L'INFN è entrato inoltre nella rete europea QuantERA e sarà in grado di partecipare alle call in cui vengono svolti test per gli sviluppi delle tecnologie e degli algoritmi. L'obiettivo è di partire da semplici applicazioni, per lo più su emulatori quantistici e poi passare ad applicazioni più complesse, al fine di essere pronti a trarre profitto dalla "supremazia quantistica" in caso di scoperte tecnologiche nei prossimi anni. Tramite la partecipazione alle attività su quantum computing del Centro Nazionale ICSC, che fra l'altro acquisirà un acceleratore quantistico per "Leonardo" e al partenariato esteso QST, l'INFN consoliderà ulteriormente il proprio ruolo in quest'ambito

## 6. LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

Le infrastrutture di ricerca dell'INFN si articolano in quattro grandi laboratori e tre centri nazionali più altri centri di ricerca dedicati a programmi specifici. La linea seguita dall'INFN è sempre stata quella di evitare duplicazioni o frammentazioni nella realizzazione delle sue infrastrutture di ricerca, puntando alla valorizzazione delle peculiarità e specializzazioni di ciascuna di esse in un quadro di forte integrazione e collaborazione sinergica.

### 6.1 I Laboratori nazionali

I quattro laboratori nazionali dell'INFN sono laboratori di ricerca: vale a dire che, oltre a dare supporto alle attività sperimentali che i propri ricercatori svolgono in altri laboratori, ciascuno di loro porta avanti importanti progetti di ricerca in loco.

#### 6.1.1 Laboratori Nazionali di Frascati – LNF

La caratteristica principale di questo laboratorio consiste nella progettazione e realizzazione di acceleratori di particelle per elettroni/positroni. Sono in funzione a Frascati due macchine: DAFNE, un collisore elettroni-positroni, che detiene il record mondiale di luminosità a bassa energia, e l'acceleratore lineare SPARC usato per produrre luce LASER con elettroni oscillanti in campo magnetico, detto FEL (*Free Electron LASER*). Nel 2023 si prevede il completamento della sperimentazione a DAFNE dell'esperimento SIDDHARTA2 iniziata nella prima metà del 2022 con un primo *run* di prova. La collaborazione mira ad effettuare misure di precisione sulla formazione ed il decadimento di atomi esotici, in particolare del deuterio kaonico. All'interno del complesso di DAFNE è presente una linea di fascio denominata BTF (*Beam Test Facility*), che fornisce due fasci di positroni/elettroni sino ad un'energia massima di 500 MeV. Questi fasci sono impiegati per un'ampia gamma di usi di ricerca sia fondamentale che applicata. Nel corso del 2022, la facility è stata utilizzata prevalentemente come fornitore di fascio per l'esperimento PADME, che ricerca nuove particelle leggere di materia oscura. Nel 2023, al contrario, l'utilizzo di entrambe le linee BTF è previsto essere dedicato ad esperimenti più convenzionali di test su rivelatori. I programmi dell'acceleratore DAFNE a partire dal 2024 sono in via di definizione. Per le attività legate al progetto SPARC si sta procedendo con un'intensa attività di R&D volta alla realizzazione dei gradienti necessari per l'implementazione di nuove tecniche di accelerazione ultracompatte basate sull'interazione di fasci di elettroni con onde di plasma. Tra il 2021 ed il 2022 sono stati ottenuti risultati di grandissimo rilievo: per la prima volta al mondo, è stata osservata produzione di luce laser prodotta da un fascio accelerato al plasma. Il 2023 sarà principalmente dedicato alla installazione di nuovo hardware, finanziato dal progetto regionale SABINA. Gli esperimenti su menzionati sono da considerarsi prodromici alla realizzazione del progetto europeo EuPRAXIA (*European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications*). Il progetto, che prevede lo sviluppo di un nuovo acceleratore di particelle al plasma, consentirà di ridurre significativamente i costi e le dimensioni di un acceleratore di particelle ed è stato inserito ufficialmente nel 2021 nella *road map* delle infrastrutture europee ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*). Il *design study*, completato nel 2019, prevede che Frascati ospiti uno dei due pilastri dell'infrastruttura distribuita europea. Nel corso del 2022 è stata sottomessa la richiesta per l'indizione della conferenza dei servizi, necessaria per dar via agli importanti lavori edili per la realizzazione della struttura atta ad ospitare la facility. L'INFN ha ottenuto un finanziamento di 108 milioni di euro dal MUR, da utilizzare nel corso di un decennio, a valere sul "Fondo per il finanziamento degli investimenti e lo sviluppo infrastrutturale" (L. 145/2018 c.95), che è previsto coprire i costi di realizzazione ed installazione dell'edificio e

della strumentazione dell'acceleratore. Allo stesso tempo, per l'intero triennio, la sperimentazione a SPARC continuerà allo scopo di validare le principali scelte tecniche ed operative su cui si basa il funzionamento di EuPRAXIA.

Nel 2022 sono stati approvate importanti iniziative che coinvolgono il laboratorio nell'ambito dello sforzo connesso al PNRR, e che comporteranno grandi sforzi costruttivi nel corso del prossimo triennio. In particolare, sarà realizzata l'installazione di una nuova sorgente di radiazione di betatrone nel laboratorio SPARC, e la costruzione di un nuovo centro per il calcolo scientifico dedicato principalmente all'*High Performance Computing*. I LNF inoltre propongono numerose attività di diffusione della cultura scientifica volte a trasferire le conoscenze scientifiche e le metodologie della ricerca al vasto pubblico e a promuovere l'insegnamento e apprendimento della fisica in programmi dedicati a docenti e studenti. Queste attività coinvolgono ogni anno circa 10000 visitatori in presenza. Dopo la parentesi del 2020-21, in cui tutte le attività si sono svolte in forma di comunicazione digitale a causa della diffusione del COVID-19, nel 2022 i cancelli dei LNF si sono aperti nuovamente alle visite in presenza. In particolare, nella sola giornata del 28 maggio, in occasione dell'Open Day del laboratorio, si sono contati più di 2000 visitatori che hanno visitato tutte le principali facility scientifiche ed hanno partecipato a numerosi incontri e seminari tenuti da personale LNF. Queste attività, assieme alle numerose altre che coinvolgono in particolare docenti e studenti delle scuole di ogni ordine e grado, sono previste essere replicate anche nel corso del 2023.

#### 6.1.2 Laboratori Nazionali del Gran Sasso – LNGS

I LNGS costituiscono, ad oggi, la più importante infrastruttura di ricerca sotterranea al mondo. Le grandi dimensioni dell'area sperimentale sotterranea (oltre 180.000 m<sup>3</sup>), la facilità di accesso (tramite il traforo autostradale del Gran Sasso) e l'imponente schermatura di oltre 1400 m di roccia, oltre che la bassa radioattività intrinseca della roccia stessa, lo rendono un'infrastruttura di ricerca di riferimento a livello mondiale per la fisica *underground*. I LNGS attraggono ogni anno centinaia di ricercatori provenienti dalle più importanti università e istituzioni di ricerca europee e internazionali, nel 2019, periodo pre-pandemia, il numero di utenti registrati ha raggiunto la ragguardevole cifra di 1000 unità delle quali oltre il 60% proveniente dall'estero.

All'esterno del sito sotterraneo, in prossimità dell'ingresso del traforo autostradale della A24, sono ubicati il centro direzionale, gli uffici per il personale e per gli ospiti che partecipano alle attività di ricerca, le strutture di servizio che provvedono al funzionamento del laboratorio sotterraneo, tutte le officine ed i laboratori di supporto agli esperimenti. Queste strutture garantiscono il supporto tecnico e ingegneristico alla progettazione degli apparati, i servizi di sicurezza, il supporto chimico ed elettronico, i servizi di prototipazione e lavorazione meccanica, nonché le infrastrutture di rete e calcolo. In questo contesto si innestano poi attività ad altissima specializzazione tecnologica fondamentali per le ricerche che si effettuano nei LNGS. Tra questi si possono sicuramente indicare:

- NOA (Nuova Officina Assergi) si compone di una camera pulita di oltre 400 m<sup>2</sup> di superficie configurata per poter funzionare in assenza di radon nell'aria, attrezzata con strumentazione in grado di manipolare, testare e realizzare componenti ottici al silicio e i relativi circuiti elettronici. NOA è configurata per garantire il packaging e la realizzazione di fotorivelatori integrati basati su SiPM (*Silicon PhotoMultiplier*).
- l'officina 3D permette di realizzare componenti meccanici con tecniche additive utilizzando una grande varietà di materiali. In particolare, è in grado di sviluppare componenti in rame partendo da materiale accuratamente selezionato. Al fine di ottimizzare i processi si parte dal disegno meccanico avanzato, si selezionano i materiali

attraverso sistemi di “atomizzazione” e si arriva poi alla realizzazione dei componenti avanzati per la ricerca scientifica ma anche per applicazioni industriali che vengono richiesti da partner aziendali esterni al laboratorio.

- il centro di calcolo è configurato in modo da supportare l’acquisizione dati di tutti gli esperimenti in funzione all’interno della galleria, garantire un sistema di storage sicuro e affidabile, distribuire i dati raccolti in tutto il mondo dove hanno sede le collaborazioni scientifiche. Durante il 2022 il centro di calcolo si è arricchito con l’introduzione di un moderno sistema HPC, installazione che verrà completata durante il 2023. Tale centro di calcolo diverrà il nodo di riferimento per lo studio di eventi naturali in collaborazione con un gran numero di università e centri di ricerca verrà inoltre coinvolto in molte attività, scientifiche e non, che richiedono grandi potenze di calcolo.
- nel laboratorio di spettrometria di massa sono presenti diverse classi di spettrometri che vanno da un sistema quadrupolare per lo screening veloce, ad un apparato a settore magnetico ad alta sensibilità fino ad un multicollettore per analisi isotopiche. Nel corso del prossimo anno il laboratorio si arricchirà anche di un sistema con iniezione laser (*laser ablation*) finanziato dal ministero della ricerca tedesco.

Anche all’interno dell’area sotterranea sono stati sviluppati laboratori avanzati che godono della schermatura offerta dalla montagna del Gran Sasso per raggiungere prestazioni e sensibilità molto elevate. Il laboratorio STELLA è dedicato all’individuazione di tracce infinitesimali di contaminanti radioattivi nei materiali tramite spettroscopia gamma con rivelatori al germanio iperpuro (HPGe). Per massimizzare le prestazioni di misura i LNGS sono attivamente coinvolti nello sviluppo di nuovi HPGe con diversi gruppi di ricerca e aziende a livello internazionale: in questo ambito i LNGS sono considerati da tutti i laboratori del mondo come un punto di riferimento.

Nei prossimi anni verrà anche realizzata una nuova officina meccanica in sotterraneo per salvaguardare l’esposizione ai raggi cosmici di molti materiali al fine di ridurne la radioattività cosmogenica. Questa nuova infrastruttura garantirà un ulteriore incremento della sensibilità per gli esperimenti sotterranei alla ricerca di eventi rari.

Le tecnologie avanzate sviluppate presso i LNGS hanno inoltre prodotto nel tempo importanti ricadute anche al di fuori del contesto delle attività di ricerca specificatamente legata alla fisica astroparticellare. Collaborazione con aziende altamente tecnologiche sono attualmente in corso per l’utilizzo di tecnologie provenienti dagli studi di fisica fondamentale al di fuori dei laboratori di ricerca, attraverso un processo di innovazione e trasferimento tecnologico di importante impatto sul territorio e sulle aziende a livello nazionale.

Grazie a questa offerta estremamente varia e altamente specializzata di servizi integrati e spazi per la ricerca, i LNGS si sono caratterizzati fin dalla loro fondazione, nel 1987, come attrattore per progetti scientifici internazionali di primissimo piano nelle più importanti ricerche nel campo della fisica astro-particellare, dell’astrofisica nucleare nonché negli studi degli effetti biologici delle radiazioni e nel monitoraggio geofisico/geologico relativamente all’area del centro Italia. Su quest’ultimo punto una collaborazione con l’INGV ha portato alla realizzazione di un array sismico integrato all’interno dei LNGS sfruttando sia sismografi avanzati che una nuova tecnologia proveniente dalla fisica fondamentale che permette una precisa misurazione degli spostamenti angolari delle faglie nella regione del Gran Sasso.

A partire dagli anni ’80, i LNGS hanno ospitato esperimenti dedicati allo studio dei neutrini emessi dai nuclei stellari, gettando per la prima volta luce sulle proprietà e l’evoluzione delle stelle. Questi studi hanno anche consentito di approfondire la conoscenza del neutrino, la più elusiva tra le particelle a noi note. Esperimenti come GALLEX, GNO e infine Borexino hanno svolto un ruolo cruciale nella comprensione dei meccanismi di funzionamento della

nostra stella più vicina: il sole. In particolare, l'esperimento Borexino, che ha concluso la presa dati nell'ottobre 2021, è stato in grado di ricostruire il completo ciclo dei processi nucleari che avvengono all'interno del Sole e validare alcuni comportamenti specifici del neutrino che conducono alle oscillazioni di sapore. Borexino è stato l'unico esperimento mai realizzato in grado di analizzare completamente tutte le reazioni che mantengono acceso il nostro Sole determinandone anche la metallicità, indice cruciale per stabilire l'età della stella. Durante ul 2022 si sono svolte le operazioni di svuotamento dell'apparato Borexino con la completa rimozione dello scintillatore liquido e con il 2023 l'infrastruttura verrà completamente svuotata e resa disponibile per nuovi esperimenti in programma per il prossimo futuro.

Esperimenti di ultima generazione sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini, come CUORE e GERDA, e i loro successori nel prossimo futuro, CUPID e LEGEND, studiano ancora più approfonditamente le proprietà del neutrino per cercare di confermare, o smentire le ipotesi sulla sua natura formulate negli anni '30 dal fisico italiano Ettore Majorana. Queste ricerche potrebbero aprire la via alla comprensione di uno dei più grandi misteri dell'universo, ovvero la prevalenza quasi assoluta della materia sull'antimateria. Il processo di selezione sugli esperimenti che studiano questo decadimento raro ha permesso di identificare nei LNGS l'*hub* dove i più importanti esperimenti a livello europeo potrebbero essere realizzati nell'arco dei prossimi 5/7 anni. In particolare, a seguito di un incontro internazionale tenutosi presso i laboratori durante il 2021 è emerso che due dei tre esperimenti che nasceranno dalla collaborazione tra Europa e Nord America (Stati Uniti e Canada) verranno realizzati presso i LNGS e questo dimostra la grande reputazione internazionale che i nostri laboratori hanno raggiunto in questi 35 anni di attività di ricerca. Il laboratorio si sta predisponendo per affrontare al meglio questa sfida scientifica e grazie a finanziamenti provenienti dal programma PNRR si stanno predisponendo nuove infrastrutture e una revisione completa degli impianti e dei servizi presenti all'interno del laboratorio sotterraneo.

I LNGS si sono caratterizzati negli ultimi 35 anni come laboratorio leader a livello mondiale nello studio di un altro grande mistero dell'universo: la materia oscura. La natura della massa mancante, che sulla base delle attuali conoscenze ammonta ad oltre il 95% della massa totale dell'Universo, necessaria a spiegare i fenomeni gravitazionali che osserviamo è sicuramente uno dei quesiti più importanti delle attuali osservazioni astrofisiche dell'universo. Esperimenti come XENON1T/XENONnT, CRESST, DAMA e DarkSide sono all'avanguardia a livello internazionale nello studio e nella ricerca della materia oscura. Risolvere l'enigma della massa mancante dell'universo è una sfida che vede coinvolti moltissimi paesi in tutto il mondo e attualmente i LNGS concentrano all'interno delle sale sperimentali sotterranee gli esperimenti più sensibili che permettono di analizzare tutte le possibili particelle ad oggi immaginate per giustificare la materia oscura.

I LNGS persegono inoltre attività di ricerca nell'ambito dell'astrofisica nucleare. Durante il 2022 la nuova "Enrico Bellotti *Ion Beam Facility*" è stata completata attraverso il *commissioning* del nuovo acceleratore da 3.5 MV e con l'inizio del 2023 cominceranno gli esperimenti per studiare nel dettaglio le reazioni che avvengono all'interno dei nuclei delle stelle al fine di meglio comprendere l'origine degli elementi che hanno portato all'evoluzione dell'Universo. L'attività di studio procederà in parallelo anche sull'acceleratore di più bassa energia (400 kV) che durante il 2023 sarà oggetto di uno studio specifico per la realizzazione di una diversa infrastruttura e per l'ottimizzazione dell'acceleratore stesso.

Accanto a queste grandi linee di ricerca il laboratorio si caratterizza sempre più come incubatore di scienza e tecnologia avanzata sviluppando prototipi che potranno costituire la base per i progetti scientifici dei prossimi decenni. Progetti come FARO2030, finanziato dal

PON 2014-2020 con l'obiettivo principale di consolidare e rafforzare l'eccellenza dei LNGS, renderanno il laboratorio nel prossimo futuro un attrattore dei più rilevanti progetti scientifici nel campo della fisica delle astroparticelle e dell'astrofisica nucleare. Il primo esperimento a beneficiare di questo potenziamento sarà DarkSide-20k, progetto di punta ai LNGS per la ricerca di materia oscura, insieme ad altri progetti nel campo delle ricerche sulla natura del neutrino e dell'astrofisica nucleare.

I LNGS si stanno dotando inoltre, grazie ad un finanziamento del Ministero dell'educazione e della ricerca tedesco BMBF (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*), di nuove infrastrutture che andranno a supporto sia degli esperimenti che delle attività di R&D. In particolare, all'interno dell'accordo tra BMBF e LNGS, sono finanziati: una nuova infrastruttura di criogenia a bassissime temperature da installare nei laboratori sotterranei; il potenziamento dell'attuale laboratorio di spettrometria di massa ad alta sensibilità nei laboratori esterni; una nuova generazione di spettrometri HPGe sviluppata in collaborazione tra LNGS e laboratori di ricerca tedeschi; una nuova struttura per la manifattura additiva con un laboratorio sotterraneo al fine di non esporre i materiali all'attivazione dei raggi cosmici. Oltre a questi progetti specifici la collaborazione con il BMBF permetterà ai LNGS di dotarsi di attrezzature avanzate per misurare con precisione e ridurre il flusso di neutroni sugli esperimenti, per trattare i gas ultrapuri attraverso un sistema di compressori e di bombole da utilizzare in caverna; inoltre, il BMBF contribuirà alla riconfigurazione di una parte degli impianti elettrici per l'operatività del laboratorio sotterraneo.

Durante il 2023 verrà completata l'installazione del nuovo centro di calcolo basato su un nuovo sistema HPC. Questo consentirà il perseguitamento di due obiettivi primari: il primo legato al potenziamento delle risorse di calcolo a cui gli esperimenti internazionali potranno accedere, sia per puro calcolo che per immagazzinamento dati; il secondo obiettivo sarà quello di fornire supporto al consorzio HPC4DR (*HPC for Disaster Resilience*) che punta attraverso il nodo di calcolo ad alte prestazioni dei LNGS a condurre studi avanzati nell'ambito dei disastri naturali. Inoltre, all'interno della collaborazione dei LNGS con le università del territorio, si stanno definendo ulteriori progetti che introduciranno nel nuovo centro di calcolo macchine basate su GPU e nuovi elaboratori paralleli. La strategia intrapresa mira a realizzare un nuovo importante nodo di calcolo sul quale possano fare affidamento le strutture di ricerca delle regioni del centro Italia.

Il 2022 è risultato particolarmente importante per lo sviluppo delle future attività dei LNGS. Nell'ambito del PNRR il progetto presentato sulla linea delle infrastrutture di ricerca, "LNGS-Future", ha ottenuto una eccellente valutazione risultando al terzo posto tra i progetti proposti in ambito nazionale. È importante qui ricordare che LNGS risulta essere una delle poche infrastrutture di ricerca classificate di "Livello Globale" e di fatto l'unica operante in Italia. LNGS-Future consentirà, nell'arco dei prossimi tre anni, di ammodernare molte infrastrutture dei LNGS per renderle idonee ai futuri grandi progetti legati in particolare alla ricerca del doppio decadimento beta e della materia oscura. Un ulteriore finanziamento si è ottenuto sempre nell'ambito del PNRR sulla linea connessa al Centro nazionale sul calcolo avanzato. All'interno del progetto ICSC, i LNGS saranno chiamati a strutturare un nodo di calcolo avanzato per il centro Italia in connessione sia con il Centro di calcolo di Bologna che con le strutture del territorio, come nel caso del consorzio HPC4DR. In ambito locale/regionale sono stati invece finanziati due importanti progetti sulla linea della ricostruzione a seguito del terremoto del centro Italia: il progetto "*LEGEND-1000: i primi passi - Cryo4Legend*" permette il finanziamento dell'infrastruttura dove collocare l'esperimento LEGEND-1000 sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini; il progetto "*MISTER*" finanzierà invece la realizzazione della nuova infrastruttura per l'officina meccanica in sotterraneo oltre a permettere la realizzazione della nuova struttura per il potenziamento della "*Enrico Bellotti Ion Beam Facility*". Altri progetti di entità

minore sono stati inoltre finanziati e renderanno i prossimi anni particolarmente impegnativi per i LNGS, ma l'obiettivo è sicuramente quello di sfruttare queste opportunità, che sono state riconosciute ai LNGS grazie all'importante rilevanza che ricoprono a livello Internazionale, Nazionale e Locale, per ammodernare e potenziare le infrastrutture dei LNGS e prepararle alle future sfide che ci attendono.

Da alcuni anni, inoltre, i LNGS sono direttamente coinvolti nello sviluppo di sistemi e infrastrutture per il calcolo quantistico, che l'attuale partecipazione al Centro nazionale contribuirà a sostenere. Sfruttando le competenze in ambito criogenico dei laboratori, oltre alla possibilità di effettuare misure in sotterranea minimizzando l'effetto dei raggi cosmici, il progetto SQSM, nato da una collaborazione tra l'INFN e il FNAL (*Fermi National Laboratory*) e finanziato pressoché integralmente dal DoE (*Department of Energy*), studia gli aspetti connessi allo sviluppo dei computer quantistici. È importante qui rimarcare che questa tipologia di studi possono di fatto essere effettuati al momento solo all'interno delle sale sotterranee dei LNGS, rendendo questa attività di ricerca e sviluppo particolarmente peculiare nell'ambito dell'evoluzione dei computer quantistici.

In ambito geologico, l'accordo siglato tra INFN e INGV nel 2021 sta portando alla realizzazione del primo array sismico sotterraneo in Italia e uno dei più estesi al mondo, sfruttando le competenze dei due enti e le avanzate infrastrutture dei LNGS, che metterà a disposizione anche i suoi servizi e specifici strumenti ad alta sensibilità per lo studio della sismica. In questo ambito, LNGS sono entrati a far parte del "*Centro internazionale per la ricerca sulle scienze e tecniche dalla ricostruzione fisica, economica e sociale – STRIC*" finanziato attraverso il fondo post sisma 2016. Il centro avrà sede principale presso l'Università di Camerino" con una sede secondaria decentrata proprio presso i LNGS. La collaborazione dell'INFN nell'ambito del centro prevede il potenziamento delle infrastrutture di misura sismica all'interno del laboratorio sotterraneo oltre allo sviluppo di modelli sismici utilizzando il centro di calcolo dei LNGS. Oltre a questi già importanti aspetti, i LNGS contribuiranno allo sviluppo di nuovi strumenti per il monitoraggio basati su tecniche attualmente in uso per lo studio della fisica fondamentale: in particolare la tecnologia dei *Ring Laser*, utilizzata per studi di relatività generale, verrà adattata a studi rotazionali della crosta terrestre con sensibilità che sono attualmente non raggiungibili con gli strumenti esistenti. Questa fase di sviluppo porterà quindi LNGS a contribuire non solo agli aspetti del monitoraggio ambientale ma anche a gettare le basi per un nuovo approccio alle misure sismiche in ambito geofisico.

Nell'ambito del trasferimento tecnologico durante il 2022 ha preso avvio il progetto OPEN finanziato dall'Agenzia della coesione territoriale. L'obiettivo è quello di razionalizzare e valorizzare i risultati innovativi provenienti dalle attività di ricerca dell'INFN per renderli così fruibili alle aziende e, più in generale alla società. Il progetto ha base presso i LNGS ma coinvolgerà nella pratica tutte le strutture dell'INFN coinvolte in attività di trasferimento di conoscenza con l'obiettivo di migliorare e strutturare i meccanismi e le metodologie di trasferimento.

Diversi progetti di trasferimento tecnologico sono invece stati avviati con diverse aziende in ambiti di competenza dei LNGS quali la meccanica additiva, le tecnologie aerospaziali, la chimica analitica avanzata, ecc. Ci sono stati inoltre importanti sviluppi nell'ambito delle applicazioni connesse con il *cultural heritage* sia in ambito analitico che di salvaguardia delle opere d'arte con un coinvolgimento diretto in attività di respiro sia nazionale che internazionale.

### 6.1.3 Laboratori Nazionali di Legnaro – LNL

Il laboratorio è dedicato alla ricerca di base in fisica e astrofisica nucleare, assieme allo sviluppo di tecnologie avanzate per applicazioni in fisica nucleare e in altri campi. Punti di forza dei laboratori sono lo sviluppo e l'innovazione nel campo degli acceleratori di particelle, dei rivelatori di radiazioni e delle tecnologie associate. Ai LNL operano cinque macchine acceleratrici, tutte utilizzate con continuità dalla comunità scientifica nazionale e internazionale per studi in fisica nucleare e per applicazioni volte allo studio e alla caratterizzazione di materiali e campioni di varia natura, alla fisica dei neutroni e per ricerche interdisciplinari. La strategia per il futuro del laboratorio è centrata sul progetto SPES, un'infrastruttura di ricerca, attualmente in fase di completamento, che sarà dedicata a studi di fisica nucleare tramite fasci di ioni instabili (studio della struttura di nuclei esotici, come quelli che si formano nelle ultime fasi di evoluzione delle stelle, e dei meccanismi di reazione in collisioni tra ioni pesanti a basse energie), ad attività di ricerca e sviluppo nel campo dei radioisotopi di interesse medico e alla produzione di radiofarmaci innovativi per la medicina nucleare. Il progetto si basa sull'utilizzo di un ciclotrone B70 ad alta intensità che può fornire un fascio di protoni fino a 750  $\mu$ A. La possibilità di lavorare con due punti di estrazione del fascio in contemporanea permette di effettuare attività in due punti di misura separati, consentendo sia attività di fisica nucleare di base che attività applicate alla medicina nucleare. Il laboratorio ha un notevole impatto sul territorio per quanto riguarda le attività di formazione e divulgazione con circa 3300 visitatori italiani e stranieri e numerose iniziative quali corsi di alta formazione per l'orientamento agli studi universitari, corsi di aggiornamento di docenti delle scuole secondarie di secondo grado, master specialistici, cicli di conferenze per la cittadinanza, eventi scientifici, tra cui la “Notte europea dei ricercatori” e l'*International Cosmic Day*. Di particolare rilievo sono anche le attività di trasferimento tecnologico che sfruttano le eccellenze del laboratorio, quali le tecnologie di trattamento delle superfici e, per il futuro, la produzione di radioisotopi di interesse biomedicale.

I principali obiettivi per il prossimo triennio sono:

- la continuazione delle campagne di misura con fasci stabili con gli apparati sperimentali presenti ai LNL o itineranti, in particolare lo spettrometro a tracciamento per raggi gamma AGATA (accoppiato ad altri rivelatori complementari), PRISMA (sia come strumento standalone che accoppiato ad AGATA), i rivelatori GARFIELD e PISOLO, e la facility EXOTIC per la produzione *in-flight* di fasci esotici leggeri;
- il potenziamento degli apparati esistenti e il completamento delle nuove installazioni per la sperimentazione con SPES, in particolare l'installazione e la messa in operazione della *tape station* accoppiata all'apparato SLICES per studi di decadimento  $\beta\gamma$  e spettroscopia degli elettroni di conversione interna nell'area  $1^+$  del fabbricato SPES e del rivelatore ATS (*Active Target for SPES*) nella terza sala sperimentale del complesso di acceleratori Tandem-ALPI-PIAVE;
- il completamento delle installazioni del progetto SPES, e l'operazione del ciclotrone B70 nelle condizioni di targa;
- l'estrazione dal sistema target-sorgente di SPES di fasci radioattivi di bassa energia, la loro caratterizzazione e rilascio all'utenza per la prima sperimentazione;
- il completamento della linea di interfaccia fra SPES ed il post acceleratore ALPI, con la messa in operazione del sistema di *Charge Breeder*, l'installazione e la messa in funzione del pre-acceleratore RFQ normale conduttivo per l'iniezione in ALPI e il *commissioning* della fase di riaccelerazione;

- la riaccelerazione con ALPI dei primi fasci esotici prodotti da SPES con una elevata selettività dalla sorgente laser e inizio della sperimentazione con gli apparati di rivelazione presenti ai LNL (AGATA, NEDA, PRISMA, ATS, GARFIELD, PISOLO);
- l'installazione del separatore di massa ad alta risoluzione (HRMS);
- l'inizio della sperimentazione nel bunker dedicato alle misure di sezioni d'urto di produzione di radionuclidi di interesse medico e altre applicazioni.

Nell'ambito dello sviluppo di rivelatori a semiconduttore, in collaborazione con il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Padova, tecnologie già note in applicazioni con silici, sono state applicate in modo innovativo alla realizzazione di rivelatori al germanio iperpuro (HPGe) con contatti sottili e stabili rispetto ad ogni tipo di ciclo termico. L'alta stabilità dei contatti realizzati permette l'utilizzo dei rivelatori di HPGe in ambienti caratterizzati da un flusso di radiazioni medio/alto (spettroscopia nucleare in *facility* ad alta intensità, installazioni nucleari in presenza di flussi di neutroni, nello spazio in presenza di flussi di particelle leggere energetiche, ecc.) in grado di danneggiare irrimediabilmente rivelatori con contatti sottili realizzati con tecnologie commerciali convenzionali. Le tecnologie già sviluppate potrebbero inoltre aprire a proposte di ricerca e sviluppo di rivelatori di HPGe con geometrie innovative, che potrebbero essere utilizzate anche in applicazioni future di diagnostica medica. È continuato, grazie a questo sviluppo, il recupero di rivelatori HPGe dei LNL danneggiati per il loro utilizzo *in-beam*. Continuerà inoltre l'attività di *R&D* (finanziata tramite la Call N3G della CSN5) per dimostrare che con queste tecnologie si può realizzare un rivelatore AGATA di prossima generazione, che reggerà un più alto *counting-rate*, meno sensibile al danneggiamento da neutroni e con una migliore risposta ai successivi processi di *annealing*. Ottenuta la registrazione del brevetto in Italia, è in corso la registrazione internazionale dello stesso brevetto per questa applicazione innovativa tramite l'STT (Servizio Trasferimento Tecnologico) dell'INFN. Parte della collaborazione è inoltre impegnata nel montaggio e messa a punto dei nuovi *detector* a cluster tripli per AGATA (ATC), i cluster tripli per GALILEO (GTC) che verranno utilizzati sulla linea 1<sup>+</sup> di SPES, la preparazione dei rivelatori HPGe a cristallo singolo di GALILEO (ex GASP) che saranno installati su PANDORA ai LNS durante la campagna sperimentale di AGATA ai LNL.

Si continuerà a lavorare, inoltre, mediante specifici accordi con altri enti di ricerca (italiani e stranieri), l'Università di Padova, le aziende ospedaliere, alla costituzione di un centro per ricerche, produzione e distribuzione di radioisotopi di interesse medico, basato sulla seconda uscita del Ciclotrone da 70 MeV (progetti LARAMED ed ISOLPHARM).

Per quanto riguarda il progetto IFMIF (*International Fusion Material Irradiation Facility*), sono in corso a Rokkasho (Giappone) nell'ambito dell'accordo del *Broader Approach*, le attività di *commissioning* del Linac ad alta intensità. Le difficoltà legate alla limitazione degli spostamenti fra Europa e Giappone per l'emergenza Covid-19 sono state mitigate con la permanenza in Giappone di un piccolo gruppo di esperti europei e lo sviluppo di un sistema di supervisione da remoto che consente un'efficace partecipazione di altri collaboratori all'operazione dell'acceleratore a Rokkasho. Nell'ambito del progetto europeo DONES-PreP (EU Grant Agreement ID: 870186) continuerà la collaborazione per la costruzione in Spagna di una facility europea per i test dei materiali rilevanti per la fusione nucleare. L'INFN, tramite i LNL, partecipa come responsabile dell'RFQ e con un'importante attività di sviluppo del sistema RF tramite amplificatori allo stato solido. Per quanto riguarda il progetto ESS (*European Spallation Source*) l'INFN, tramite LNL e la sezione di Torino, ha in carico la realizzazione del DTL (*Drift Tube Linac*); nella galleria dell'RF di ESS, in un laboratorio gestito ed operato dell'INFN, si realizza il montaggio dei 5 tank (lunghi circa 8 m ciascuno) che costituiscono questo acceleratore. Nel mese di agosto 2021, il tank 1 è stato installato

nel tunnel dell'acceleratore, altri 3 tank sono stati installati nel corso del 2022, mentre l'ultimo è in fase di assemblaggio, *tuning* e test. Le lavorazioni delle varie componenti in Italia sono sostanzialmente terminate, le attività correnti concernono la preparazione di parti di ricambio e le attività di supporto e consolidamento per i montaggi a Lund (SE). Nel corso dei prossimi anni ai LNL sono inoltre previsti:

- il completamento dell'upgrade delle infrastrutture elettriche e idrauliche della seconda sala sperimentale del complesso di acceleratori Tandem-ALPI-PIAVE;
- l'accoppiamento del rivelatore per neutroni NEDA e altri rivelatori complementari ad AGATA per ulteriori campagne sperimentali;
- l'accoppiamento ad AGATA della *facility* EXOTIC che permetterà di utilizzare fasci di ioni leggeri radioattivi per studi di struttura nucleare;
- la costruzione e la messa in funzione di un DATA Center a supporto delle attività di presa e analisi dati dello spettrometro per raggi gamma AGATA, dei sistemi di acquisizione dati dei nuovi apparati previsti nella sperimentazione con SPES, e dei sistemi di controllo di SPES e, nell'ambito dei progetti di PNRR, l'upgrading del TIER-2;
- il completamento dei tre bunker e dei laboratori di radiochimica e bersagli del progetto LARAMED;
- il rinnovo del sistema di accesso dei laboratori, lavori di manutenzione e modernizzazione dei fabbricati esistenti, fra cui la risistemazione del fabbricato AURIGA per la costruzione di un laboratorio avanzato per i sistemi criogenici;
- la costruzione di una infrastruttura "Laboratorio Tecnologie Acceleratori" (LATA) per lo sviluppo dei progetti sugli acceleratori ed i test necessari.

Nell'ambito del PNRR i laboratori sono coinvolti in alcuni dei progetti INFN:

- all'interno del nuovo Centro nazionale di HPC, Big Data e Quantum Computing (ICSC) i LNL prevedono lo sviluppo ed il miglioramento del centro TIER2 per il calcolo scientifico ed altri servizi per quanto riguarda le reti INFN con un moderno DATA CENTER, nonché alcuni sviluppi nell'ambito del quantum computing.
- nell'ambito dei partenariati estesi LNL è coinvolto nella linea 4 "Scienza e Tecnologie Quantistiche" con il progetto NQSTI che si dedica alla ricerca e sviluppo a livello di "*proof of concept*" sperimentale in laboratorio, nel campo delle scienze, delle tecnologie quantistiche per applicazioni radicalmente innovative nel sensing, nella comunicazione sicura e nell'elaborazione della informazione quantistica e nella simulazione.
- nell'ambito del Piano di Investimenti Complementari del PNRR riguardante "*Research initiatives for technologies and innovative trajectories in the health and care sectors*", l'INFN è risultato vincitore, in qualità di affiliato, del progetto ANTHEM (*AdvaNced Technologies for Human-centrEd Medicine*), al quale LNL partecipa per la sua competenza nell'ambito dello sviluppo di acceleratori.

#### *6.1.4 Laboratori Nazionali del Sud – LNS*

I laboratori operano nei campi della fisica nucleare e dell'astrofisica nucleare e particellare contraddistinguendosi anche in differenti ambiti della ricerca applicata, con R&D nel campo delle nuove tecniche di accelerazione, della progettazione di iniettori di fasci ionici ad alta intensità, delle applicazioni in campo energetico e ambientale. Da novembre 2020 gli acceleratori sono stati spenti per dare avvio al progetto di potenziamento dell'intera infrastruttura, mirato principalmente alla produzione di fasci di ioni leggeri ad alta intensità accelerati con il Ciclotrone Superconduttore (CS) e finanziato dal PON Ricerca e Innovazione 2014-2020. Le attività maggiormente critiche sotto l'aspetto della

programmazione temporale sono in fase di completamento, nonostante i rallentamenti causati dall'emergenza sanitaria del COVID-19. Attualmente, la consegna presso i LNS del nuovo magnete superconduttore è prevista per il secondo trimestre del 2024. Da quella data inizieranno le attività di rimontaggio e *commissioning* del CS. Procedono inoltre tutte le attività inerenti alla realizzazione della linea di produzione di fasci radioattivi in volo, che vedrà l'installazione del nuovo *fragment separator* FRAISE. La conclusione del progetto di finanziamento è fissata a giugno del 2023. Seguirà un periodo di *commissioning* dell'infrastruttura in fase di definizione. L'obiettivo finale è quello di rendere possibili, presso l'infrastruttura, esperimenti di fisica nucleare e applicata che studiano processi rari e pertanto richiedono fasci intensi.

A tal fine è in corso l'upgrade dell'apparato sperimentale MAGNEX per la gestione dell'alta luminosità prevista dall'esperimento NUMEN, che studierà gli elementi di matrice nucleare del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini tramite misure di sezioni d'urto di processi di doppio scambio di carica. È un'attività che necessita di una diretta e attiva collaborazione con il gruppo teorico dei LNS che è parte della collaborazione NUMEN; il prossimo triennio in particolare vedrà il gruppo impegnato nello sviluppo di modelli realistici che permettano un'estrazione quantitativa degli elementi di matrice nucleare. Alla riaccensione del CS, si prevede inoltre il completamento dello studio di aspetti specifici di struttura nei nuclei e dei meccanismi di reazione con l'apparato MAGNEX nella configurazione finale. Inoltre, il multi-rivelatore CHIMERA continuerà la sua attività principalmente nell'ambito dell'esperimento CHIRONE che punta a studiare l'equazione di stato della materia nucleare ed il ruolo dell'energia di simmetria, i meccanismi di reazione, l'influenza ed il ruolo dell'*isospin* e del *clustering*, la spettroscopia dei nuclei leggeri attorno alla *dripline* per neutroni, con l'obiettivo di individuare fenomeni di clusterizzazione esotica. Anche questa attività di ricerca coinvolge il gruppo teorico dei LNS che negli anni ha sviluppato modelli di simulazione realistici che permettono un confronto diretto con le osservabili sperimentali.

Nel campo dell'Astrofisica Nucleare, alla riaccensione del TANDEM proseguirà l'intensa attività di studio del gruppo ASFIN con i metodi indiretti del *trojan horse* e del *asymptotic normalization coefficient*, utilizzando sia fasci stabili che radioattivi con lo scopo di migliorare le conoscenze in molti campi di indagine astrofisica tuttora aperti, come la struttura ed evoluzione di stelle in sequenza principale, pre-sequenza o AGB, e stadi avanzati o esplosivi, nucleosintesi ed energetica stellare e primordiale. Questi studi sono accompagnati dall'indagine della struttura dei nuclei leggeri, che gioca un ruolo fondamentale sia per l'applicazione dei metodi indiretti, sia per l'influenza che questa può avere in diversi contesti astrofisici. Di particolare beneficio sarà la disponibilità di fasci radioattivi a lunga vita media prodotti in modalità "batch" dall'acceleratore TANDEM.

Nell'ambito della ricerca applicata, l'attività del laboratorio per i beni culturali procede con lo sviluppo di tecniche analitiche avanzate basate sull'uso di raggi X (con sorgenti portatili) e di particelle cariche (con gli acceleratori dei LNS), per la caratterizzazione non invasiva di beni culturali e materiale archeologico. Relativamente al laboratorio di radioattività ambientale, è in atto uno studio per lo sviluppo di tecniche innovative per il monitoraggio ambientale mediante sistemi di rivelazione con controllo remoto. Procede inoltre l'attività all'interno del progetto europeo JOPRAD, per la definizione di un *JOint PRogramming on RADwaste* riguardo ai depositi interim e geologici per scorie radioattive. Di recente si è aggiunta un'attività che punta a studiare lo sbilanciamento chimico del radon e dei suoi figli dovuto al movimento del magma dell'Etna. Esistono inoltre laboratori per attività multidisciplinari (fotonica, radiobiologia in-vitro e in vivo, chimica, ecc.) ai quali i LNS forniscono sia gli strumenti tecnici (linee di fascio, sistemi di movimentazione, laboratorio di colture cellulari, stabulario per studi in-vivo su piccoli animali) che il supporto sperimentale.

per la dosimetria, la diagnostica e la formazione di fasci di ioni dedicati all'irraggiamento di campioni biologici.

Nel contesto delle attività di fisica astro-particellare e dell'astrofisica multi-messaggera, i LNS partecipano direttamente a quattro progetti: KM3NeT ed ET/Virgo, nella *roadmap* ESFRI 2021, Dark Side e DUNE. In particolare, i LNS sono in prima linea nella costruzione del telescopio KM3NeT/ARCA che ha come obiettivo principale la rivelazione dei neutrini cosmici di alta energia e lo studio dei loro flussi e delle loro sorgenti. La stazione di terra di KM3NeT è situata all'interno del porto di Portopalo di Capo Passero (SR) ed ospita: il centro di calcolo dedicato alla gestione dell'apparato e al trattamento dati (trigger, pre-analisi, storage, data transfer); i sistemi che forniscono la potenza elettrica per l'alimentazione; il sistema di connessioni ed amplificatori ottici che assicurano la connettività dalla stazione al telescopio sottomarino. Dalla stazione si diramano due cavi elettro-ottici sottomarini lunghi circa 100 km. Il primo cavo, deposto nel 2007 è terminato con un *cable termination frame* (CTF) che alloggia 5 connettori elettro-ottici con 20 fibre in totale e capace di fornire circa 50 kW in totale. Ai CTF01 sono oggi connesse 3 *junction box* (le JB sono le unità sottomarine di distribuzione della potenza e delle fibre ottiche) capaci di servire, ognuna, 12 unità di rivelazione, le DU (*Detection Unit*). Ad oggi sono state installate e sono in attività 21 DUs (per un totale di oltre 10 mila fotomoltiplicatori): ARCA ha così superato il volume fisico del predecessore ANTARES. Il secondo cavo, realizzato con il progetto IDMAR, finanziato dalla Regione Siciliana sul PO-Fesr 2014-2020 è capace di trasferire circa 80 kW di potenza e contiene 48 fibre ottiche. Nel 2022 è stato installato su questo cavo il CTF02 equipaggiato con 16 connettori elettrici ed ottici che permetteranno la connessione di ulteriori 6 JB e circa 80 DU. Le 6 JB e circa 50 DUs sono state finanziate nel 2022 con il progetto PNRR KM3NeT4RR. Ancora grazie a KM3NeT4RR, un terzo CTF, identico al CTF02, verrà connesso al cavo IDMAR per poter installare le ulteriori 115 DU che completeranno il primo dei due blocchi di ARCA.

Un ulteriore importante sviluppo dei LNS nel campo multidisciplinare della fisica dei plasmi e dell'astrofisica nucleare è stato avviato con l'esperimento PANDORA, che mira a realizzare per la prima volta un esperimento per la misura dei decadimenti  $\beta$  in plasmi, di rilevanza astrofisica, e la misura delle opacità di plasmi di interesse astrofisico (ejecta di kilonovae). Recentemente è proseguita la definizione del design complessivo del setup, riportato nell'apposito *Design Report* approvato dalla CSN3, nonché l'avvio della fase di *procurement* dei sottosistemi principali (sistemi RF e trappola magnetica, sensori e rivelatori per le diagnostiche di plasma, array di rivelatori HPGe per la spettroscopia gamma e la determinazione del decadimento). Nell'ottobre 2021, è stato firmato un accordo di collaborazione tra le sigle PANDORA e GAMMA che prevede il trasferimento di 16 rivelatori HPGe in dotazione a GALILEO dai LNL ai LNS nel corso del 2023, e nel frattempo il trasferimento di know-how ed expertise specifica sulla operatività, manutenzione e gestione dei rivelatori al germanio, ivi incluso l'allestimento di un apposito laboratorio presso i LNS, già in fase di progettazione. In attesa della realizzazione dell'apparato sono in corso sia attività di simulazione dei plasmi e dell'impatto astrofisico che delle misure, unite ad attività di sviluppo presso la FPT (*Flexible Plasma Trap*) disponibile presso i LNS.

Presso i LNS è inoltre presente un'intensa attività legata alla R&D e alle applicazioni della fisica in medicina. Tale attività comprende lo sviluppo e la caratterizzazione di nuovi rivelatori per la dosimetria assoluta e relativa di fasci clinici differenti (elettroni, gamma, adroni); lo sviluppo di codici e applicazioni Monte Carlo nell'ambito della collaborazione internazionale Geant4; lo studio e l'ottimizzazione dei sistemi di diagnostica on-line nonché degli elementi delle linee di trasporto di fasci di ioni convenzionali e prodotti in interazione laser-materia; lo studio di nuovi approcci di accelerazione di particelle e produzione di radiazione (neutra e carica) e delle tecniche di diagnostica ad essi associati, basati sulla

interazione laser-materia, sia per applicazioni medicali, che energetiche e, più in generale, multidisciplinari. Si prevede la continuazione dei programmi di adroterapia clinica, che vedono i LNS impegnati nel trattamento dei melanomi oculari con i fasci di protoni da 62 MeV accelerati dal ciclotrone superconduttore, con i quali più di 450 pazienti sono stati finora trattati. L'attività clinica si è provvisoriamente interrotta, per i lavori di upgrade del ciclotrone. Nel frattempo, si sta provvedendo all'aggiornamento completo della linea di *proton*-terapia clinica e dei sistemi di controllo ad essa associati.

Nell'ambito dell'accelerazione mediante laser, è stato recentemente finanziato su fondi della Regione Sicilia, il progetto BCT (*Breast Cancer Therapy*) che prevede la installazione e la messa in funzione di un laser di potenza ad impulso ultracorto (200 TW, 25 fs) per la generazione di fasci di ioni ed elettroni finalizzati a studi di irraggiamento radiobiologico e preclinico.

Presso LNS verrà inoltre realizzata una facility, denominata I\_LUCE (*INFN Laser IndUCEd particle acceleration*), che renderà disponibili alla comunità i nuovi fasci laser-driven di elettroni, gamma e ioni per applicazioni nucleari e multidisciplinari. Essa verrà complessivamente finanziata anche dai progetti EuAPS, SAMOTHRACE e ANTHEM nell'ambito del PNRR.

Saranno altresì possibili studi basati sulla interazione di plasmi altamente densi, generati nella interazione laser-materia, con i fasci di ioni già disponibili presso LNS, e ciò renderà possibile un ampio ventaglio di studi, sia nell'ambito della fisica Nucleare, che dell'Astrofisica e della fisica dei Materiali. Si prevede che la prima parte del sistema laser, a bassa potenza, possa essere installato entro i primi mesi del 2024. Esso consentirà di iniziare una serie di studi di interazione plasma-ioni principalmente finalizzati allo studio delle reazioni nucleari per scopi energetici e per la produzione di radioisotopi. Se ne prevede il completamento entro la fine del 2024. Agli sviluppi scientifici si affiancano vari contributi tecnologici, tra cui la realizzazione per MAGNEX di un nuovo rivelatore di piano focale (FPD) e di un calorimetro per la rivelazione di raggi gamma, la costruzione del correlatore FARCOS per il multi-rivelatore CHIMERA, lo sviluppo della sorgente ionica NESTOR, che permetterà di accelerare con il TANDEM fasci di elementi nobili, l'implementazione delle tecnologie necessarie alla realizzazione dei rivelatori di SiC (progetto SiCILIA), lo sviluppo di diagnostica innovativa per la fisica medica (PRAGUE), la realizzazione di un sistema di irraggiamento basato su un tubo a raggi X. Ulteriori contributi tecnologici, sono quelli indirizzati alla costruzione della ESS (*European Spallation Source*) e al potenziamento del Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica con la costruzione di una sorgente di tipo AISHa, attualmente in fase di *commissioning*.

Con la progressiva riduzione delle restrizioni per contenere la diffusione del COVID-19, le attività di *public engagement* e quelle del *Visitor Centre* sono riprese a pieno regime a partire dal mese di marzo 2022, portandosi rapidamente quasi a livelli pre-pandemici, registrando la presenza di oltre 1000 studenti provenienti dagli istituti secondari. Parallelamente si è innescato un forte interesse, in parte stimolato dal progetto INFN-KIDS, per le visite ai LNS di studenti provenienti dalle scuole primarie. Le attività di public engagement, oltre alla significativa collaborazione per le attività del *Visitor Centre*, hanno riguardato un impegno nell'organizzazione dell'evento celebrativo dei 70 anni dell'INFN, e di eventi quali EtnaComics. Il ritorno della Notte Europea dei Ricercatori in presenza è stato un forte segnale di ripresa.

## 6.2 Centri Nazionali

### 6.2.1 CNAF

Il CNAF è il centro nazionale dell'INFN dedicato alla ricerca e allo sviluppo nel campo delle discipline informatiche e telematiche e alla gestione dei relativi servizi per le attività di ricerca dell'istituto. Ospita il *Tier-1*, il centro nazionale di calcolo dell'INFN, che fornisce risorse e servizi di calcolo e *storage* a più di 40 collaborazioni scientifiche (il dato si riferisce al 2021) alle quali l'INFN partecipa (oltre al *Tier-1*, l'INFN dispone di 10 *Tier-2* sul territorio); attualmente il *Tier-1* mette a disposizione circa 60000 *core* di calcolo, una capacità di memorizzazione veloce (*online* su disco) di 50 PB (*PetaByte*) e un sistema di archiviazione a lungo termine (su nastro) di circa 130 PB. È uno dei 10 centri *Tier-1* a livello mondiale del WLCG (*Worldwide LHC Computing Grid*) per la gestione e l'analisi dei dati degli esperimenti a LHC e che assommano a circa il 70% del totale dei dati memorizzati al CNAF. Circa il 30% delle risorse di calcolo del centro sono invece dedicate ad esperimenti di astroparticelle tra cui VIRGO/Ligo, AMS, CTA, DARKSIDE, KM3NeT, JUNO, EUCLID e molti altri. Al CNAF è ospitato anche un *Tier-2* per l'esperimento LHCb. Il CNAF partecipa inoltre a vari progetti di ricerca e sviluppo nel campo del calcolo distribuito, sia a livello nazionale che internazionale, svolti in collaborazione anche con aziende ICT e pubbliche amministrazioni. Particolare rilevanza ha l'attività di innovazione nel campo delle tecnologie *cloud* che ha portato alla realizzazione di INFN CLOUD, il *cloud* del nostro ente. INFN CLOUD è complementare al *Tier-1* offrendo servizi *on demand* ai ricercatori INFN e coprendo così esigenze quali l'accesso interattivo e più in generale permettendo l'accesso a risorse di calcolo a collaborazioni che non ne abbiano di proprie. Tramite INFN CLOUD, l'INFN partecipa alle iniziative europee dell'EOSC (*European Open Science Cloud*), un'azione strategica europea a lungo termine per creare un ambiente virtuale e federato comune a tutte le discipline scientifiche. EOSC entrerà in produzione nel 2025, ma sono attivi, fin dal 2015, progetti di esplorazione e prototipazione, ai quali il CNAF partecipa, come EOSC-Hub, EOSC-Pillar e EOSC-Pilot.

Il know-how acquisito nel campo del data management nel corso degli ultimi venti anni (la nascita del *Tier-1* risale al 2003) e la leadership del centro nel fornire servizi innovativi di tipo *cloud*, hanno permesso al CNAF di stringere collaborazioni con istituzioni che operano nel settore biomedico, genomico e oncologico in particolare, come ACC (Alleanza Contro il Cancro) e il progetto EU *Harmony*, e di ospitare quindi nei propri sistemi di memorizzazione i loro *database*, garantendone la privacy e la protezione, essendo il CNAF un centro certificato ISO 27001, 27017 e 27018. Il CNAF gestisce inoltre tutti i servizi informatici di carattere amministrativo ed organizzativo dell'istituto.

Dal 2020 il CNAF, in collaborazione con il CINECA, è impegnato nella realizzazione di un nuovo *data center* al Tecnopolo di Bologna, che permetterà di ospitare una quantità di risorse di calcolo e *storage* almeno un ordine di grandezza superiore a quelli dell'attuale centro di calcolo. Il nuovo *data center* sarà suddiviso in due *hall* distinte, una per l'INFN e l'altra per il CINECA. Gli impianti tecnologici per l'alimentazione elettrica ed il *cooling* permetteranno di ospitare nella nostra *hall*, nella prima fase (fino al 2025), risorse fino a 3 MW di consumo per poi salire fino a 10 MW nella seconda fase (il *data center* attuale ha una potenza massima di 1.4 MW in continuità assoluta). I lavori di ristrutturazione dei locali del Tecnopolo e degli impianti di potenza e di raffreddamento, iniziati nel 2021, sono ora concentrati sugli impianti della sala INFN (la sala CINECA è già operativa). La migrazione inizierà a luglio 2023 per concludersi nei primi mesi del 2024, senza interruzione di servizio. Nel frattempo, è in corso anche una profonda revisione di tutti i servizi informatici forniti dal centro: dai sistemi di *batch*, al *data management*, al *cloud*, ecc., con l'obiettivo di rendere i servizi più omogenei e flessibili (ad esempio unificando il *pool* di risorse della *farm* di calcolo del *Tier-1* con quelle del *cloud*). Parallelamente il CNAF parteciperà alla costruzione,

nell'ambito dei progetti proposti su fondi PNRR, del *data lake* italiano della ricerca nell'ambito del Centro Nazionale ICSC. Questo processo permetterà non solo di rendere più efficiente il sistema complessivo da un punto di vista gestionale e di uso delle risorse, ma anche di rispondere meglio alle esigenze strategiche dell'INFN (il paradigma *cloud/data lake* si sta affermando come standard per *WLCG*). Queste includono in primis quelle degli esperimenti a HL-LHC (dal 2028-29 è previsto un forte incremento di risorse ben oltre la normale crescita che abbiamo avuto in questi anni attestata in media sul 20% all'anno) e di fisica delle astro-particelle di ultima generazione, ma anche il forte sviluppo previsto per la piattaforma per la gestione di dati sensibili certificata ISO 27001, 27017 e 27018. Il Tecnopolo, già principale centro di calcolo per ECMWF (*European Centre for Medium-range Weather Forecast*), INFN e CINECA, assumerà ulteriore importanza nel panorama nazionale come uno dei pilastri fondamentali di ICSC (*Italian Center for Super Computing*), il nuovo centro nazionale su *Big Data, HPC e Quantum Computing*. Il centro, a guida INFN e con la partecipazione di EPR ed Università oltre al CINECA ed al GARR, ha come obiettivo principale la creazione di una infrastruttura di calcolo, basata sui paradigmi di *cloud* e *data lake*, che possa coprire le esigenze della comunità scientifica italiana.

### 6.2.2 Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics – GGI

Il GGI nasce nel 2005 da un accordo tra INFN e Università degli Studi di Firenze come primo istituto europeo dedicato a programmi di ricerca (*workshop*) di lunga durata su argomenti di punta della fisica teorica. Oltre alla presenza di competenze ed alla sinergia tra le strutture di ricerca e formazione coinvolte, il successo del GGI, che si è manifestato fino dai primi *workshop*, si deve al particolare formato dei programmi di ricerca che lascia ampio spazio a discussioni e collaborazioni tra i partecipanti, ed al contesto stimolante ed informale in cui i ricercatori si trovano immersi. A testimonianza del suo valore, il GGI è risultato vincitore di un *grant* molto prestigioso della *SIMONS Foundation* per supportare la partecipazione ai programmi di eminenti scienziati.

Ad oggi al GGI si sono tenuti 49 *workshop* con un numero sempre crescente di partecipanti fino a superare i 500 negli ultimi anni (ad eccezione del periodo della pandemia da COVID-19). Le aree di ricerca su cui si concentra l'attività del GGI spaziano su tutta la fisica teorica di interesse INFN; dalla teoria di stringa alla fenomenologia delle interazioni fondamentali, dalle teorie cosmologiche alla meccanica statistica, favorendo le interconnessioni tra i vari temi e quindi l'interazione scientifica di ricercatori con competenze diverse. L'alto livello della ricerca è testimoniato dal grande numero di pubblicazioni scientifiche nate al GGI da idee e discussioni e dalla preziosa collaborazione tra comunità di fisici con *background* diversi.

Particolarmente incoraggiati sono i contatti con la ricerca sperimentale associata agli argomenti dei vari programmi. Molti di questi hanno infatti avuto teorici e sperimentali affiancati nella organizzazione. Il GGI è il luogo ideale per la contaminazione tra le varie aree di ricerca. Basta consultare [l'elenco dei programmi](#) per averne una prova. Un esempio è dato dal recente *workshop* “*Machine Learning at GGI*” (22 agosto - 30 settembre 2022). Il *machine learning* è un importante strumento per la fisica teorica e sperimentale che permette applicazioni ad una grande varietà di argomenti e viene utilizzato con successo in fisica delle alte energie, astrofisica, cosmologia, materia condensata e fisica statistica, come anche dai futuri *workshop* del 2023. Il primo di questi, [\*Axions across boundaries between Particle Physics, Astrophysics, Cosmology and forefront Detection Technologies\*](#) (26 aprile – 9 giugno 2023) propone 7 settimane di programma su un argomento, la fisica degli assioni, con note connessioni interdisciplinari. Il secondo: [\*Emergent Geometries from Strings and Quantum Fields\*](#) (12 giugno – 28 luglio 2023) si propone di investigare sulle profonde relazioni tra geometria e fisica e sulla struttura quantistica dello spazio-tempo che emerge dalle teorie di campo e di stringa. Infine, il terzo: [\*Theory Challenges in the Precision Era of\*](#)

[\*the LHC\*](#) (28 agosto – 13 ottobre, 2023) ospiterà i maggiori esperti nella fenomenologia di precisione del Modello Standard in vista dei futuri dati sperimentali dal *Run 3* di LHC.

A questa attività di ricerca è stata affiancata, a partire dal 2014, quella di alta formazione. Il GGI organizza infatti ogni anno 5 [scuole](#) di livello internazionale per studenti di dottorato. Queste comprendono lezioni avanzate di teoria dei campi e di stringa, teoria delle interazioni fondamentali, teoria statistica dei campi, fisica nucleare e adronica e fisica astro-particellare. Vengono selezionati circa 60 studenti per ogni scuola, considerando questo il numero ottimale che consente una partecipazione attiva alle lezioni e alle discussioni. Le scuole sono organizzate su 2-3 settimane di immersione totale. Oltre alle lezioni alla lavagna, vengono infatti stimolate discussioni, sia guidate che spontanee, grazie ai numerosi spazi di incontro disponibili al GGI. In media, circa il 40% degli studenti provengono da Università straniere e questo favorisce lo scambio culturale e scientifico tra studenti che provengono da paesi diversi, che spesso rappresenta una fonte di contatti per la loro futura carriera. Un aspetto di fondamentale importanza delle scuole al GGI è dato dalla video-registrazione delle lezioni. Il GGI ha un canale dedicato su YouTube dove sono raccolti i video di tutte le lezioni delle cinque scuole fino dalla loro nascita. Questo rappresenta un archivio di assoluto valore, non solo per i giovani ricercatori, ma per tutti coloro che vogliono avvicinarsi ad un nuovo argomento ed essere guidati da lezioni pedagogiche tenute dai massimi esperti del settore.

Il ruolo ed il successo del GGI come istituto di alta formazione e ricerca sono stati riconosciuti dall'INFN che lo ha promosso a Centro Nazionale di Studi Avanzati nel 2018. Contestualmente alla formazione del Centro, l'INFN ha istituito un premio, la [\*Galileo Galilei Medal\*](#), in onore del padre fondatore del metodo scientifico e della fisica moderna. Tale prestigioso premio viene consegnato ogni due anni a fisici che hanno dato, nei precedenti 25 anni, contributi rilevanti nel campo della fisica teorica. A causa della pandemia, la cerimonia di premiazione dei vincitori dell'edizioni 2021, Alessandra Buonanno, Thibault Damour e Frans Pretorius, ha avuto luogo nel 2022. Sono appena stati annunciati i vincitori dell'edizione 2023: Zvi Bern, Lance Dixon e David Kosower sono stati premiati per i loro studi su tecniche innovative per il calcolo di alti ordini in teoria delle perturbazioni, ingrediente teorico indispensabile per la comprensione dei fenomeni misurati a LHC con un impatto importante anche in altri settori teorici.

La pandemia da COVID-19 ha obbligato allo svolgimento di *workshop* e scuole on-line (il GGI non ha mai sospeso la propria attività). Dopo l'estate 2021, il GGI ha riaperto ai ricercatori che volevano partecipare in presenza e le attività si sono svolte in modo ibrido ovvero con anche partecipazione on-line. Questa modalità è tutt'ora possibile, anche se gli organizzatori invitano caldamente alla partecipazione in presenza, lasciando l'opzione on-line solo per casi eccezionali. Al momento, la partecipazione in presenza al GGI è tornata ai numeri pre-COVID-19 sia per le scuole che per i *workshop*.

Nel periodo di forzato isolamento abbiamo lanciato una nuova serie di seminari on-line, i *GGI Tea Breaks* che hanno coperto un ampio spettro di argomenti di punta della fisica delle interazioni fondamentali, trattati in modo pedagogico offrendo una introduzione non specialistica ai problemi caldi della fisica fondamentale. Sfruttando la sua fama internazionale, il GGI è riuscito ad attrarre relatori e relatrici di altissimo livello ed avere in media più di 200 partecipanti per ogni evento. Le video registrazioni dei [\*GGI Tea Breaks\*](#) hanno registrato e continuano a registrare migliaia di visualizzazioni e offrono un panorama ampio e approfondito degli argomenti attuali di fisica teorica.

Altra esperienza molto positiva nata nel 2021 è il programma di assegni di ricerca dedicati ai neodottori di ricerca in fisica teorica a cui viene data la possibilità di completare al GGI la loro formazione per affrontare con maggior maturità il percorso post dottorale (programma

[\*\*GGI BOOST\*\*](#)). I post-doc del GGI hanno creato un network di giovani ricercatori teorici che prendono parte alle *Theory Lectures by Young Researchers*. Il loro percorso di ricerca presso il centro è stato scientificamente stimolante, come risulta dalle loro pubblicazioni, dai seminari, e dai risultati presentati ai *GGI Post-Doc Days*. In aggiunta hanno offerto un importante contributo allo svolgimento delle attività del centro. Il programma *BOOST* è attivo anche per il 2023, con altri 3 giovani post-doc al GGI.

Il Comitato scientifico selezionerà i *workshop* che si svolgeranno al GGI nei prossimi anni e le 5 scuole di dottorato seguiranno la programmazione ordinaria. A questa attività istituzionale si aggiungono iniziative di minor durata temporale proposte dalla comunità scientifica internazionale ed ospitate dal GGI dietro approvazione del consiglio di centro. Ad esempio, nel 2022 si è svolta la seconda edizione della scuola [\*Quantum Computation and Sensing\*](#) organizzata in collaborazione con il DOE ed il centro SQMS statunitensi. Questa *summer school*, focalizzata principalmente su argomenti di simulazione quantistica di teorie di campo, costituisce una delle *milestones* della partecipazione INFN al progetto SQMS. Nel 2023 il GGI ospiterà il mini workshop “*New horizons for horizonless physics: from gauge to gravity and back II*”. Si tratta della seconda edizione, che segue quella dello scorso anno e che viene riproposta in seguito al successo di partecipazione e alla importanza dei temi trattati. Inoltre, si terrà al GGI la conferenza “*Summer Solstice*” su modelli discreti e sistemi complessi, ed il mini-workshop “*Precision Frontiers of the Low-Energy Particle Physics*”.

Come ulteriore sfida, il GGI lancerà a breve una *call* per l'organizzazione di una nuova scuola di dottorato (la cui prima edizione si terrà in autunno 2023) dedicata alla sinergia della ricerca in fisica teorica e sperimentale. Il successo della ricerca dell'INFN è da sempre dovuto alla stretta collaborazione tra teorici e sperimentali. L'idea è quindi di selezionare un argomento di punta e analizzarne sia lo stato attuale delle conoscenze che i futuri sviluppi teorici e sperimentali. La scuola sarà rivolta a studenti di PhD teorici e sperimentali ed avrà lo scopo di creare un terreno comune di conoscenza di base.

#### [\*\*6.2.3 Trento Institute for Fundamental Physics and Applications – TIFPA\*\*](#)

Il TIFPA ha come scopo quello di consolidare le attività di ricerca istituzionali nel settore delle interazioni fondamentali, che contribuiscono in modo importante alla rilevanza quantitativa e qualitativa della ricerca in fisica in area trentina, ma soprattutto quello di potenziare le ricerche in nuovi settori che risultano strategici dal punto di vista tecnico scientifico e presentino potenzialità di tipo applicativo/industriale. In questo suo compito il TIFPA coopera in modo organico con l'Università di Trento (UNITN), la Fondazione Bruno Kessler (FBK) e l'Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari (APSS). UNITN contribuisce all'attività di TIFPA non solo con il Dipartimento di Fisica, ma anche tramite i Dipartimenti di Ingegneria Industriale, Matematica, Ingegneria e Scienze dell'Informazione e Biologia. FBK ha un ruolo importante sia nella fabbricazione e fornitura di sensori, che per altre attività legate agli sviluppi nelle Scienze e Tecnologie Quantistiche. FBK inoltre gestisce ECT\*, centro di studi teorici di grande importanza nel panorama trentino. Infine, il rapporto con APSS è fondamentale nella gestione della ricerca in fisica biomedica legata alla presenza dell'acceleratore per *proton*-terapia. All'interno di TIFPA è presente una sostanziale componente di ricerca istituzionale, che può contare sull'apporto dato da poco più di un centinaio di associati di provenienza perlopiù universitaria, ma con alcune componenti anche all'interno di FBK e APSS. Ciò che caratterizza maggiormente TIFPA è la presenza dei laboratori virtuali (che presto diventeranno aree scientifico-tecniche), che hanno lo scopo di mettere in atto le sinergie fra le varie istituzioni e favorire gli sviluppi tecnologici e le potenziali applicazioni negli ambiti specifici di azione. Al momento sono presenti tre laboratori virtuali. Il primo riguarda l'area spazio, e copre le attività che al momento ricadono principalmente in quelle della CSN2 e riguardano le attività di rivelazione di onde

gravitazionali (LISA, VIRGO), la fisica astroparticellare (AMS) e i nuovi sviluppi ad essa connessi (in particolare il progetto LIMADOU). Nell'ambito della fisica della gravitazione si prevedono nel prossimo triennio diversi sviluppi. Possiamo qui citare il lavoro che porterà alla realizzazione di apparati, chiamati GRS (*Gravitational Reference Sensor*), che riescano a rilevare forze dell'ordine del femto-Newton che potenzialmente disturbano il moto di caduta libera delle masse di prova. Un altro settore importante è quello dello sviluppo di tecniche di analisi dati sia per VIRGO che per LISA. È inoltre in programma l'avviamento del nuovo laboratorio di ottica presso il Dipartimento di Fisica su attività di R&D sul controllo attivo della forma del fascio per sottosistemi di *Advanced Virgo* e *Einstein Telescope*. Per quanto riguarda LIMADOU, il lancio della missione inizialmente previsto per la fine del 2022, è stato rimandato al 2023, e copre ancora una parte consistente dell'attività del gruppo astroparticellare. Oltre che il coronamento dell'attività legata allo sviluppo della sensoristica a bordo, il lancio segnerà anche l'inizio dell'attività di analisi dati in cui TIFPA sarà fortemente coinvolto. Il secondo laboratorio virtuale riguarda la fisica medica, ed è in particolare legato all'utilizzo della facility di ricerca presso l'acceleratore per la *proton-terapia* di APSS. Il principale target rimane una migliore comprensione dell'interazione fra radiazione e tessuto biologico. Da alcuni anni è stata introdotta una nuova tecnica, denominata *FLASH therapy*, che consiste nell'irraggiare i tessuti con una dose alta ma concentrata nel tempo. Nell'anno passato è stata portato a compimento l'upgrade della facility sperimentale in modo che sia possibile procedere all'implementazione di questi sviluppi. Questo porta con sé la necessità di provvedere a un accurato studio sia degli apparati che dei modelli da utilizzare per pianificare l'irraggiamento. In questo senso si provvederà anche all'utilizzo di tecniche innovative basate sull'intelligenza artificiale. Verrà inoltre affrontato lo sviluppo di nuovi rivelatori per stimare la qualità della radiazione, che rappresenta un elemento fondamentale per calcolare l'efficacia biologica. Da segnalare in questo settore anche l'importante svolta in collaborazione con il Dipartimento di Biologia di UNITN per quanto riguarda l'irraggiamento di tessuti con fotoni X nel laboratorio presente presso TIFPA. Il terzo laboratorio virtuale esistente riguarda invece la sensoristica, e si basa sulla presenza di strumentazione specifica in FBK. In questo settore è prevista la progettazione e lo sviluppo di nuovi sensori a pixel 3D per l'esperimento ATLAS.

Oltre a questi tre laboratori virtuali esistenti, si sta pianificando l'apertura di un quarto, dedicato alle Scienze e Tecnologie Quantistiche. L'INFN ha di recente formalizzato la sua partecipazione al consorzio Q@Tn (*Quantum at Trento*). Il centro TIFPA porta già avanti una serie di progetti di ricerca sulla Quantum Science and Technology, che insieme costituiscono un nuovo asse fondamentale della propria attività, anche in vista degli sviluppi degli scenari futuri legati al PNRR. La partnership istituzionale con FBK e UNITN dà inoltre accesso a una serie di facilities e competenze sperimentalistiche e teoriche nell'ambito delle scienze e tecnologie quantistiche (fotonica, CQED, dispositivi basati su ioni intrappolati) a vantaggio delle attività sia locali sia nazionali dell'INFN nell'area e con potenziali ricadute della sensoristica nelle applicazioni industriali e nelle infrastrutture di comunicazione.

Un'altra tappa importante per lo sviluppo di TIFPA sarà la costituzione del Gruppo III, che si caratterizzerà principalmente su due filoni di attività. Il primo riguarda lo studio di antimateria portato avanti dall'esperimento LEA (nella sua componente ex AEGIS) presso il CERN che indaga la simmetria materia/antimateria nell'interazione gravitazionale con la realizzazione di fasci di antidrogeno. Il secondo riguarda le applicazioni, non necessariamente legate alla fisica medica (come ad esempio l'esperimento FOOT, ora chiuso), del fascio di protoni presente presso APSS: L'accresciuta consistenza numerica del gruppo di LEA a seguito dell'ultima tornata concorsuale ha reso possibile l'apertura formale del gruppo III presso TIFPA.

## 6.3 Altre infrastrutture

### 6.3.1 Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BEni Culturali – LABEC

Il LABEC è una struttura della Sezione INFN e dell'Università di Firenze, dotata di strumentazione fissa e mobile per applicazioni alla scienza dei materiali, allo studio del patrimonio culturale e dell'ambiente. In particolare, è dotato di un acceleratore di particelle elettrostatico di tipo Tandem da 3 MV utilizzato per effettuare molteplici tipi di misure tra cui:

- concentrazione, mediante spettrometria di massa con acceleratore (AMS), di isotopi rari, come il radiocarbonio, per datazioni in archeologia o storia dell'arte, o per la valutazione del rapporto tra la componente fossile e la componente organica del particolato carbonioso in atmosfera in campo ambientale;
- studi della composizione elementale di materiali di diversa natura e provenienza in maniera estremamente sensibile, totalmente non invasiva e non distruttiva, con tecniche di analisi con fasci ionici (IBA);
- progettazione di nuovi dispositivi tramite impiantazione ionica a bassa energia; test di funzionalità di rivelatori per la fisica nucleare e sub-nucleare.

È inoltre dotato di strumentazione mobile come, per esempio, scanner XRF (fluorescenza a raggi X), interamente sviluppati dal laboratorio, che permettono di effettuare analisi compostizionali per immagini, anche in situ. Oltre all'applicazione delle diverse tecniche di misura, l'ottimizzazione delle stesse e lo sviluppo di nuova strumentazione costituiscono la missione del laboratorio. In questo contesto, si inserisce per esempio il progetto FISR-MACHINA, in collaborazione con la divisione Trasferimento Tecnologico del CERN di Ginevra e l'Opificio delle Pietre Dure di Firenze, per la realizzazione di un acceleratore compatto trasportabile per applicazioni ai beni culturali. Il LABEC è inoltre la sede centrale della rete di trasferimento tecnologico per i beni culturali CHNet, creata nel 2017. La rete è composta da laboratori e sezioni INFN e da centri di ricerca nazionali e internazionali impegnati nello sviluppo e nell'applicazione di tecniche analitiche per lo studio dei beni culturali. Inoltre, le attività sono portate avanti nell'ambito di collaborazioni regionali, nazionali ed internazionali. Sempre nel campo delle applicazioni ai beni culturali, a livello regionale il LABEC collabora attivamente con la Regione Toscana per progetti di ricerca e di alta formazione del personale quali per esempio AFFTER (2018-2020) ed ORMA (2020-2022). A livello internazionale il laboratorio è partner di infrastrutture e progetti europei quali per esempio: IPERION\_HS, ARIADNE plus, EOSC-PILLAR. Tra i progetti sui beni culturali svolti nell'ambito della rete CHNet è da menzionare 4CH dedicato al disegno di un centro di competenza europeo per la preservazione e conservazione di siti e monumenti in cui l'INFN, col LABEC, coordina un partenariato di 13 paesi europei.

Per quanto riguarda invece lo studio del particolato atmosferico, il laboratorio è coinvolto nei progetti:

- ACTRIS (*European Research Infrastructure for the observation of Aerosol, Clouds and Trace Gases*): un ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*) nel quale il LABEC è coinvolto come sede dell'EMC2 (*Elemental Mass Calibration Centre*), unità dell'ECAC (*European Center for Aerosol Calibration*); PON PER-ACTRIS-IT: il PON italiano per l'implementazione di ACTRIS; ACTRIS-IMP (*Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure Implementation Project* – progetto H2020): il progetto europeo che copre le attività di ACTRIS fino alla costituzione dell'ERIC ACTRIS.
- SIDDARTA (Progetto PNRA, Piano Nazionale di Ricerche in Antartide, con INFN capofila) che ha lo scopo di identificare le principali aree sorgenti delle polveri minerali che raggiungono *Dome C, East-Antarctica* e che studia i processi di origine e trasporto

atmosferico di particelle crostali dalle regioni continentali e dalle aree costiere deglaciata dell'Antartide.

Il LABEC partecipa a molti progetti all'interno di collaborazioni nazionali e internazionali su tematiche ambientali riguardanti: l'inquinamento in aree urbane nei vari continenti, i cambiamenti climatici, gli effetti sulla salute del particolato e la situazione in specifici ambienti di lavoro. A livello regionale collabora da molti anni con la Regione Toscana e con ARPAT in progetti di ricerca per l'identificazione delle sorgenti del particolato per permettere alle autorità locali di effettuare interventi mirati per la mitigazione del problema.

Il LABEC collabora da oltre 15 anni con IAEA, l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica, sia mediante partecipazione a progetti di ricerca, sia fornendo formazione e trasferimento di conoscenze a ricercatori di paesi in via di sviluppo sull'impiego di acceleratori per scopi analitici.

Infine, il LABEC è coinvolto nei progetti H2020:

- RADIATE (*Research And Development with Ion Beams – Advancing Technology in Europe*);
- AHEAD2020 (*Integrated Activities for the High Energy Astrophysics*);
- ReMade-at-ARI (*Recyclable Materials Development at Analytical Research Infrastructures*).

È in studio un upgrade della strumentazione fissa sia per risolvere problemi di obsolescenza del Tandem che per massimizzare il potenziale di misure fatte all'acceleratore, ad esempio dedicando una seconda macchina di piccole dimensioni alle misure AMS.

Le attività e gli sviluppi tecnologici del LABEC sono monitorati da un Comitato Scientifico internazionale.

### *6.3.2 Laboratorio Acceleratori e Supercondutività Applicata – LASA*

Il LASA di Milano è un laboratorio che vede la presenza di attività e competenze significative nello studio e sviluppo di acceleratori di particelle, sia per quanto concerne la parte più propriamente di sviluppo scientifico che quella legata a particolari tecnologie avanzate nel settore.

Accanto ai due filoni storicamente presenti e originati dalla applicazione della superconduttività alla guida dei fasci (magneti superconduttori) per le future macchine acceleratrici del CERN (FCC, *Muon Collider*) ed alla accelerazione (cavità RF) di macchine a elettroni/protoni, quali ESS e PIP-II, si è rafforzato negli ultimi anni un nuovo filone connesso allo sviluppo di iniettori per elettroni ad alta brillanza e studio di schemi di accelerazione con una particolare attenzione alle problematiche di sostenibilità energetica degli acceleratori (*Energy Recovery Linacs*). Queste ultime competenze, ora disponibili congiuntamente alla teoria e calcolo sulle sorgenti di radiazione avanzate (FEL e ICS), nonché alla fisica e tecnologia delle cavità ottiche *Fabry-Perot*, sono la base per la partecipazione alla realizzazione di macchine analitiche interdisciplinari in ambiente internazionale. La fase di *R&D* sulla sostenibilità dei fasci di elettroni di alta potenza media è l'obiettivo principale del dimostratore BriXSino, il cui TDR (*Technical Design Report*) è stato terminato nel corso del 2022 e sottoposto al management INFN. Un primo stadio di questo progetto, relativo appunto alla costruzione di un iniettore ad alta corrente e alta brillanza, è stato finanziato su un programma nel triennio 2023-2025.

Le attività su cavità RF a temperatura ambiente e magneti superconduttori hanno portato negli anni allo sviluppo di applicazioni multidisciplinari, nel campo medicale con acceleratori, nella dosimetria e nella produzione di radionuclidi presso il laboratorio di radiochimica.

Attualmente queste attività costituiscono il contributo del laboratorio al programma *Muon Collider*.

Lo sviluppo e la realizzazione di nuovi e più potenti magneti superconduttori per i futuri collisori di particelle fanno parte integrante del programma IRIS (*Innovative Research Infrastructure on applied Superconductivity*), approvato nell'ambito dell'Investimento 3.1 del PNRR e avente come polo di gestione il LASA. Tale programma ha come fine la creazione di una nuova infrastruttura di ricerca per l'individuazione di soluzioni innovative per la scienza fondamentale e le applicazioni per la società, mirando alla “transizione verde”. Lo scopo è di assicurare la sostenibilità di grandi infrastrutture scientifiche, quali acceleratori per la fisica delle particelle costruiti con magneti a basso consumo e linee di trasmissione di potenza a dissipazione zero basate sull'utilizzo di materiali superconduttori ad alte temperature, chiamati HTS (*High Temperature Superconductor*).

### 6.3.3 European Gravitational Observatory – EGO

EGO è un consorzio internazionale (INFN, CNRS/ Francia e NWO-I/Olanda) costituito nel 2000 per terminare la costruzione, operare, mantenere e sviluppare l'interferometro Virgo (collaborazione internazionale di 660 membri provenienti da 13 paesi), volto allo studio delle onde gravitazionali. L'estesa infrastruttura è collocata a una decina di chilometri da Pisa. Virgo è uno dei tre maggiori interferometri nel mondo, insieme ai due americani LIGO. Nella versione Advanced, che ha iniziato la presa dati nel 2017, ha contribuito in modo cruciale alla scienza degli ultimi anni, consentendo tra l'altro di rivelare la prima coalescenza di un sistema binario di stelle di neutroni e aprendo così le porte all'astronomia multi-messaggera. Per questo risultato Virgo è stata nominato nel 2021 *Milestone IEEE* per la scienza e la tecnologia. L'attività di EGO si inserisce in un programma di sviluppo a livello internazionale, mirato al potenziamento degli interferometri attuali (Advanced Virgo Plus, upgrade di VIRGO) e allo sviluppo dei futuri osservatori, quali ET (*Einstein Telescope*), il progetto europeo per un osservatorio sotterraneo e criogenico di terza generazione che è stato sottomesso nel 2020 alla *roadmap* delle infrastrutture europee ESFRI ed è parte anche del programma presentato dall'INFN per il PNRR (progetto ETIC). EGO collabora inoltre con istituzioni italiane ed europee (INGV, IPGP/Francia, *European JRC*) su tematiche interdisciplinari di scienze geologiche e cambiamenti climatici, e ha in essere numerosi programmi finanziati dall'Unione Europea.

### 6.3.4 European Plasma Research Accelerator with Excellence in Applications – EuPRAXIA

EuPRAXIA è un progetto europeo che intende costruire un nuovo acceleratore al plasma che produca radiazione laser da elettroni liberi (FEL), utilizzabile per esperimenti multidisciplinari. Ha sede presso i LNF che ospiteranno anche il quartiere generale dell'intera collaborazione che attualmente annovera circa 40 università ed istituti di ricerca europei. Di notevole importanza in questo contesto sono stati gli esperimenti effettuati nel corso del 2021-22 a SPARC\_LAB che hanno osservato per la prima volta al mondo radiazione laser prodotta da un fascio di elettroni accelerato al plasma. Nel 2023 sono previsti importanti lavori di installazione di nuovo hardware e un allargamento delle linee di fascio finanziati dal progetto regionale SABINA. Nell'ambito della sperimentazione preparatoria alla costruzione di EuPRAXIA@SPARC\_LAB va segnalata la messa in funzione nel corso del 2022 della facility TEX per testare cavità a radiofrequenza in banda X, che rappresenta lo stato dell'arte nel campo dell'accelerazione tramite RF ed è capace di raggiungere gradienti acceleranti fino a 100 MeV/m. Le attività previste ad EuPRAXIA permetteranno il coinvolgimento dell'industria italiana nell'ambito della tecnologia degli acceleratori, dei laser di potenza e della strumentazione diagnostica ed elettronica. Offriranno, inoltre, ad una vasta comunità scientifica nazionale ed internazionale un ampio

spettro di ricerche interdisciplinari di punta: dalla formazione d'immagini in funzione del tempo nella scienza dei materiali, in biologia, medicina, chimica per l'ambiente, alla conservazione dei beni culturali e sicurezza nazionale, all'estensione di molteplici applicazioni di ottica non lineare a nuove regioni spettrali.



## 7. I PROGETTI CON ALTRI ENTI E UNIVERSITÀ, PROGETTI EUROPEI, ERIC E FONDI ESTERNI

### 7.1 Università ed altri enti

L’istituto, grazie alla sua struttura geograficamente distribuita sul territorio nazionale, alla natura pervasiva della sua esistenza nei Dipartimenti di Fisica delle Università e alle eccellenze presenti nei laboratori e nelle sezioni, si configura in modo naturale come attore in molte iniziative di collaborazione scientifica a livello nazionale e internazionale con i principali enti pubblici di ricerca italiani e i principali laboratori internazionali.

L’INFN mantiene in maniera stabile l’integrazione con il sistema universitario nazionale fonte di ricchezza e vivacità culturale e di un continuo apporto di giovani, nell’ambito di un rapporto fortemente sinergico che prevede la messa in comune di risorse umane e strumentali, con notevole risparmio di sistema. Ciò si realizza tramite la presenza diretta nei Dipartimenti di Fisica in ventisei Università (20 sezioni, 6 gruppi collegati) e forme di collaborazione quadro stabili con altre dieci università. La disciplina dei rapporti con le università è regolata, come da Statuto, con apposite convenzioni quadro che regolano l’utilizzo di spazi, personale e attrezzature per le attività di comune interesse; alle convenzioni quadro suddette si aggiungono diversi accordi specifici che disciplinano singole iniziative e che possono riguardare laboratori o strutture di ricerca congiunti, l’assunzione di ricercatori a tempo determinato, l’attivazione di corsi di dottorato o master congiunti, forme di mobilità del rispettivo personale e altre specifiche iniziative.

L’INFN promuove e favorisce ogni iniziativa intesa a intensificare i rapporti scientifici con le istituzioni e i ricercatori stranieri, sia attraverso appositi programmi di ospitalità di studiosi in Italia, sia attraverso lo scambio di ricercatori sulla base di convenzioni e accordi specifici, con in media circa 500 ricercatori stranieri che visitano le nostre strutture ogni anno. La risorsa maggiore che si ricava da queste collaborazioni rimane quella del capitale umano, che attraverso lo scambio culturale e intellettuale tra i diversi soggetti è uno dei motori principali dell’innovazione e del cambiamento. L’istituto da tempo collabora con i principali Enti pubblici nazionali di ricerca (CNR, ENEA, ASI, INGV, Sincrotrone Trieste, INAF, Centro Fermi e INRIM) e sono inoltre attive altre collaborazioni con il CNISM, con il CINECA, con lo IOV, il CNAO e diverse IRCCS quali, a titolo di esempio, il Policlinico S. Martino di Genova e l’Istituto Tumori Giovanni Paolo II di Bari.

L’INFN opera in un vasto contesto di collaborazioni internazionali: al CERN di Ginevra mantiene un ruolo di primo piano in tutti gli esperimenti LHC; è presente anche negli altri grandi laboratori internazionali, quali, per citarne alcuni: FERMILAB, SLAC, BNL, e JLAB (Stati Uniti); PNPI, BINP e JINR (Federazione Russa); IHEP (Cina); RIKEN e KEK (Giappone); BARC (India), DESY e GSI (Germania); ESRF (Francia), e altri. L’INFN ha sottoscritto più di 100 accordi di cooperazione scientifica con istituti di ricerca situati in 30 Paesi. Al fine di un sempre maggiore coordinamento delle attività di ricerca scientifica, la Giunta Esecutiva dell’istituto partecipa annualmente a incontri bilaterali con i rappresentanti delle principali istituzioni di ricerca nei seguenti paesi: Cina (IHEP), Francia (CNRS/IN2P3, CEA), Regno Unito (STFC), Russia (JINR, *Kurchatov Institute*), Stati Uniti (DOE, NSF). Viste le attuali condizioni internazionali, i rapporti di cooperazione e gli scambi scientifici con la Russia sono interrotti.

### 7.2 Progetti europei ed ERIC

L’istituto è impegnato nella realizzazione di IR (Infrastrutture di Ricerca) localizzate in Italia e più generalmente in Europa nell’ambito del programma ESFRI. Nel 2022 la Roadmap di

ESFRI ha visto l'approvazione, con l'inizio della *preparatory phase*, dei progetti ET (un osservatorio per onde gravitazionali, con la candidatura della Sardegna per ospitarlo) ed EuPRAXIA (un centro di eccellenza europeo nell'ambito delle tecniche di accelerazione delle particelle, che vedono i laboratori di Frascati dell'INFN come Hub dell'infrastruttura).

La partecipazione italiana a tali IR ha una grande rilevanza sia per la vasta comunità di utenti, ampiamente distribuita nelle università e nei consorzi interuniversitari, che copre un ampio spettro di aree scientifiche, sia per l'industria italiana. Sono infatti numerose le aziende italiane che posseggono requisiti per partecipare con successo alle gare per la costruzione delle IR, attraverso la fornitura di componentistica e strumentazione ad alta tecnologia.

L'INFN prosegue la collaborazione con CNR ed ELETTRA allo sviluppo delle IR (Infrastrutture di Ricerca) europee basate su acceleratori di elettroni che alimentano sorgenti di raggi X da sincrotrone o da *Free Electron Laser* (facility ESRF, EuroFEL e XFEL) su sorgenti di impulsi ultra-brevi e ultra-intensi (*facility* ELI) e su acceleratori di ioni (protoni) che alimentano sorgenti di spallazione di neutroni (ESS).

Nell'ambito del progetto ELI, fermo dal 2016 a causa di un contenzioso tra il consorzio Eurogammas (al quale partecipa l'INFN) e il committente rumeno (IFIN-HH), il 2022 ha visto aprirsi la concreta possibilità di chiudere la vertenza e di completare il progetto, in una versione ridotta, entro il 2025. Infatti, il Governo Rumeno ha dato mandato a IFIN-HH di trovare una composizione amichevole della problematica con il consorzio Eurogammas.

Per quanto riguarda ESS, il progetto ha un forte ritardo, dovuto sia al rallentamento delle operazioni di costruzione dovute al COVID-19, sia all'aumento notevole dei costi per l'infrastruttura. Un nuovo management ha in corso un profondo processo di revisione della schedula che dovrebbe consentire di avere i primi fasci sulla targhetta per il 2026. Comunque, le attività di macchina in carico all'INFN sono quasi completamente concluse, senza sforamento di budget o di tempistica. I primi fasci sono stati immessi nella parte iniziale del linac, di responsabilità INFN.

L'INFN ha partecipato alla realizzazione di SESAME (*Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East*), che costituisce il più importante centro di ricerca internazionale del Medio Oriente, nel quale sono coinvolti Israele, Giordania, Iran, Cipro, Pakistan, Egitto, Palestina e Turchia e recentemente, grazie ad un accordo trilaterale con SESAME e PSI, è stato fatto un upgrade del LINAC per migliorare le prestazioni di macchina.

La trasformazione di significative grandi infrastrutture di ricerca nazionali in ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*) è vista con grande interesse sia dai nostri Ministeri (MUR e MAECI) che dall'INFN. In particolare, l'ente, con il forte supporto del MUR, sta perseguiendo questa finalità per due IR, LNGS ed EGO-VIRGO, mentre nel caso di KM3NeT, inizialmente pensato come ERIC, si stanno finalizzando tutti i documenti previsti per la costituzione di una associazione internazionale no-profit (AISBL) basato sulla legislazione belga con sede di rappresentanza in Sicilia.

L'Italia, con INAF ed INFN, partecipa altresì al progetto CTA (*Cherenkov Telescope Array*), grande collaborazione internazionale che beneficia del contributo di oltre 1400 scienziati e ingegneri di tutti e cinque i continenti. Si tratta dell'osservatorio per raggi gamma di alta energia più grande del mondo che, con la sua sensibilità unica a queste lunghezze d'onda, si prefigge di sondare gli ambienti estremi rappresentati dalle sorgenti di raggi gamma, che comprendono le pulsar e i resti di supernova. Dal punto di vista giuridico CTA, attualmente una società di diritto privato tedesco, è in fase di transizione verso la costituzione di un ERIC (2022) la cui sede legale sarà fissata in Italia presso la sede dell'INAF di Bologna.

### **7.3 Fondi esterni**

L'istituto ha costruito nel corso delle programmazioni dei finanziamenti per la Ricerca e l'Innovazione la propria partecipazione attiva alla elaborazione delle politiche, partecipando alle discussioni, consultazioni e tavoli tematici rilevanti a livello regionale, nazionale ed internazionale valorizzando ad ogni livello la propria capacità di azione scientifica internazionale ed al contempo la propria presenza di ente nazionale, con strutture diffuse capillarmente sul territorio. L'ente è inoltre presente con ruolo di ausilio alle Autorità nazionali e regionali nello studio delle strategie e politiche di alcuni Programmi Operativi che mirano all'accrescimento del potenziale di ricerca ed innovazione dei territori, con una valenza di supporto al sistema socioeconomico.

Per quanto riguarda il principale programma europeo di interesse per la Ricerca ed Innovazione, *Horizon Europe*, gli sforzi e gli interessi dei ricercatori INFN si concentrano principalmente nella *Excellent Science*, dove sono presenti bandi bottom up dedicati alla ricerca "curiosity driven", quali ERC (*European Research Council*) e MSCA (*Marie Skłodowska Curie Actions*), e azioni dedicate al consolidamento, apertura, integrazione ed interconnessione delle Infrastrutture di Ricerca, che lasciano spazio a progetti scientifici di frontiera in linea con la missione e bagaglio di conoscenze dell'istituto. C'è stata comunque una crescente attenzione e partecipazione verso i bandi di finanziamento degli altri due pilastri e verso le altre iniziative di R&I transnazionale, interdisciplinare e/o applicata. L'INFN è stato parte attiva nella preselezione nazionale per l'eleggibilità ad applicare alla selezione europea per la definizione dei futuri EDIH (*European Digital Innovation Hubs*) attraverso l'adesione diretta a consorzi oppure attraverso la partecipazione ai centri di competenza nazionali (Bi-Rex e SMACT) che hanno presentato le proposte per un Hub nazionale.

Oltre alle fonti di finanziamento sopra citate, un ulteriore importante canale resta quello dei fondi strutturali e di investimento europei (FESR e FSE in primis), la cui programmazione entrerà nel vivo a valle della firma dell'Accordo di Partenariato italiano da parte della Commissione Europea e da cui prenderanno il via i Programmi Operativi Nazionali e Regionali (PON e POR).

Nel 2006 l'INFN ha lanciato la linea di ricerca INFN-E, il cui fine è lo sviluppo di competenze e strumentazioni nel settore delle applicazioni della fisica nucleare al campo dell'energia, con particolare attenzione agli aspetti relativi alla sicurezza (intesa sia come *safety* sia come *security*). Grazie ad una intensa collaborazione con la commissione trasferimento tecnologico, la direzione servizi alla ricerca, il servizio fondi esterni e la CSN5, vengono esplorate possibili collaborazioni con aziende e la partecipazione a bandi UE, principalmente in ambito Euratom, e ad altri bandi di carattere nazionale e internazionale. Le attività di INFN-E sono attualmente orientate sulle seguenti linee di intervento:

- sistemi a fissione;
- sistemi a fusione;
- smantellamento siti nucleari, gestione depositi di materiali radioattivi, tutela del personale nei siti nucleari, security;
- contatti con organizzazioni dedicate alle problematiche energetiche;
- formazione.

Per quanto riguarda la linea 2, è da notare che dal gennaio 2021 l'INFN è socio della Scarl DTT per la realizzazione a Frascati della macchina sperimentale *Divertor Tokamak Test*.

Per quanto riguarda la linea 3, attualmente l'istituto partecipa a 3 progetti europei, MICADO, PREDIS e CLEANDEM.



## 8. I PROGETTI DEL PNRR

### 8.1 I progetti a guida INFN

La disponibilità dei fondi per il PNRR, che individua la ricerca e l'innovazione come motori per la ripartenza del Paese e come strumenti fondamentali per lo sviluppo economico e sociale, è considerata dall'ente una occasione unica per contribuire alla ripresa della Nazione. L'ente ha individuato una serie di proprie iniziative già in essere che grazie al finanziamento del PNRR potranno essere portate a compimento in tempi rapidi. Di particolare rilevanza per le azioni dell'ente, è la missione 4 del PNRR, "Istruzione e Ricerca", nello specifico la componente 2, "Dalla ricerca all'impresa", che prevede diverse linee di intervento su cui le competenze scientifiche e tecnologiche e le IR dell'istituto possono dare un contributo di grande valore per la realizzazione degli obiettivi del Piano. l'INFN ha partecipato a tutti i bandi che il MUR ha previsto per la missione 4: centri nazionali, ecosistemi dell'innovazione, partenariato esteso, infrastrutture di ricerca. In alcuni di questi progetti l'INFN rappresenta l'ente capofila, mentre in altri è partner.

Nell'ambito dell'Investimento per la creazione dei centri nazionali su tecnologie abilitanti, l'INFN ha ottenuto il finanziamento per la realizzazione dell'[ICSC](#) – Centro Nazionale HPC, Big data e Quantum Computing. Realizzato e gestito dalla Fondazione ICSC, è uno dei cinque centri nazionali istituiti dal PNRR e conta 52 partecipanti tra enti pubblici, istituti privati e aziende. Il centro svolge attività di Ricerca e Sviluppo, a livello nazionale e internazionale, per l'innovazione nel campo delle simulazioni, del calcolo e dell'analisi dei dati ad alte prestazioni. Le attività del centro nazionale si focalizzeranno da una parte sul mantenimento e il potenziamento dell'infrastruttura HPC e Big Data italiana, e dall'altra sullo sviluppo di metodi e applicazioni numeriche avanzati e di strumenti software per integrare il calcolo, la simulazione, la raccolta e l'analisi di dati di interesse per il sistema della ricerca e per il sistema produttivo e sociale, anche attraverso approcci cloud e distribuiti. Coinvolgerà e promuoverà le migliori competenze interdisciplinari delle scienze e dell'ingegneria, favorendo innovazioni sostanziali e sostenibili in campi che vanno dalla ricerca di base alle scienze computazionali e sperimentalistiche per il clima, l'ambiente, lo spazio, dallo studio della materia e della vita alla medicina, dalle tecnologie dei materiali ai sistemi e ai dispositivi per l'informazione. L'INFN è anche leader dello Spoke 2 "*Fundamental Research & Space Economy*" e co-leader degli Spoke 0 "Infrastruttura Cloud di Supercalcolo" e 3 "*Astrophysics & Cosmos Observations*".

Per quanto riguarda gli investimenti PNRR per la creazione, il rafforzamento o il network di infrastrutture di ricerca (IR), identificate come a priorità alta o media nel PNIR (Piano Nazionale delle Infrastrutture di Ricerca), l'istituto ha ottenuto il finanziamento di sei progetti nell'ambito ESFRI "*Physical Sciences and Engineering*", e nell'ambito "*DIGIT*". Le IR dell'ente che potranno usufruire dei finanziamenti sono i LNGS, ET, KM3NeT ed EuPRAXIA. A queste si aggiungono un progetto ambizioso per potenziare il know-how tecnologico italiano nella supercondutività (IRIS) e la realizzazione di un network tra i principali computing center italiani (TeRABIT).

LNGS-FUTURE – LNGS Facilities Upgrade To Unveil Rare Events. Il progetto LNGS-Future, di cui l'INFN è sia proponente che ente capofila, si propone di rafforzare le infrastrutture di base dei LNGS per prepararli alle sfide scientifiche del futuro. Ogni anno più di mille scienziati si recano ai LNGS per le loro attività di ricerca: lo studio delle proprietà dei neutrini, la ricerca della materia oscura e la comprensione dei meccanismi alla base del funzionamento delle stelle sono i filoni principali dell'articolato programma di ricerca dei LNGS. Grazie alle loro dimensioni, alla facilità di accesso e alla loro posizione geografica, i

LNGS sono il luogo ideale per condurre esperimenti complessi. Inoltre, il loro successo è strettamente legato alla capacità di fornire servizi integrati e supporto scientifico di eccellenza nei settori della meccanica, dell'elettronica, della selezione di materiali radiopuri, della chimica analitica e del calcolo scientifico. Il progetto LNGS-FUTURE mira all'ammodernamento e al potenziamento dei servizi tecnici e di sicurezza del laboratorio e alla creazione di un supporto per la criogenia avanzata, tecnica sempre più utilizzata dagli esperimenti di nuova generazione. L'obiettivo finale è quello di ospitare i più importanti esperimenti dedicati allo studio della natura del neutrino, consentendo così ai laboratori del Gran Sasso di mantenere la leadership mondiale nella fisica astroparticellare per il prossimo decennio.

*ETIC – Einstein Telescope Infrastructure Consortium*. ETIC si sviluppa nell'ambito del progetto internazionale ET, che ambisce alla realizzazione del futuro osservatorio europeo per le onde gravitazionali. ET, grazie al suo disegno avanzato e alle tecnologie di frontiera che saranno utilizzate, permetterà di osservare pressoché tutte le emissioni di onde gravitazionali provenienti da fusioni di buchi neri stellari o intermedi o di stelle di neutroni. Sarà uno strumento unico nella comprensione dell'universo, dei principi fisici che ne regolano l'evoluzione, dei meccanismi che governano la fisica delle stelle di neutroni e dei buchi neri. È attualmente uno dei più grandi e ambiziosi progetti della *roadmap* ESFRI che individua le infrastrutture di ricerca su cui l'Europa ritiene sia decisivo investire. Il progetto ETIC, di cui l'INFN è sia proponente sia ente capofila, e che vede la partecipazione delle Università di Bologna, Campania Luigi Vanvitelli, Cagliari, Genova, Napoli Federico II, Padova, Perugia, Roma Sapienza, Roma Tor Vergata e Pisa, del GSSI, dell'ASI e dell'INAF, ha due obiettivi principali. Il primo obiettivo è la realizzazione dello studio di fattibilità e di caratterizzazione del sito della miniera dismessa di Sos Enattos nel Nuorese per supportare la candidatura italiana a ospitare ET in Sardegna; nello scenario internazionale, il sito sardo compete con un sito proposto nella regione di confine tra Paesi Bassi, Belgio e Germania. Il secondo obiettivo è la realizzazione e/o potenziamento presso le sedi INFN, le università e gli enti partecipanti al progetto ET di una rete di laboratori di ricerca e sviluppo mirata allo studio delle tecnologie abilitanti, in particolare i sistemi di filtraggio sismico e di controllo a bassa frequenza per la sospensione delle ottiche di ET, gli apparati criogenici a basso rumore per l'abbattimento del rumore termico nelle ottiche principali di ET, nuove tecnologie nel campo della fotonica, dell'ottica e dell'elettronica, e infine nuovi materiali per realizzare gli specchi di ET.

*EuAPS – EuPRAXIA Advanced Photon Sources*. Il progetto EuAPS, di cui l'INFN è ente capofila, e che vede la partecipazione del CNR e dell'Università di Roma Tor Vergata, si sviluppa nel contesto del progetto EuPRAXIA, finanziato con 3 milioni di euro nell'ambito di Horizon 2020, che consiste nella realizzazione di una nuova generazione di acceleratori di particelle al plasma. EuAPS raggruppa diversi aspetti della scienza di frontiera delle sorgenti di fotoni che sono componenti chiave per il buon funzionamento del progetto EuPRAXIA. Saranno inoltre realizzate diverse strutture in Italia, rafforzando e garantendo la competitività internazionale degli istituti coinvolti e dei loro utenti. Il progetto EuAPS include una sorgente di radiazione di betatrone a raggi X pilotata da laser da mettere in funzione presso il laboratorio SPARC\_LAB del LNF dell'INFN. Questo schema, in parte già collaudato e incluso negli obiettivi scientifici di EuPRAXIA, presenta vantaggi intrinseci nella risoluzione temporale degli esperimenti grazie alle ridotte dimensioni del fascio di elettroni, sorgente della radiazione, nel plasma. Strumenti avanzati di diagnostica dei fotoni saranno sviluppati presso il CNR-ISM per caratterizzare completamente la radiazione betatrone a raggi X, mentre l'Università di Tor Vergata fornirà la stazione finale compatta e integrata per l'utente. La sezione di Milano dell'INFN offrirà il supporto teorico e numerico necessario al design ottimizzato dell'infrastruttura. EuAPS include inoltre lo sviluppo dei laser di altissima

tecnologia: lo sviluppo di laser di potenza (fino a 1 PW) e ad alta ripetizione (fino a 100 Hz) è portato avanti dai laboratori CNR di Pisa e dai LNS rispettivamente, realizzando tra l'altro infrastrutture di ricerca per sviluppi scientifici e industriali basati su laser ultraveloci. Il lavoro in EuAPS inoltre svolge un ruolo cruciale nel complementare il progetto di costruzione di EuPRAXIA ai LNF, sviluppando e rafforzando ulteriormente l'alta tecnologia di EuPRAXIA, il suo programma scientifico e la sua base di utenti in Italia e oltre.

KM3Net4RR – KM3 Neutrino Telescope for Recovery and Resilience. Il progetto KM3net4RR, di cui l'INFN è sia proponente sia capofila, finanzia azioni cruciali per l'ampliamento presso il sito italiano di Capo Passero, al largo della Sicilia, dell'osservatorio sottomarino per neutrini KM3NeT, l'ambizioso progetto internazionale per la ricerca sui neutrini nel Mediterraneo. Assieme all'INFN partecipano le Università di Bari, Campania Luigi Vanvitelli, Catania, Genova, Napoli Federico II, Roma Sapienza, Salerno e l'INAF. L'osservatorio comprende gli apparati sottomarini ARCA (Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss), a largo delle Sicilia, che una volta ultimato conterà 230 linee sottomarine di rivelazione, e ORCA (Oscillation Research with Cosmics in the Abyss), al largo di Tolone in Francia, per il quale sono previste 115 linee di rivelazione. Il progetto KM3NeT4RR permetterà di ampliare in modo significativo le potenzialità del telescopio sottomarino per neutrini ARCA finalizzato alla ricerca di neutrini cosmici fino a energie estreme, contribuendo in modo determinante allo sviluppo dei programmi scientifici di astronomia multi-messaggera. Grazie ai finanziamenti del PNRR si arriverà, infatti, a completare circa i 2/3 dell'infrastruttura finale in 30 mesi, dotando l'INFN anche dei laboratori e del personale necessario all'ampliamento, costruzione e installazione della rete di fondo e dei sistemi di rivelazione sottomarini.

IRIS – Innovative Research Infrastructure on applied Superconductivity. Il progetto IRIS, di cui l'INFN è sia proponente sia ente capofila, si propone di realizzare un'infrastruttura distribuita su tutto il territorio nazionale, con particolare riferimento al Sud (sito di Salerno), per sviluppare le tecnologie superconduttrive ad alta temperatura, sia per applicazioni civili, come cavi di connessione per il trasporto di energia elettrica per la riduzione delle perdite energetiche, sia per la realizzazione di magneti ad alto campo per gli acceleratori di particelle di prossima generazione, e in particolare per il Future Circular Collider (FCC), il grande collisore di particelle che verrà dopo la fine del programma di LHC al CERN. Oltre all'INFN, il progetto prevede la partecipazione, delle università di Milano, Genova, Napoli, Salerno e del Salento, oltre al CNR-SPIN. Presso il sito di Salerno verrà costruita un'infrastruttura di eccellenza, dedicata allo studio delle caratteristiche e al test di futuri cavi superconduttori ad alta temperatura, adatti al trasporto di energia elettrica ad alta potenza su grandi distanze, uno dei potenziali asset della transizione energetica.

TeRABIT – Terabit network for Research and Academic Big data in ITaly. Il progetto TERABIT, di cui l'INFN è ente proponente con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, ha l'obiettivo di creare una sinergia fra tre Infrastrutture di Ricerca GARR-T, PRACE e HPC-BD-AI ed essere complementare al centro nazionale di *High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing* (realizzato e gestito dalla Fondazione ICSC). Le tre infrastrutture di ricerca che il progetto mira a integrare e potenziare fanno parte delle infrastrutture strategiche nazionali individuate dal ministero dell'Università e della Ricerca nel PNIR:

- GARR-X (ora GARR-T) è l'infrastruttura di rete a supporto dell'istruzione e della ricerca in Italia. Il capofila dell'infrastruttura è il Consortium GARR, in questo progetto rappresentato dall'INFN;
- PRACE-Italy è una infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni, nodo italiano dell'infrastruttura europea PRACE. I soggetti capofila sono OGS e CINECA

- HPC-BD-AI è una infrastruttura di calcolo distribuita su più siti sul territorio nazionale in grado di gestire risorse di calcolo ad alte prestazioni, big data e applicazioni di intelligenza artificiale.

Il capofila è INFN ed il progetto si propone di potenziare le infrastrutture, creando maggiore integrazione fra loro e con ICSC, e di renderle più accessibili da parte di tutta la comunità della ricerca nazionale. Nel dettaglio, l'infrastruttura GARR sarà potenziata con collegamenti a capacità fino al Terabit per secondo, coprendo aree geografiche complementari a quelle già coperte attraverso gli interventi di ICSC e i fondi istituzionali di GARR. PRACE-Italy effettuerà l'upgrade del suo sistema HPC di categoria Tier-1, sviluppando un'architettura ibrida e collegandolo agli altri centri Exascale di EuroHPC come Leonardo, parte di ICSC. Infine, HPC-BD-AI creerà sistemi HPC di dimensioni minori, disponibili secondo il paradigma dell'edge-computing. Le tecnologie per l'accesso, l'utilizzo e i servizi associati del sistema integrato di TeRABIT saranno sviluppate in stretta collaborazione con ICSC. Il bacino di utenti di TeRABIT è simile a quello di ICSC, ma vengono considerati casi d'uso specifici complementari a quelli principali indirizzati da ICSC, e considerando un utilizzo che possa iniziare dai siti HPC delocalizzati situati vicino all'utenza e arrivare all'utilizzo di sistemi centrali ad alte prestazioni.

Nome progetto	Tipo	Istituzione leader	Budget (M€)	Budget INFN (M€)
ICSC	Centro Nazionale	Fondazione ICSC	320	56.5
KM3NeT4RR	Infrastruttura	INFN	67.2	59.3
IRIS	Infrastruttura	INFN	60	39.5
ETIC	Infrastruttura	INFN	50	33.9
TeRABIT	Infrastruttura	INFN	41	31.3
LNGS-FUTURE	Infrastruttura	INFN	20.1	19.6
EuAPS	Infrastruttura	INFN	22.3	14.9
CTA+	Infrastruttura	INAF	71.4	12.7
ITINERIS	Infrastruttura	CNR	155.2	5.1
EBRAINS-Italy	Infrastruttura	CNR	22.4	0.43
SAMOTHRACE	Ecosistema	SICILIA – Università degli studi di Catania	119	6.6
ROME TECHNOPOLE	Ecosistema	LAZIO – Università degli Studi di Roma La Sapienza	120	2.8
THE-TUSCANY HEALTH	Ecosistema	TOSCANA – Università degli Studi di Firenze	110	0.539
RAISE	Ecosistema	LIGURIA – Università degli Studi di Genova	110	0.427
ECOSISTER	Ecosistema	EMILIA-ROMAGNA–Università di Bologna	110	0.477
PE4-NQSTI	Partnership	Università degli Studi di Camerino	117	6.4
PE15-SPACE	Partnership	Politecnico di Torino	91.6	2.6
PE1-FAIR	Partnership	CNR	114.5	1.6
Anthem	MUR Salute	Università degli Studi di Milano-Bicocca	123.5	12.4
Dare	MUR Salute	Università di Bologna	124	3.5
<b>TOTALE</b>			<b>1969</b>	<b>311</b>

Tabella 8.1 Progetti del PNRR a cui partecipa l'INFN

## 8.2 Altre attività

Grazie alla capillarità della presenza delle strutture INFN sul territorio nazionale, l'ente partecipa a livello regionale anche ad alcune proposte in risposta al bando sugli Ecosistemi dell'Innovazione, con cui sostenere e contribuire alla crescita della competitività regionale su temi di rilevanza per la ripartenza del Paese. I progetti finanziati sono ECOSISTER (*Ecosystem for sustainable Transition in Emilia-Romagna*), RAISE (*Robotics and AI for Socio-economic Empowerment*) in Liguria, Rome Technopole, SAMOTHRACE (*Sicilian MicronanoTech Research And Innovation Center*) e THE (*Tuscany Health Ecosystem*).

In altri programmi, come ITINERIS e EBRAINS, c'è una forte collaborazione con il CNR, mentre in CTA+ la collaborazione è con l'INAF. Di particolare rilievo anche le partnership negli Ecosistemi dell'Innovazione di Emilia-Romagna, Lazio, Liguria, Toscana, e Sicilia, e nei partenariati estesi su PE-4 *Quantum Technologies* (NQSTI), PE-1 *Artificial Intelligence* (FAIR) e PE-15 Spazio (*Space It Up!*).

Complessivamente. L'INFN gestirà fondi per circa 310 M€ negli anni 2023-2025, durata prevista ad oggi dei programmi del PNRR.

A tale scopo, alla fine del 2022 sono stati banditi concorsi per tecnologi e tecnici che permetteranno lo svolgimento dei programmi sopra menzionati, per un totale di circa 200 posizioni a tempo determinato, con l'aspettativa sia di raggiungere una quota del 40% di impiego femminile, che preparare le nuove leve per le ricerche dell'istituto negli anni a venire.

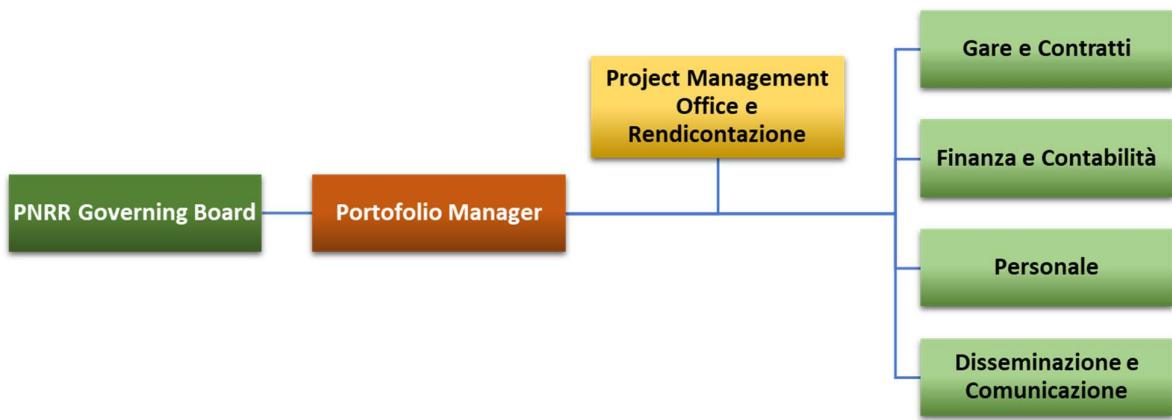
Il riassunto completo della partecipazione dell'INFN è riportato nella Tabella 8.1

## 8.3 La Governance

La gestione dei progetti PNRR per dimensione e tempistiche ha richiesto la realizzazione di una governance specifica. L'INFN ha definito una struttura temporanea amministrativo-gestionale formata da:

- PNRR *governing board*, composto dalla giunta esecutiva dell'ente, da quattro membri di elevata esperienza gestionale e scientifica, da un manager della società di consulenza incaricata del supporto e dal *portfolio manager*; ha ruolo di indirizzo gestionale per tutti i progetti PNRR e per la loro interazione con le strutture.
- *Portofolio manager*, persona di elevata esperienza gestionale di infrastrutture scientifiche; ha il compito di dare seguito agli indirizzi gestionali espressi dal PNRR *governing board*, di monitorare la gestione, l'avanzamento e la rendicontazione dei progetti, si relaziona coi responsabili dei progetti.
- *Project management office e rendicontazione*, costituito da personale della DSR (Direzione Servizi alla Ricerca) e coordinato da una persona appositamente nominata; ha il compito di predisporre e coordinare l'implementazione degli strumenti e delle pratiche gestionali necessarie alla pianificazione, esecuzione, monitoraggio e rendicontazione dei progetti PNRR, risponde al *portfolio manager*.

A questi si aggiungono uffici con personale dedicato alle attività di *procurement*, finanza e contabilità, reclutamento e gestione del personale, disseminazione e comunicazione, come mostrato in Figura 8.1.



*Figura 8.1 struttura temporanea di governance dei progetti PNRR*

## 9. LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, SOCIETÀ E FONDAZIONI

Alcune collaborazioni dell'istituto si sono tradotte nella costituzione e nella partecipazione a consorzi, società, fondazioni e, in generale, diversi organismi associativi radicati sul territorio. Complessivamente l'INFN partecipa a una trentina di organismi associativi di queste tipologie, per un impegno finanziario di oltre 10 milioni di euro annui. Alcuni, come il consorzio COMETA, hanno specifici obiettivi nel campo della fisica spaziale (*LISA – Laser Interferometer Space Antenna – Pathfinder*) o delle infrastrutture di calcolo (*EGI – European Grid Initiative*) con trasferimenti verso paesi terzi (*el4Africa – teaming-up for exploiting e-infrastructures' potential to boost RTDI in Africa*, *EarthServer – European Scalable Earth Science Service Environment*). Nel settore dell'energia il Consorzio RFX gioca un ruolo primario, con la partecipazione ai progetti di fusione nucleare *ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)* e *IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility)*. Nel campo delle reti informatiche, significativo è il contributo dell'ente all'Associazione Consortium GARR (Gestione Ampliamento Rete Ricerca).

Particolarmente rilevante è altresì la partecipazione dell'INFN al consorzio EGO (*European Gravitational Observatory*) che partecipa alla rete internazionale degli osservatori di onde gravitazionali GWIC (*Gravitational Wave International Committee*). Nel 2016 l'INFN ha aderito al Cluster nazionale Scienza della vita – ALISEI (*Advanced Life Science in Italy*). Inoltre, dal 2015, l'INFN ha aderito all'Associazione CFI (*Cluster Fabbrica Intelligente*) e all'Associazione SC&SC (*Smart Cities and Smart Communities*) promuovendo la collaborazione tra i soci nei settori strategici tipici delle *Smart Cities*, secondo i paradigmi innovativi dell'Agenda Digitale Europea. L'INFN è socio dell'Associazione Festival della Scienza di Genova, una delle iniziative più rilevanti a livello europeo nella divulgazione scientifica, e dal 2020 è anche socio fondatore dell'Associazione Centro d'Eccellenza DTC Lazio, volta a promuovere e coordinare attività di ricerca di base, ricerca industriale, sviluppo sperimentale, trasferimento tecnologico e di formazione nell'ambito delle tecnologie applicate ai beni ed alle attività culturali della Regione Lazio.

La quasi totalità dell'impegno finanziario sopramenzionato è concentrata nei contributi erogati in favore di EGO e GARR e, in misura minore, di RFX.

A livello societario, inoltre, è di rilievo l'accordo per l'esercizio del controllo analogo congiunto da parte dell'INFN sulla società ART-ER S.c.p.a., sorta dalla fusione delle società ASTER ed ERVET, alla quale partecipano una pluralità di soci pubblici, tra cui la regione Emilia-Romagna quale socio di maggioranza, con l'obiettivo di favorire il consolidamento della ricerca industriale, del trasferimento tecnologico e l'internalizzazione del sistema regionale.

Nel gennaio 2021, nell'ambito della *Fusion Roadmap* europea, l'INFN ha anche aderito alla società consortile denominata “Consorzio per l'attuazione del progetto *Divertor Tokamak Test DTT S.c.a.r.l.*”, finalizzata alla creazione di un divertore in vista della realizzazione di una centrale nucleare a fusione in grado di fornire energia elettrica alla rete intorno al 2050.

Nel corso del 2021 l'istituto ha approvato la propria partecipazione anche a due Fondazioni ITS (Istituti Tecnici Superiori): l'Istituto Superiore Meccatronico del Lazio e l'Istituto Tecnico Superiore “Meccanica, Meccatronica, Motoristica, Packaging” – ITS Maker di Bologna, al fine di sostenere l'integrazione tra i sistemi di istruzione e formazione e sostenere le misure per l'innovazione e il trasferimento tecnologico alle piccole e medie imprese.

Sempre nel corso del 2021, l'INFN ha incrementato l'adesione a diverse associazioni sia di carattere regionale, come l'Associazione Cluster Biomedicale dell'Umbria, che di rilievo

europeo ed internazionale, quali l'Associazione “*Gaia-X Hub European Association for Data and Cloud AISBL*” e l'Associazione EOSC (*European Open Science Cloud Association*). In particolare, inoltre, va menzionata l'adesione dell'INFN in qualità di associato ordinario all'Associazione ACC (Alleanza Contro il Cancro) che si propone di realizzare e gestire una rete di informazioni e collaborazione tra gli IRCCS (Istituti di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico) ad indirizzo oncologico nonché con altri enti pubblici o privati impegnati in oncologia in campo clinico, di ricerca e di assistenza.

Nel mese di gennaio 2022, è stata formalizzata la costituzione del Consorzio HPC4DR (*High Performance Computing for Disaster Resilience*), alla quale l'INFN ha partecipato in qualità di socio fondatore. Il Consorzio si propone di realizzare un centro di competenze per la riduzione dei rischi connessi ai disastri dovuti a fenomeni naturali o di origine umana, dotato di un'infrastruttura tecnologica di calcolo ad alte prestazioni, collocata presso i LNGS, che si inserisce nell'ecosistema nazionale di innovazione.

Sempre nel corso del 2022 l'INFN ha aderito all'Associazione HAMU con sede in Ancona, che si propone di realizzare tra le varie finalità quella di elaborare proposte di politica industriale inerenti ai fondi strutturali della politica di coesione e i fondi di Next Generation, Green Deal, e altri fondi UE che possono determinare effetti sul territorio interregionale.

Dal mese di giugno 2022 l'INFN, in relazione all'attività progettuale a valere sui fondi PNRR in cui si trova coinvolto, ha formalizzato l'adesione a 7 fondazioni di diritto privato e 2 società consorili, tutte aventi il ruolo di HUB ovvero di soggetti attuatori dei vari progetti.

Di seguito una tabella riassuntiva recante l'elenco degli HUB cui ha aderito l'istituto, suddivisi in base alla forma giuridica assunta, recanti l'indicazione della sede e dell'importo della quota versata dall'INFN all'atto di ingresso.

<b>Fondazioni (progetti PNRR)</b>	<b>Quota ingresso</b>
Centro nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data and Quantum Computing (Bologna)	100.000 €
Rome Technopole (Roma)	15.000 €
Ecosister (Bologna)	20.000 €
Samothrace (Catania)	30.000 €
Fair (Pisa)	20.000 €
Dare (Bologna)	25.000 €
Anthem (Milano)	25.000 €

<b>Società consorili a responsabilità limitata (progetti PNRR)</b>	<b>Quota ingresso</b>
National Biodiversity Future Center NBFC scarl (Palermo)	8.000 €
Tuscany Health Ecosystem -THE scarl (Firenze)	10.000 €

## 10. LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE E ALTA FORMAZIONE

All'interno dell'INFN le attività di terza missione vengono declinate in attività di *public engagement* e comunicazione, attività di trasferimento tecnologico e attività di formazione continua. Queste attività sono organizzate sia a livello centrale che con il coinvolgimento delle diverse strutture dell'ente. Sin dal 2012 le attività di trasferimento tecnologico sono coordinate dal CNTT (Comitato Nazionale di Trasferimento Tecnologico) e dal STT (Servizio Trasferimento Tecnologico) presso l'amministrazione centrale. Per le attività di comunicazione e *public engagement* organizzate a livello centrale, l'INFN conta dal 2002 sulle professionalità del suo ufficio comunicazione, presso la presidenza dell'ente. A partire dal 2016, consapevole della sua importanza strategica, l'ente si è anche dotato del CC3M (Comitato di Coordinamento della Terza Missione) con il compito specifico di coordinare le iniziative di diffusione della cultura scientifica, organizzate a livello locale con impatto sul territorio nazionale, per rafforzarne l'efficacia e raggiungere un pubblico diversificato e sempre maggiore. Della CC3M fanno parte, tra gli altri, il presidente del CNTT e la responsabile delle attività di *public engagement* dell'ufficio comunicazione per ottimizzare il coordinamento e sfruttare le possibili sinergie tra i vari attori coinvolti.

Oltre alle iniziative multi-struttura, coordinate dal CC3M, sono numerose le partecipazioni delle singole strutture a eventi di *public engagement* nazionali, sotto il coordinamento dell'ufficio comunicazione, e ad iniziative locali. Tra queste, la partecipazione a festival scientifici o multiculturali locali e la massiccia partecipazione alla Notte Europea dei Ricercatori, nell'ambito della quale l'INFN contribuisce in modo capillare ai progetti approvati dalla Commissione Europea - Sharper (con 7 sedi coinvolte), Science4All (2 sedi), Bright (2 sedi), Society-riPENSaci (2 sedi), NET-Science Together (2 sedi), MeetmeTonight (1 sede), Apulia (2 sedi), U\*Night (1 sede) – e ad altre iniziative programmate nel contesto della Notte Europea dei Ricercatori – progetto Streets (1 sede), NET – scieNcE Together (3 sedi), Open night Museo Scienza (1 sede), ERN Bari (1 sede).

Il GLV (Gruppo di Lavoro sulla Valutazione) stila un rapporto annuale inviato al management dell'ente e al CVI (Comitato di Valutazione Internazionale) sulla base delle informazioni fornite dal CNTT e dal CC3M, integrate da un database che raccoglie, sin dal 2005, le attività effettuate nelle singole strutture INFN. I recenti risultati della VQR (Valutazione Qualità della Ricerca) 2015-2019 hanno evidenziato le prestazioni eccellenti sia nel trasferimento tecnologico che nel *public engagement*, confermando la grande attenzione rivolta dall'ente a tutte le attività di terza missione. Nel caso del *public engagement*, in particolare, l'ultima VQR ha evidenziato un maggior allineamento, rispetto alla precedente, tra i livelli di eccellenza delle iniziative multi-struttura e quelle organizzate centralmente, a dimostrazione del maggior coordinamento dei progetti sotto la guida del CC3M e della sempre maggiore sinergia con le attività con l'ufficio comunicazione. Grazie al maggiore coordinamento, è inoltre aumentata la frazione di personale coinvolto nelle iniziative di terza missione, a testimonianza del crescente impegno dell'istituto nelle attività con impatto sociale.

Numerose iniziative di *knowledge transfer* sono intrinsecamente presenti nell'attività dell'istituto e negli ultimi anni sono state rafforzate dall'attenzione rivolta all'interazione tra scienza e società. Tale attenzione è sottolineata anche dalla volontà espressa dal management dell'ente di dotarsi, a partire dal 2021, di un Bilancio Sociale. Sul fronte del trasferimento tecnologico, l'ente promuove la nascita e lo sviluppo di *network* ricerca-imprese-territorio, che possano contribuire alla competitività e allo sviluppo economico e imprenditoriale del Paese e delle sue articolazioni territoriali.

Oltre ad attività di divulgazione, c'è un crescente impegno nel proporre attività di formazione continua, in particolare, l'aggiornamento professionale di docenti di scuola di ogni grado, attraverso scuole e seminari dedicati.

L'INFN, oltre alle attività di terza missione, è significativamente impegnato anche nell'alta formazione. Sulla base delle convenzioni stipulate con gli atenei, numerosi ricercatori INFN svolgono attività didattica principalmente nei corsi magistrali in fisica, fanno da relatori o correlatori per tesi di laurea che ricadono nell'ambito delle ricerche svolte dall'ente e sono specificatamente attivi nell'attività formativa di terzo livello, grazie ad un programma di finanziamento di borse di dottorato di ricerca e, in particolare, alla attivazione di dottorati congiunti. Ad oggi l'istituto conta 13 programmi di dottorato di ricerca di cui è co-titolare con un trend crescente negli ultimi cinque cicli. Finanzia ogni anno oltre 60 borse di dottorato di ricerca e annualmente vengono discusse circa 170 tesi di dottorato in ambito INFN.

### 10.1 Le attività di comunicazione e di diffusione della cultura scientifica

Il numero totale di eventi organizzati nel 2022 è 663, circa metà destinati al grande pubblico e la restante parte alle scuole. Circa il 70% delle attività viene svolta nelle singole sezioni, il restante 30% nei laboratori nazionali. La maggior parte di questi eventi consiste in mostre e conferenze-spettacolo, realizzati in collaborazione con protagonisti del mondo culturale, seminari divulgativi, visite guidate, percorsi formativi, spesso organizzati in collaborazioni con atenei ed altri enti di ricerca con cui l'INFN collabora da anni.

I dati 2022 mostrano un significativo effetto di ripresa delle attività, attestandosi a valori non molto distanti da quelli pre-pandemia.

La Tabella 9.1 riporta il numero di eventi, divisi nelle varie tipologie, organizzati dall'INFN negli ultimi cinque anni.

Classe Evento	N. Eventi 2018	N. Eventi 2019	N. Eventi 2020	N. Eventi 2021	N. Eventi 2022
Pubblico	317	320	185	227	325
Scuola	84	555	182	246	328
Alta Formazione	12	12	1	8	10
<b>Totale</b>	<b>413</b>	<b>887</b>	<b>368</b>	<b>481</b>	<b>663</b>

*Tabella 9.1 – Numero di eventi totali organizzati dall'INFN (2018-2022)*

#### 10.1.1 Ufficio Comunicazione

Consapevole dell'importanza della diffusione della cultura scientifica e delle attività di sensibilizzazione del pubblico, l'INFN dedica grandi sforzi alla progettazione, all'organizzazione e alla realizzazione di eventi, mostre e prodotti per il grande pubblico o mirate specifiche platee. Grazie all'azione sinergica, a livello nazionale e internazionale, dell'ufficio comunicazione, della CC3M e con il fondamentale contributo del personale coinvolto nelle singole strutture, sono state realizzate numerose iniziative. L'ufficio comunicazione, in particolare, concorda con il management la strategia di comunicazione verso i media e il pubblico della *mission* dell'ente e degli sviluppi della ricerca in cui è impegnato e la attua attraverso i canali di comunicazione istituzionali (comunicati stampa, news, sito web, canali social, newsletter) e i canali di *public engagement* più propriamente dedicati alla divulgazione e all'*edutainment* (eventi, mostre e installazioni, video e animazioni, pubblicazioni educational e divulgative).

Per quanto riguarda il rapporto con i media, l'ufficio stampa dell'INFN si è ormai consolidato da anni come un'importante fonte di informazione e un punto di riferimento per le agenzie di stampa e i giornalisti scientifici italiani. Riscontro di ciò è il numero di citazioni, che nel 2022 sono state 7.483 sulle testate italiane cartacee e digitali, e 240 su TV e radio, a fronte di 54 comunicati stampa diffusi e 85 web-news pubblicate. In occasione di notizie scientifiche rilevanti, l'attività dell'ufficio stampa si rivolge anche verso i principali media internazionali.

Per la comunicazione istituzionale, l'INFN è dotato di un sito web (bilingue italiano e inglese) che aggiorna regolarmente e sta investendo sulla comunicazione attraverso i social media (Facebook, Twitter, Instagram, YouTube e Linkedin), organizzando campagne e prodotti di comunicazione pensati per questi canali che raggiungono decine di migliaia di utenti. Produce materiale di promozione e presentazione dell'istituto e delle sue attività, brochure, poster, infografiche, video (questi ultimi fruibili attraverso il canale YouTube dell'ufficio comunicazione).

L'INFN, attraverso l'ufficio comunicazione, cura la produzione di una newsletter mensile, bilingue in italiano e in inglese, che viene inviata a tutto il personale INFN e a destinatari esterni, appartenenti al mondo della politica, dell'industria, dei media e delle istituzioni di ricerca italiane ed estere, per un totale di 7.000 lettori raggiunti.

L'INFN pubblica una rivista monografica semestrale, dedicata ai grandi argomenti della fisica, *Asimmetrie* (tiratura cartacea di circa 20.000 copie, disponibile anche su web e con applicativo per smartphone), rivolta agli insegnanti delle scuole secondarie di secondo grado e ai loro studenti, al fine di offrire uno strumento di approfondimento da utilizzare in classe per introdurre i temi della ricerca di frontiera.

L'INFN partecipa a festival e manifestazioni pubbliche, nazionali e internazionali, sia di carattere scientifico, come il Festival della Scienza di Genova, il festival BergamoScienza, il Festival Futuro Remoto di Napoli, il Festival della Scienza di Roma, di cui è partner progettuale insieme all'Agenzia Spaziale Italiana, sia attinenti anche ad altri ambiti culturali, come il Festival della Scienza e della Filosofia di Foligno, il Festival della Filosofia di Modena, Carpi e Sassuolo, il Wired Health festival di Milano. Dal 2020, inoltre, l'INFN contribuisce con iniziative educational e per il pubblico generico a piccoli festival decentrati come il Festival Galassica di Esanatogia e il festival Quantum di Gardone Valtrompia.

Con l'obiettivo di raggiungere il grande pubblico, raccontando di scienza in modo coinvolgente e suggestivo, l'INFN progetta e cura conferenze-spettacolo, realizzate in collaborazione con protagonisti del mondo culturale, che portano sulla scena scienziati, musicisti, scrittori, attori, artisti e vedono la partecipazione di molti spettatori. Stesso scopo hanno le mostre, realizzate anche in questo caso in collaborazione con professionisti del mondo dell'arte e della cultura. Si tratta spesso di eventi con grande partecipazione di pubblico. Tra gli eventi di particolare successo organizzati nel biennio il 2021-2022 vale la pena di ricordare gli eventi ospitati all'auditorium Parco della Musica di Roma, tra questi: l'evento di presentazione del premio Nobel per la fisica Giorgio Parisi "L'ordine del caos", nel settembre 2021; l'evento "Scienziate. Donne di talento per una ricerca di successo", nel maggio 2022, dedicato al concorso per le scuole sulla parità di genere, del *network Genera* di cui l'INFN è partner; la conferenza spettacolo tra scienza, musica e teatro "Quanto. La parola che ha cambiato la fisica", nell'autunno 2022 (con prima edizione al festival della scienza di Genova nell'ottobre dello stesso anno e replica al Festival Futuro Remoto di Napoli), dedicata al tema della meccanica quantistica, divenuto di grande attualità dopo l'attribuzione del premio Nobel per la fisica 2022.

Le installazioni multimediali realizzate per le mostre sono poi riutilizzate in occasione di festival e altre manifestazioni o allestite in modo semi-permanente presso musei scientifici:

ne sono un esempio le installazioni “Espansione” e “Collisioni” che tra il 2021 e il 2022 sono state aggiornate e riallestite, la prima come parte dell’allestimento semipermanente al nuovo Museo Immaginario scientifico di Trieste, e come installazione itinerante per festival e manifestazioni come la mostra “Spazio (al futuro)” allestita a novembre 2022 Città della Scienza a Napoli, la seconda come installazione itinerante dedicata, nel 2022, alla celebrazione del decennale della scoperta del bosone di Higgs.

La diffusione scientifica e la comunicazione si svolgono in tutte le unità locali e, in particolare, nei quattro laboratori nazionali. A questo proposito, con l’intento di rendere le iniziative locali più efficaci, da qualche anno l’INFN ha attivato moduli annuali di corsi di formazione alla comunicazione scientifica rivolti al proprio personale, che hanno lo scopo di fornire gli strumenti di base per gestire i rapporti con i media e le attività per le scuole e il grande pubblico. Dal 2017, con l’obiettivo di incentivare la qualità dell’offerta di attività educational, di public engagement e la partecipazione della comunità scientifica a iniziative di diffusione della cultura scientifica, l’ufficio comunicazione e il CC3M hanno attivato in sinergia corsi di formazione dedicati al personale e focalizzati sulla valorizzazione di specifiche expertise nel campo della comunicazione della scienza al pubblico.

Le attività dell’ultimo biennio sono state fortemente condizionate dalla necessità di riprendere le attività nella loro forma ordinaria, dopo la situazione pandemica, ma quest’ultima è divenuta anche occasione per la sperimentazione e il successivo consolidamento di nuovi format di *public engagement*.

Dopo l’esperienza positiva maturata dall’ufficio comunicazione INFN con cicli di incontri online dedicati al mondo della scuola, tra il 2021 e il 2022 l’INFN ha ulteriormente consolidato questa esperienza proponendo incontri online differenziati per studenti e studentesse di ogni ordine e grado: dal ciclo “I mestieri della fisica” (2022), ideato per fornire un utile strumento di orientamento a studenti e studentesse delle scuole secondarie di secondo grado, a “La fisica tra le onde; I raggi cosmici”, ciclo di incontri che ha avvicinato ragazzi e ragazze di scuole secondarie di primo grado alla fisica delle astroparticelle, fino alla serie di eventi “Ti racconto l’universo”, dedicata ai più piccoli, studenti e studentesse degli ultimi anni della scuola primaria e dei primi anni della scuola secondaria di primo grado. Nella programmazione di eventi online INFN, non sono mancati gli eventi dedicati al pubblico generico che hanno approfondito argomenti di attualità come il lancio dell’esperimento satellitare IXPE o gli ultimi risultati dell’esperimento CDF del Fermilab.

Con l’obiettivo di raggiungere un nuovo pubblico e sperimentare linguaggi innovativi per la diffusione della cultura scientifica, dal 2021 l’INFN ha realizzato due podcast: “Risonanze. Dialoghi oltre la fisica”, che presenta le attività dell’INFN nell’incontro con altri attori del panorama culturale, e “Tracce”, podcast di due stagioni sulla fisica delle particelle. In particolare, la seconda stagione, “Lessico di una scoperta”, dell'estate 2022, è stata pubblicata in occasione dei dieci anni dalla scoperta del bosone di Higgs e ha fatto conoscere il podcast a migliaia di ascoltatori e ascoltatrici.

L’anno a cavallo tra l’agosto 2021, in cui ricorreva l’anniversario dei 70 anni dalla fondazione dell’INFN, e l’autunno 2022 è stato un anno ricco di eventi celebrativi presso la gran parte delle strutture dell’ente. Le celebrazioni si sono aperte ufficialmente nel settembre 2021, nella cornice del Festival delle Scienze di Roma, con un evento che ne ha raccontato la storia, sin dalla nascita nel 1951, fino ai nostri giorni, ripercorrendo le tappe più importanti che hanno condotto a risultati e scoperte nell’ambito della fisica fondamentale. In totale sono stati organizzati 20 eventi in tutti Italia, allo scopo di celebrare la storia dell’INFN attraverso la storia delle sue strutture locali. Le celebrazioni si sono chiuse nel settembre 2022, a Torino, che con Milano Roma e Padova è nell’elenco delle quattro sezioni fondatrici dell’ente.

In apertura delle celebrazioni del decennale della scoperta del bosone di Higgs, nel luglio 2022, in occasione della conferenza internazionale ICHEP 2022 a Bologna, l'INFN ha organizzato a Piazza Maggiore un evento dedicato alla storia della scoperta, registrando una presenza di pubblico di circa 4000 persone. Nel contesto della stessa conferenza, inoltre, l'INFN, sotto il coordinamento del comitato di organizzazione locale della conferenza e dell'ufficio comunicazione INFN, ha ideato e organizzato numerose attività di outreach in tutta la città.

Particolare rilievo rivestono anche le molteplici iniziative che l'INFN, sia attraverso l'ufficio comunicazione che con le attività nelle proprie strutture, dedica alla promozione della parità di genere nelle STEM. Già da diversi anni partecipa con proprie iniziative o iniziative condivise con atenei e altri enti alla celebrazione dell'*International day of women and girls in science*, la giornata internazionale, che ricorre l'11 febbraio, istituita nel 2015 dall'assemblea generale delle Nazioni Unite per promuovere la piena ed equa partecipazione di donne e ragazze nelle scienze, in materia di istruzione, formazione, occupazione e processi decisionali. Nel contesto della promozione delle STEM, oltre al già citato evento "Scienziate. Donne di talento per una ricerca di successo", svolto nel maggio 2022, va per esempio ricordato lo spettacolo teatrale "La forza nascosta", che racconta la storia di quattro grandi scienziate del '900, Vera Cooper Rubin, Marietta Blau, Chien-Shiung Wu e Milla Baldo Ceolin, che, dopo essere stato ospitato in numerosi teatri e università italiane, in occasione della giornata delle donne e ragazze nelle scienze 2023, andrà per la prima volta in scena anche all'estero.

#### 10.1.2 Commissione coordinamento 3<sup>a</sup> missione – CC3M

L'obiettivo principale della CC3M è rafforzare e migliorare le attività di diffusione della cultura scientifica che nascono per iniziativa delle sezioni e dei laboratori, per garantirne l'ottimizzazione e il coordinamento sul territorio, e per allargare e differenziare la platea del pubblico coinvolto. Nel corso degli anni, il CC3M ha inoltre promosso proprie iniziative volte a coprire specifiche carenze in termini di copertura territoriale della attività di *public engagement* o attinenti tematiche specifiche. Il CC3M supporta attività di grande impatto, che coinvolgono più sezioni o che sono comunque significative a livello nazionale come *ScienzaperTutti*, *RadioLab*, le *Masterclass*, il *Premio Asimov* per la divulgazione scientifica, *OCRA (Outreach with Cosmic Rays Activities)* per citarne alcune. *ScienzaperTutti* è un portale web, con una redazione integralmente composta da ricercatori INFN che offre continuamente materiale rivolto agli studenti delle scuole secondarie, diventato da anni un punto di riferimento per il suo pubblico. Alcune iniziative in presenza (ad esempio *RadioLab* o le già citate *Masterclass*) sono oramai esperienze consolidate, coinvolgendo da anni migliaia di studenti in attività di *stage* e laboratori *hands on*. Il *Premio Asimov per la divulgazione scientifica*, giunto alla sua VIII edizione, coinvolge annualmente oltre migliaia di studenti (l'edizione 2022 ha segnato un record di partecipazione con oltre 12000 studenti coinvolti in altrettante recensioni) che recensiscono e votano il vincitore tra una cinquina di libri annualmente scelti da un ampio comitato di selezione. Nell'ottica di coordinare iniziative diffuse, nel 2019 è stata lanciata *OCRA*, omogeneizzando le attività che utilizzano i raggi cosmici per portare la scienza nelle scuole. Dopo una fase di attività in modalità online durante l'emergenza COVID19, siamo tornati ad eventi in presenza, senza però tralasciare le opportunità aggiuntive fornite dall'online. Ad esempio, l'*ICD (International Cosmic Day)* nel quale studenti da tutto il mondo vanno a "caccia" di raggi cosmici, nel 2022 si è svolto in modalità doppia: in presenza in quasi tutte le venti strutture partecipanti, ed online per le scuole che non potevano raggiungere una sede, con un coinvolgimento complessivo di circa 1000 studenti.

Il già citato *RadioLab*, coinvolge oltre 800 studenti in tutta Italia in un percorso annuale nel quale questi sono prima sensibilizzati al pericolo posto dal Radon (presente in molte rocce

e materiali da costruzione, secondo responsabile dei tumori al polmone nel nostro Paese), per poi imparare a raccogliere dati sulla concentrazione di questo gas radioattivo. I partecipanti effettuano delle misure, apprendendo in prima persona le tecniche di rivelazione, analizzando i dati, e poi presentando i risultati in iniziative rivolte alla cittadinanza (esperienza di *citizen science*) svolte per lo più il 7 novembre (anniversario della nascita di M.S Curie, *Radon Day* internazionale). Nell'anno scolastico 2021-2022, sfruttando le modalità sviluppate durante la fase acuta della pandemia, *RadioLab* ha dato vita ad una sottorete (ISOradioLAB), che comprende scuole delle piccole isole: Lampedusa, San Pietro, Ischia, Procida, Lampedusa e delle Eolie.

Una delle iniziative che affronta l'allargamento del pubblico a cui ci si rivolge è costituito da *Art&Science* pensato per gli studenti delle scuole secondarie che offre un percorso biennale di dialogo tra arte e scienza, fatto di lezioni frontali su entrambi gli argomenti, visite a laboratori scientifici e musei. I partecipanti devono a loro volta produrre un oggetto artistico ispirato al tema scientifico proposto, che viene esposto in mostre organizzate a livello regionale (tipicamente in un museo o comunque uno spazio espositivo), con una giuria che premia le migliori opere. Queste sono infine esposte, al termine dei due anni, in una mostra nazionale presso il MANN (Museo Archeologico Nazionale di Napoli). Il successo dell'iniziativa è testimoniato dalla partecipazione: alla III edizione (2020-2021), si sono iscritti oltre 5000 studenti da 135 scuole premiando lo sforzo di circa 150 tra ricercatori e tecnologi dell'istituto. La fase di iscrizione delle scuole per la IVa edizione si è conclusa il 31 gennaio 2023.

Una menzione particolare merita l'attività di *INFN Kids* che si rivolge soprattutto al pubblico dei più piccoli. Nato nel 2019, dopo una prima fase fortemente influenzata dall'emergenza COVID-19, dal 2022 ha ripreso con le attività in presenza (citiamo per tutte la partecipazione a Lucca Comics, la più importante manifestazione italiana), ove lo stand è stato visitato da oltre 1700 bambini nei cinque giorni dell'evento. Anche qui l'esperienza acquisita durante l'emergenza per le attività online fornisce strumenti aggiuntivi che saranno sfruttati nei prossimi anni per raggiungere pubblici geograficamente sfavoriti.

Dal 2020 il CC3M ha lanciato l'iniziativa *Physics Involving People*, un bando tematico interno per finanziare iniziative prototipali su argomenti specifici di interesse dell'istituto. I primi due progetti sono terminati, e [What Next- Giovani che raccontano il futuro](#) ha prodotto un cortometraggio che è stato presentato in alcuni eventi pubblici (Ferrara, Padova).

Un ultimo cenno merita l'aspetto dell'aggiornamento dei docenti ai temi propri della ricerca dell'ente. Uno degli obiettivi è di accrescere l'offerta dell'istituto in quest'area, così alle attività tradizionali (incontri di fisica e i corsi di fisica moderna di Frascati) si sono ora affiancati il *PID-Programma INFN per Docenti* (presso i LNS, LNL, LNGS), l'iniziativa *AggiornaMenti* rivolta a docenti delle scuole secondarie di primo grado (10 sezioni partecipanti con altrettanti corsi). Tutti i corsi hanno ripreso ad essere svolti in presenza, registrando un forte interesse dei docenti. Ad esempio, PID ha avuto oltre 500 candidature per sessanta posti disponibili (corsi svolti nel 2022 a Legnaro e Gran Sasso). Anche in questo caso durante la pandemia è stato sviluppato, in collaborazione con la casa editrice Pearson, un programma (*PID@Home*) che, sotto forma di webinar, integra l'offerta formativa per i docenti delle superiori.

## 10.2 L'INFN per l'innovazione tecnologica e la competitività industriale

Il KTT (*Knowledge and Technologies Transfer*) dagli enti di ricerca a vari soggetti espressione del mondo dell'economia, come ad esempio aziende, imprese ed istituzioni pubbliche, è considerato fondamentale per aumentare l'innovazione e la competitività della

comunità economica sul mercato nazionale ed internazionale. L'INFN da sempre presta particolare attenzione al trasferimento di conoscenze e tecnologie: le strutture e i laboratori sono costantemente coinvolti nella produzione di nuove conoscenze, sia rispetto alla tecnologia tangibile sia a conoscenze e risorse immateriali, rendendo il processo KTT una parte intrinseca delle attività di ricerca dell'INFN.

La strategia dell'INFN per il trasferimento tecnologico si basa soprattutto sulla valorizzazione di idee e tecniche innovative, che nascono nell'ambito della ricerca di base, e, successivamente, si propone di facilitare/catalizzare i processi che guidano lo scambio di conoscenza fra il mondo della ricerca e la società. Con quest'ultima si può intendere sia il mondo delle imprese sia un qualunque contesto che possa essere destinatario delle applicazioni, consentendo così alle nuove tecnologie di tradursi in beni e servizi fruibili dalla collettività.

Parte della strategia è anche costruire strumenti di valutazione interna e di monitoraggio delle attività e dei prodotti del KTT e più in generale delle conoscenze trasferibili dell'ente.

Per raggiungere questo scopo l'INFN si è dotato di una organizzazione ad hoc che copre aspetti di carattere amministrativo-giuridico e scientifico-tecnologico, il tutto coordinato da un comitato d'indirizzo: il CNTT è l'organo preposto al coordinamento di queste attività. Il collegamento con gli organi direttivi centrali è assicurato dalla partecipazione di un componente della giunta esecutiva.

Il CNTT è supportato operativamente dal STT che cura aspetti amministrativi e di sostegno ai ricercatori. Il servizio comprende risorse umane qualificate che coprono i diversi profili di competenza (giuridico/brevettuale, economico, tecnologico), specifici di un settore fortemente interdisciplinare.

Una rete di RL (Referenti Locali) nelle singole strutture INFN, vera spina dorsale delle azioni KTT, consente una capillare interazione con gli *stakeholders* economici locali sul tessuto nazionale. La rete dei RL è direttamente coordinata dal CNTT.

L'attività di KTT dell'ente si è via via trasformata e consolidata su un percorso ricco di azioni che vanno anche oltre quelle più classiche e più strettamente tecnologiche, quali i contratti di ricerca e consulenza con committenza esterna, i brevetti, la creazione di imprese spin-off, la partecipazione a incubatori e consorzi. Queste attività hanno beneficiato anche della creazione di reti di competenza interne, che tramite percorsi sinergici, hanno permesso KTT anche all'interno della rete stessa.

Questi percorsi sono volti principalmente a rafforzare la conoscenza e la diffusione di alcune tecnologie tipiche dell'INFN nelle sue strutture sul territorio nazionale, in modo da utilizzare tutti i possibili contributi e rispondere in maniera più ampia alla richiesta esterna di KTT.

Specifici regolamenti sul KTT hanno fornito un insieme di strumenti per la valorizzazione della ricerca. Si è definito un nuovo schema di incentivi agli inventori, oltre al regolamento sugli *spin-off*, alle strutture che li ospitano, al budget del CNTT, al salario accessorio dei dipendenti. I regolamenti stabiliscono la possibilità di conferire deleghe alle singole strutture INFN, per gestire localmente alcune tipologie di KTT, così da accelerare le procedure e favorire il processo stesso. I risultati possono essere monitorati dal sistema contabile e resi disponibili per analisi di impatto socioeconomico.

Il portale è stato potenziato con l'obiettivo di farne uno strumento interattivo, dove le parti interessate al KTT (ricercatori, imprese, altre istituzioni interessate) possano accedere ai servizi messi a disposizione dall'istituto. Il sito è strumento di dialogo con i ricercatori (modulistica, assistenza brevetti e *spin-off*) e con le imprese (ricerca di tecnologie, ricerca di collaborazioni, ricerca di servizi o strumentazione di alta tecnologia).

Nel corso degli ultimi anni, il lavoro congiunto e coordinato di CNTT, STT e RL ha consentito un notevole incremento delle iniziative di ricerca collaborativa e in conto terzi condotte con le imprese, protezione e valorizzazione della proprietà intellettuale, attività a supporto della creazione di *spin-off*. Alcuni di questi risultati sono mostrati nelle Tabelle 9.2 e 9.3.

Metric	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
licenses/options active at 31/12	8	11	17	16	19	22	32	31
licenses granted to Italian enterprises	6	11	12	12	13	16	30	28
licenses granted to EU enterprises	3	2	2	1	3	3	1	2
licenses generating revenue in year	4	9	5	6	6	3	9	7
licenses linked to a patent	2	1	2	5	8	11	19	17

**Tabella 9.2 – Licensing.** È evidente una crescita stabile del “licensing” nel corso degli anni

Metric	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
invention disclosures	18	15	21	15	11	24	14	14
confidentiality agreement	11	18	12	25	31	34	40	55
priority applications filed (Italy)	10	5	5	10	4	15	11	9
priority application filed	10	6	5	11	4	15	11	9
patents (applications and issued)	63	71	86	94	114	146	176	189

**Tabella 9.3 – Gestione della proprietà intellettuale**

Da questi e altri parametri della ricerca si evince come la collaborazione tra INFN e aziende garantisca a queste ultime un accesso privilegiato a nuove tecnologie ed un supporto alla loro attività di R&D con ricadute positive sia in termini di acquisizione di know-how che importanti impatti sull’acquisizione di quote di mercato.

Per quanto riguarda le attività di tutela della proprietà intellettuale prodotta dall’INFN, a partire dal 2020 l’istituto ha acquisito la capacità di gestire interamente la procedura di scrittura, deposito, mantenimento e difesa dei brevetti di proprietà grazie all’assunzione di una mandataria presso l’EPO (*European Patent Office*). L’introduzione di questa figura di alta qualificazione professionale, oltre a rendere inutile il ricorso alle altrimenti necessarie consulenze esterne, ha dimostrato la sua efficacia soprattutto nell’aver aumentato il grado di fiducia e confidenza da parte dei ricercatori e tecnologi riguardo al processo di tutela delle invenzioni.

Sulla base dell'esperienza acquisita il CNTT ha definito nuove regole per società *spin-off*, atte a favorire e razionalizzare la diffusione di nuove tecnologie INFN, con l'ottica di ottimizzarne la presentazione per il mercato industriale. Diverse nuove *spin-off* hanno visto la luce negli ultimi anni. In particolare, nel 2017 la prima società di *spin-off* dell'INFN, PIXIRAD, ha firmato un accordo per la sua acquisizione da parte della compagnia PANalytical, società olandese leader mondiale nella strumentazione per analisi e caratterizzazione dei materiali con tecniche ai raggi X. PIXIRAD nata nel 2012 da un gruppo di ricerca della Sezione INFN di Pisa, aveva l'obiettivo di portare sul mercato internazionale rivelatori di radiazione altamente innovativi e in grado di contribuire allo sviluppo sociale ed economico nei settori della radiologia digitale e dell'imaging industriale e scientifico.

Nel 2018 si è costituito Sybilla Biotech srl, *spin-off* dell'INFN, dell'Università di Perugia e dell'Università di Trento. Sibylla Biotech ha sviluppato una piattaforma innovativa per la scoperta di nuovi target farmacologici PPI-FIT (*Pharmacological Protein Inactivation by Folding Intermediate Targeting*) basata sull'identificazione degli stadi intermedi della proteina al fine di evitarne il *folding* e portare così la proteina alla degradazione. Avendo beneficiato nel 2020 di un importante investimento da parte di una società finanziaria, Sibylla Biontech srl ha fin qui conseguito in anticipo tutte le milestone previste nel suo piano di sviluppo, dedicandosi tra l'altro e con forte impatto mediatico alla lotta contro il Covid-19 e posizionandosi tra le migliori imprese startup del periodo. Nel 2022 Sibylla Biotech ha ricevuto un ulteriore finanziamento di 23 milioni di euro da parte di un consorzio di investitori specializzati in scienze della vita, che ha permesso di far progredire la sua pipeline terapeutica ed espandere la piattaforma tecnologica.

DORIAN Technologies s.r.l. è una startup innovativa lanciata nel 2020 a Genova, che sviluppa tecniche di imaging quantitativo ed intelligenza artificiale a supporto della diagnosi di alcune malattie neurodegenerative quali il morbo di Alzheimer, il Parkinson e altre malattie neurologiche. L'azienda è uno *spin-off* dell'INFN che eredita le conoscenze generate negli anni sotto le sigle di diversi esperimenti della CSN5 dell'INFN e nasce dalla continua e feconda collaborazione scientifica con partner di ricerca clinica.

BEAMIDE è, in ordine temporale, l'ultimo *spin-off* riconosciuto dall'istituto alla fine del 2021: la sua attività è orientata allo sviluppo di pacchetti software per effettuare simulazioni degli effetti di radiazione sui sistemi elettromeccanici: la società è in grado di utilizzare a fini commerciali il *know-how* sviluppato nell'ambito degli esperimenti AMS-01, AMS-02 e MC-INFN, finanziati dalle CSN2 e CSN5, in particolare presso la sezione di Perugia: in questi ambiti si sono acquisite una notevole esperienza e tecniche relative alla simulazione, costruzione e test di rivelatori di particelle complessi adatti per molteplici applicazioni, tra le quali le applicazioni spaziali e di *spaceweather*, per la quantificazione degli effetti di radiazioni sui sistemi e relativo sviluppo di tecniche di mitigazione.

Per la finalizzazione dei progetti di ricerca tecnologica INFN e per renderli una vera innovazione di mercato, il programma denominato R4I (Research for Innovation) è stato avviato nel 2018 con l'intento di analizzare le nuove tecnologie proposte dai gruppi di ricerca dell'INFN e sviluppare progetti mirati ad applicazioni di mercato. In molti casi, la fase di "avvicinamento finale" è gestita direttamente in collaborazione con società esterne, che aiutano principalmente a focalizzare gli sviluppi del progetto per soddisfare le richieste del mercato. Nel 2022 il programma è arrivato alla sua quinta edizione con 23 progetti finanziati, il 90% dei quali ha portato ad una valorizzazione delle tecnologie sviluppate attraverso licenze, cessioni di brevetto o creazione di *spin-off*.

Grazie alla notevole esperienza accumulata nella gestione pluriennale del programma R4I, nel corso del 2020 la proposta progettuale INTEFF presentata sul Bando *Proof of Concept* lanciato dal MISE si è classificata al quinto posto della graduatoria di merito (su più di 80

atenei e EPR partecipanti) ed è stata ammessa al finanziamento che permetterà di sviluppare otto importanti attività di prototipazione e avvicinamento al mercato di altrettante tecnologie brevettate dall’istituto.

In collaborazione con la commissione formazione nazionale è stato avviato un importante programma di formazione sul trasferimento tecnologico da svilupparsi nel triennio 2021-2023, articolato sia in attività di didattica a distanza (webinar in streaming e forum di discussione) sia in contenuti didattici multimediali sulle varie tematiche del trasferimento tecnologico (“Pillole di TT”) residenti sul portale web e usufruibili da tutto il personale in modo continuo. Il corso in modalità *e-learning*, organizzato su tre livelli (introduttivo, intermedio e avanzato) permetterà, a seconda del livello di fruizione, sia la diffusione delle conoscenze indispensabili per una corretta gestione dei risultati della ricerca da parte del personale di ricerca sia il consolidamento di competenze specifiche e, al livello avanzato, professionali, indirizzate alla comunità INFN che gestisce in modo diretto le molteplici e sempre più importanti relazioni con le imprese che oggi collaborano con l’istituto.

Questo sforzo formativo è ulteriormente reso necessario dal fatto che in importanti settori che vedono un alto coinvolgimento dell’INFN, in particolare tecnologie per lo spazio e costruzione di macchine acceleratrici, si stanno affermando forme di finanziamento a carattere commerciale (commesse) a discapito delle più tradizionali relazioni collaborative anche in contesti dove l’interesse scientifico dell’istituto rimane prevalente (ad esempio il bando ASI CubeSAT; attività inerenti al *Divertor Tokamak Test* e l’acceleratore Star 2).

## 11. LA VALUTAZIONE DELL'ENTE

L'INFN è sempre stato focalizzato sul controllo dei propri programmi di ricerca, grazie all'esistenza di diverse strutture che eseguono la valutazione ex-ante, in itinere ed ex-post di esperimenti e iniziative. Oltre alle CSN, che hanno i ruoli di valutazione scientifica e finanziaria, di verifica e di valutazione dei risultati conseguiti in itinere ed al termine dei singoli progetti, il CTS (Consiglio Tecnico Scientifico) ha un ruolo consultivo nella valutazione ex-ante nel caso di progetti di particolare rilevanza. Il CTS è composto da esperti internazionali e nazionali, tutti esterni all'INFN, ad eccezione del suo presidente. Il CTS valuta la congruità delle risorse umane e finanziarie e l'adeguatezza delle infrastrutture alle richieste dei progetti con maggiore impatto economico.

Fin dal 1997 l'ente si avvale di un CVI (Comitato di Valutazione Internazionale), che viene rinnovato ogni quattro anni, costituito da esperti internazionali, sia nei campi nei quali l'istituto conduce le proprie attività di ricerca, sia nei settori che sono interessati o connessi a tali attività, come quello industriale e produttivo o più in generale quello economico. Nessun ricercatore INFN, dipendente o associato, è componente del CVI. Il CVI redige annualmente un rapporto sulla qualità della ricerca INFN, in cui fornisce anche indicazioni e raccomandazioni per migliorarne la performance globale. Tale rapporto è inviato dall'INFN al MUR allegato al piano triennale.

Dopo gli ottimi risultati riportati dall'ente nelle VQR 2004-2010, e 2011-2014, nell'ultima VQR 2015-2019, i cui risultati aggregati sono stati pubblicati nell'aprile 2022 da [ANVUR](#), l'INFN è risultato primo tra i grandi enti per le attività di ricerca, con un valore dell'indicatore di qualità R pari a 1.074, e secondo per le attività di terza missione con R pari a 1.111.

A partire dal 2020 l'ente ha iniziato un processo di revisione del sistema di controllo e di valutazione delle attività gestionali e di funzionamento, sia nell'area amministrativa che nell'area dei progetti scientifici e tecnologici.

Un gruppo di lavoro del consiglio direttivo ha operato una profonda revisione del SMVP (Sistema di Misurazione e Valutazione della Performance) seguendo le linee guida dell'ANVUR e della Funzione Pubblica con le circolari pubblicate nel 2017 e nel 2019, adattandole alla specificità dell'ente. Nel SMVP approvato nel 2022 sono stati declinati gli *stakeholders* dell'ente, la valutazione individuale è stata estesa a tutto il personale con incarico di responsabilità e a tutto il personale tecnico ed amministrativo dell'istituto, è stato introdotto un progetto pilota per la valutazione dei direttori delle strutture ed infine è stata elaborata una più puntuale definizione dei parametri di valutazione del personale. Il controllo e la verifica delle attività gestionali e amministrative e l'aderenza dei documenti programmatici dell'istituto al dettato normativo sono affidati all'OIV (Organismo Indipendente di Valutazione), rinnovato nel corso del 2021. Il PIAO (Piano Integrato di Attività e Organizzazione) riferito agli anni 2022-24, introdotto dal D.L. n.50/2021 art. 6 e definito nei contenuti dal decreto del Dipartimento della Funzione Pubblica n.132/22, è stato approvato con delibera del consiglio direttivo n. 16330 del 23 giugno 2022. Pertanto, per l'anno 2022, il ciclo di valutazione della performance dell'istituto, parallelamente alla valutazione dei dirigenti e di tutto il personale, ha avuto durata temporale ridotta. Nel corso del 2021 l'INFN si è dotato di un prodotto software per la gestione della performance organizzativa e di funzionamento complessiva dell'istituto e per la gestione della performance individuale dei dipendenti. Nel corso del 2022 il prodotto è stato interfacciato con le banche dati dell'istituto per poi essere messo in produzione per il ciclo della performance 2023.

Nel 2018 un GdL (Gruppo di Lavoro) del consiglio direttivo è stato istituito con il mandato di studiare ed adattare pratiche di PM (*Project Management*) e di QA (*Quality Assurance*) nei cicli di approvazione e gestione dei progetti scientifici e tecnologici dell'INFN. Le proposte del GdL sono state accolte ed approvate. Il consiglio direttivo ha considerato terminato il mandato del GdL ed ha costituito il CNPM (Comitato Nazionale di Project Management) con il compito di attuare le proposte approvate, di configurare i software gestionale e di procedere con la formazione del personale. Il comitato ha provveduto alla configurazione del sistema di gestione documentale, alla definizione dei flussi di validazione, controllo e approvazione dei documenti e la configurazione dei software gestionale. Un portale web dedicato permette un facile accesso alle informazioni tecniche ed al materiale informativo. Nel 2021 è stato avviato un piano di formazione dei dipendenti in materia di PM e QA con 3 corsi di livello base, che hanno visto la partecipazione di quasi 140 tra ricercatori e tecnologi, e un corso avanzato di secondo livello per circa 20 tecnologi. Il piano formativo dal 2022 è andato a regime con due corsi base e due corsi dedicati all'uso ordinario ed all'uso da amministratore dell'applicativo *Microsoft Project Professional* adottato dall'istituto. L'utilizzo di metodologie di PM e di QA è ormai consolidato nell'istituto per tutti i nuovi progetti e, progressivamente, anche i progetti approvati negli anni passati saranno seguiti e valutati tecnicamente con le stesse metodologie. La formazione e l'aggiornamento del personale sarà curata per tutta la durata del presente PTA.

# Annual Report to the President of the INFN

## Il Comitato di Valutazione Internazionale (CVI)

L. d’Agnese, CDP, Italy; M. Bosman, IFAE, Barcelona, Spain; A. Brandolini, Banca d’Italia, Italy; I. Dillmann, TRIUMF, Canada; R.K. Ellis, University of Durham, UK; W. Hofmann, MPI Heidelberg, Germany; A. J. S. Smith, Princeton University, USA (chair).

November 2022

### ***Introduction***

The 2022 annual CVI meeting was held in Bari the 12<sup>th</sup> through 14<sup>th</sup> of October. Our charge was to evaluate the quality of INFN’s programs and management: National Scientific Commissions (CSN’s), Technology Transfer group, National Laboratories and Central Administration, and to advise on priorities in allocating resources. We wish to thank the INFN leadership and staff for the superb planning and hard work in arranging a most efficient and productive meeting. As has been our recent practice we now carry out comprehensive biennial reviews of the four national laboratories -- this year LNS and LNL. Our recommendations are compiled in Appendix I. Last year’s comments and recommendations on LNF and LNGS are included in Appendix II for reference.

For next year’s CVI meeting, in addition to the standard presentations we would like to have presentations on performance evaluation, and on the status and outlook for INFN’s PNRR projects.

### ***Executive Summary***

**Perspectives and Strategy:** INFN has been very successful again this year. The portfolio of programs is outstanding, with a mix of very large, medium and small projects and a remarkable level of leadership that is unmatched. The strategy is to continue to support ongoing activities and national laboratories within the current budget, while securing additional investments to support new science opportunities. INFN’s wise choice of projects to submit for PNRR has led to great success: Infrastructure to speed up flagship activities: KM3NET, Advanced photon source for EUPRAXIA, preparations for ET, etc; and ICSC puts INFN in a leadership position for high performance computing in Italy.

The excellence of INFN has been publicly recognized in the VQR exercise (the national evaluation of public research bodies carried out by ANVUR), where INFN ranks in the top positions according to all significant indicators. INFN should promote its record of excellence to the new ministers, as this could be an excellent way to persuade them that INFN warrants the funding it receives. Exciting initiatives in high performance computing (HPC), quantum computing, and life sciences make the case for the importance of INFN’s basic research and its synergy with the more applied PNRR programs. These projects will open new windows, and partnerships will benefit from INFN expertise.

**Central Administration:** The INFN central administration has undergone important organizational changes since 2020. Broadly speaking, the CVI appreciates the effort “to modernize” administration. In future meetings, the CVI would like to be updated about the functioning and results of the Directorate of Research Services as well as about the INFN policy concerning individual performance assessment.

**CSN1 - INFN makes high quality contributions and plays a strong leadership role in a broad set of experiments.** The resources and number of FTEs are stable. The section is well managed with regular thorough review of the projects. The LHC recently started Run 3 after a three-year shutdown with important upgrades of the detectors successfully completed on time. Experimentally observed anomalies in flavour physics were a focus of increasing interest in recent years. A new R&D programme, Flavour\_RD, has been set-up to study future experimental opportunities. The broad experimental program on charged lepton flavour violation is in general progressing well. INFN’s leadership record and contributions to scientific production of all CSN1’s experiments are excellent. However, several

*threats originating in the Ukraine crisis may affect the future. The sizeable Russian contribution to the Phase-II upgrade of LHC detectors for the high luminosity LHC, expert manpower for detector operation and contributions to computing may not be delivered, potentially generating additional costs and delays. The increase of electricity cost may impact accelerator running time and operation of computing centers.*

**CNS2** encompasses a healthy and well-managed mix of experiment scales and topics, from table-top experiments to huge installations, with a good balance between established projects, new initiatives and R&D activities. The number of researchers in CSN2 keeps growing steadily and Italian scientists make key contributions to wide range of important experiments. PNRR funds for LNGS, KM3Net, CTA and ET give a tremendous boost to key CSN2 activities and to astroparticle physics and multi-messenger astronomy as a whole. At the same time, a major difficulty for some of CSN2's experiments arises from the loss of Russian suppliers for rare gases, enriched isotopes, crystals, and other special materials. Upcoming critical site decisions for the Einstein Telescope (ET) but also for major next-generation  $0\nu\beta\beta$  experiments merit strong engagement and high-level support.

**DS20k** - With the support of the special review committee appointed by the INFN President, Darkside-20K has made significant progress towards finalizing the design of the detector, completing the TDR documentation and the cost book, and defining construction milestones. Approval of NSF funding represents a big step towards closing the funding gap. Nevertheless, a number of critical issues remain, such as the timely delivery of Underground Argon via the Urania and Aria facilities. We are concerned that the project is still not baselined, as the ongoing process could reveal further delays and cost increases.

**CSN3** continues to provide a high science output across all six interconnected research lines, and also in cooperation with different CSN sections. Two of the radioactive beam facilities (LNS and LNL) are still being upgraded and will within the next 3-5 years provide exciting new scientific opportunities for Nuclear Physics and Applied Research fields in Italy. Four well-attended workshops at the national laboratories (up to 280 participants) aimed at discussing the mid-term plans for the Italian Nuclear Physics community and to identifying more synergies between the different groups. The AGATA array has now been installed at LNL and carried out the first experimental campaigns. This powerful detector setup will steadily be upgraded during its stay in Italy- also with a large INFN contribution- to become the most powerful gamma-tracking array in Europe.

Synergetic efforts for future detectors R&D at CERN (ALICE3, NA60+) and the planned Electron-Ion Collider (EIC) in the USA have been identified. However, some of these R&D projects are on a tight schedule and require fast commitment of "special funding" from INFN.

**CSN4** - The Theoretical Physics program undertaken by INFN collaborators is one of the strongest in Europe, and has at least as great impact as the other scientific powerhouses of Europe, such as the UK or Germany. A particular strength of the Italian program is the close collaboration between experiment and theory. For a relatively small annual budget (INFN staff costs+3M€) the theory program contributes greatly to the success of the INFN experimental program.

**CSN5** plays a fundamental role in fostering interdisciplinary activities, collaborations across committees, and applied physics research. The CVI is very pleased with the competitive assignment of internal funds after rigorous evaluation. "Grants for young researchers" are especially important, despite their relatively low share in the budget: the CVI recommends that an assessment of the program be conducted both from the perspective of the benefits to INFN as research agency and of the benefit to the grant-winners.

**KTT** - In consideration of the extensive re-organisation of the INFN Knowledge and Technology Transfer Program (KTT), this topic deserves to be explicitly included in next year's agenda.

**LNS** -With its priority projects: the POTLNS upgrade, the PANDORA plasma trap, and KM3Net, but also with the I-LUCE studies of laser-accelerated beams, LNS is building up facilities that will provide excellent and innovative science opportunities across a diverse range of science topics. The delays in implementing POTLNS and in particular the non-conformities of the industrially manufactured cyclotron magnet are a concern and call for appropriate strategies and fall-back plans. Knowledge transfer between retiring and new staff remains a challenge; the break in accelerator operation has, however, been used to establish a more flexible and efficient organization of personnel. Timely completion of the PNRR-enhanced KM3Net sensor assembly and deployment is demanding. Given that the technology and procedure are mature, completion is within reach with effective project management and focus of resources.

**LNL** is in a critical phase but on track to complete the SPES radioactive beam facility installations within the next 3 years. Construction deficiencies in the building have been identified and the problems are mitigated. Once all missing permits are in place (within the next months), further commissioning of the new cyclotron for radioisotope production can continue to allow operation at full power. The understaffing in safety-critical positions remains a concern which can only be solved with a rigorous hiring plan and succession planning over the next 10 years. This requires continued joint efforts and support from both the LNL and the INFN Management. The AGATA setup, a high priority project of the European Nuclear Structure Community, has been relocated to the lab and successfully started operation in April 2022. Delays at other facilities might warrant another extension of the physics program at LNL beyond 2025.. The tender for a new Data Center, important not only for the LHC Tier-2 Computing Center but also for data acquisition of experimental setups like AGATA, is ongoing. Building construction should start in early 2023 and allow completion and operation within 12 months. The medical isotope production projects LARAMED and ISOLPHARM have a high societal benefit and will be future flagship programs for the lab and INFN. A timely completion of the lab installations will allow a quick start of these programs in the early SPES phases.

## **PNRR**

The last three hours of the meeting were devoted to PNRR, with the basic goal to inform the CVI and hear our reaction to this exciting major opportunity. First and foremost we note that INFN has been extremely successful in attracting funds for projects under the auspices of the PNRR program, in all four categories: National Centres(1), Infrastructures(9), Ecosystems for Innovation(5), and Extended Partnerships(3). This is testimony to the INFN's success in managing large projects in the past.

The 320M ICSC project will enhance the performance of IT infrastructure for Italian research while offering new opportunities to integrate data analysis in both academia and business, while strengthening the overall security of the system. The various infrastructure projects will enable INFN to maintain and upgrade its world-class national laboratories and accelerate completion of major projects like KM3NET. INFN expertise could be decisive in advancing applications of superconductivity and quantum computing, and its extended partnerships will greatly benefit from INFN's management experience. Modest schedule extensions would greatly benefit many of the projects and reduce risks.

Within PNRR-funded projects, ICSC stands out as a key infrastructure for the entire research activity in Italy, aiming at offering services in High Performance Computing and Big Data analysis to academic and private sector institutions. INFN will play a leading role in the overall project management and infrastructure building, leveraging its extensive capabilities in management of large research projects. A challenge for the project is the development of a funding model after the 2022-2026 period when PNRR funds will expire. INFN has developed an initial hypothesis entailing the acquisition of revenues on the private market for cloud-based computing services, but significant management attention should be devoted to make sure that a full-fledged business plan is developed.

---

## **Perspectives and Strategy**

President Zoccoli summarised the current status of budget and staffing, and presented his outlook for the future. This has been a stable year for INFN, with a 2021 budget of 383M€ (261M bases + 162M one-shots), with an increase in store for 2022. However, inflation will be a challenge, as will keeping personnel costs below 50%. Multiyear infrastructure funds from PNRR, 300-400M to be spent over 3 years, will have a huge impact, in addition to funds in hand for Eupraxia (108M), CINECA (120M with 50% co-financing with EuroHPC), and the 12-year INFN infrastructure project (160M). The strategy is to continue to support ongoing activities and national laboratories within the current budget, while securing additional investments to support new science opportunities, e.g. Darkside, DUNE, ET and novel technology R&D (Superconductivity, Quantum initiatives).

Approximately 6000 personnel are engaged in INFN activities: ~2000 have permanent positions, with 163 on fixed-term contracts. The permanent staff consists of ~33% researchers, ~31% technicians, ~19% technologists and ~15% administrative staff; in addition ~1500 young researchers are supported by PhD grants, research grants and postdoc scholarships. The age distribution is healthy, but stability is threatened by a recently imposed 60% increase in the cost of new postdoc contracts.

The Ukraine/Russia situation is having various impacts. The loss of Russian involvement has resulted in unavailability of expertise, resources, and special materials (titanium, enriched isotopes, etc.). Though somewhat mitigated by decreased consumption, increased energy costs are also worrisome (especially for the national laboratories) and could even triple in the future to 35M.

INFN is a major player in the European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI), competing for two projects prominent on the 2021 Roadmap: EUPRAXIA and ET, and the Italian government has guaranteed 350M in support of ET if the Italian site is selected.

As mentioned above, PNRR is having major impact. INFN's sensible and successful strategy has been to secure projects related to its core activities and where possible, technologies that could be transferable: so far approvals include IRIS (60 M), KMNET (67M), ET (50M), ICSC (320M +41M Cloud infrastructure). The goal is to hire ~200 new people to accomplish the projects, and to devise a plan for stability after the PNRR projects are completed. Modest schedule extensions would greatly benefit many of the projects and reduce risks.

### **Comments:**

INFN has been very successful again this year. The portfolio of programs is outstanding, with a mix of very large, medium and small projects and a remarkable level of leadership that is unmatched. They have made a wise choice of projects to submit for PNRR with great success: Infrastructure to speed up flagship activities: KM3NET, Advanced Photon Source for EUPRAXIA preparations for ET, etc.; and ICSC puts INFN in leadership position for high performance computing in Italy. One caveat: ET preparations should not interfere with the ongoing VIRGO runs.

*The excellence of INFN has been publicly recognized in the VQR exercise (the national evaluation of public research bodies carried out by ANVUR), where INFN ranks in the top positions according to all significant indicators.* INFN should promote its record of excellence to the new ministers, as this could be an excellent way to persuade them that INFN warrants the funding it receives. Exciting initiatives in high performance computing (HPC), quantum computing, and life sciences make the case for the importance of INFN's basic research and its synergy with the more applied PNRR programs. These projects will open new windows, and partnerships will benefit from INFN expertise. It could help to have statistics showing how INFN's performance compares with CNR and other relevant institutions.

## **Recommendations**

**P&S-1:** INFN has a great story to tell and should make sure to transmit it in a way that resonates with the government, industry and the public (a few suggestions are given above).

**P&S-2:** INFN should compile data on their success in winning ERC grants, and use it to show how the number of grants has varied with time, and how Italy and the INFN compare with other countries.

**P&S-3:** INFN should consider providing professional grant-writing support.

## ***Central Administration (CA)***

The INFN central administration has been undergoing important organizational changes since 2020. Among them we have taken note of the full outsourcing of payroll and human resource management from January 2023 and the reduction of high-level positions in the administration, which should be conducive to a less horizontal structure. These points were raised in the CVI Reports for 2020 and 2021, respectively. More broadly, there is a noteworthy determination of INFN to digitalize administration processes and procedures. We are pleased with the ongoing customer satisfaction survey, recommended in the CVI Report for 2019, which may play an important role in enhancing service quality as well as fostering collaboration between researchers and administrative staff, which is key to a proper functioning of INFN. Overall, we appreciate the effort “to modernize” the administration.

The PNRR initiative has had a huge impact on INFN, as discussed below in this Report. We understand that hiring a consultancy agency to help with PNRR administrative burden was necessary in this frantic phase in the light of extant administrative weaknesses. On the other hand, we acknowledge that this might be an opportunity to develop internal abilities and skills.

In previous CVI reports we underlined the importance of creating the Directorate of Research Services (DRS) and expressed some surprise that an autonomous structure had not been foreseen before in the INFN. In the currently very competitive research environment, supporting investigators along the whole grant process is definitely a highly specialized activity that requires specific skills and knowledge and takes considerable time. In 2022, little information was provided about the DRS, apart from noting that it is understaffed. Given its importance, we would like to know more about its functioning and results.

The Director General raised the issue of individual performance assessment as regards employees at the 4<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> levels. However, the assessment of individual performance is a much broader issue, particularly important for an institution pursuing research excellence like the INFN: it might matter for wage bonuses, promotions, career progression, etc. We are fully aware that this is a very sensitive issue with staff and unions but remain most interested in knowing more about the current INFN policy concerning individual performance assessment, if any, and whether there is any intention to develop a different policy. Moreover, we wonder whether there is any link between the VQR exercise (which we understand to be an assessment at the institute level) and the assessment of individual performance.

**Recommendations:** None

## ***CSN1 – Particle Physics at Accelerators***

Over 800 FTEs are assigned to CSN1 to manage activities in particle physics at accelerators, with an annual budget of 20 M€ complemented by 3.5 M€ for high-luminosity LHC detector construction. Personnel and budget levels have been stable in recent years. About 60% of the resources are dedicated to the LHC, while the rest covers experiments at other accelerators addressing flavour physics, charged lepton physics, proton structure and R&D for future accelerators.

The LHC recently started Run 3 after a three-year shutdown for important maintenance and installation of upgrades to the detectors. Despite difficulties related to COVID, the large and complex Phase-1 upgrades of ATLAS, CMS and LHCb were successfully completed on schedule, as seen by early results on detector commissioning. Run 3 is expected to last until the end of 2025, with ATLAS and CMS

collecting twice the existing amount of integrated luminosity and LHCb quadrupling it. Preparations for Phase 2 LHC upgrades are ongoing, with installation starting in 2026 under a revised schedule. Run 3 computing needs should be covered, the CNAF relocation project is going well, and intensive R&D in computing has led to a more manageable model for the high luminosity phase.

In general, INFN's leadership record and contributions to scientific production of all CSN1's experiments are excellent. Experimentally observed anomalies in flavour physics have been a focus of increasing interest in recent years. Many results have been collected, among others by LHCb, Belle-II, BES-III. An upgrade of NA62 resulted in a much-improved background level. CSN1 has set up a new R&D programme (Flavour\_RD) to study current and future experimental opportunities to contribute to flavour physics, including at the FCC-*ee*. The broad experimental program on charged lepton flavour violation is in general progressing well, despite a few delays. Further diversification of CSN1's particle physics program at accelerators could be achieved by including future large accelerator-based neutrino experiments currently under CSN2, like DUNE (USA), Hyper-Kamiokande (Japan) and Juno (China).

Several problems that may affect the experimental program during the coming years will require close follow-up by INFN. Most serious, the Ukraine crisis may have important consequences: a) The significant increase of the cost of electricity may impact the running time of accelerators and operation of computing centers. Already the LHC has cancelled a two weeks Pb-Pb run at the end of 2022, b) The Russian contribution to the large LHC detectors amounts to 10%. It covers construction of Phase-2 detector elements for the upgrade, many experts needed for operations, and a significant contribution to computing. Its future is uncertain and may generate increased cost for the experiments. c) Instabilities in the CHF/Euro exchange rate changes create additional tension in the budget.

## Recommendations

**CSN1-1** INFN should strongly engage in shaping the strategy of CERN and the LHC experiments to promptly address and mitigate the many implications of the Russian crisis.

**CSN1-2** CSN1 should emphasize their strong leadership in various areas of the LHC Phase-2 upgrade, anticipating the eventual need of contingency resources. They should make sure to communicate clearly to the funding agency and society the excellence of their research and its long-term positive impact on society.

**CSN1-3** INFN should evaluate the possibility of moving the large accelerator-based neutrino experiments from CSN2 to CSN1, carefully considering all implications and the input of all parties.

## **CSN2 – Astroparticle Physics**

The portfolio of CSN2 covers the full spectrum of astroparticle experiments, grouped into the thematic areas of (i) Neutrino Physics, (ii) Radiation from the Universe, (iii) Studies of the Dark Universe, and (iv) Gravitational Waves. Part of the work is carried out in space in close collaboration with the Italian Space Agency. CNS2 encompasses a healthy mix of experiment scales and topics, from table-top experiments to huge installations, with a good balance between established projects, new initiatives and R&D activities. The Darkside 20K experiment is of sufficient scale and complexity that we have devoted a separate section to it below.

Italian scientists make key contributions to a wide range of important experiments. They are highly visible in leadership roles in international collaborations: close to 40% of leadership roles are held by INFN personnel. The number of researchers in CSN2 keeps growing steadily, from 2016 to 2022 by a factor 1.5, demonstrating the attractiveness of the field. Similarly, the number of publications from CSN2 shows a steady rise. A significant increase in the number of bachelor and masters theses in recent years demonstrates efficient engagement of young scientists. Among the many science highlights we mention here only the CUORE record limits for neutrinoless double beta decay from 1 T yr exposure, with 2 T yr of data already in hand; the first science publications from the CTA LST telescope on La Palma; XENON-nt demonstrating a record low background and showing that the low-energy excess observed in XENON-1t was likely caused by traces of tritium; the wealth of results on black-hole (BH) Merger and BH statistics, as well as neutron star-neutron star mergers from the Virgo O3.

PNRR funds give a tremendous boost to key CSN2 activities and to astroparticle physics and multimessenger astronomy as whole, with the refurbishment and upgrading of LNGS infrastructure, future-proofing the laboratory and enhancing the quality of service for LNGS users; the additional KM3Net strings, allowing realization of nearly 2/3 of ARCA; and the contribution of 3 LST telescopes and additional SST telescopes to CTA, restoring CTA South as the full-energy-range observatory that was originally planned, and greatly increasing its capabilities. The latter project is INAF-led but with strong INFN involvement. Long term sustainability & follow-up costs are a general concern, but seem to be sufficiently addressed for these projects. PNRR also provides important support for R&D on the Einstein Telescope (ET) and the Sardinia site candidacy.

The situation in Ukraine / Russia impacts experiments, in terms of loss of expertise and manpower (which seems manageable), and loss of suppliers for rare gases, enriched isotopes, crystals, and other special materials (which is extremely critical). For example, the CUPID neutrinoless double beta decay experiment is fully stalled for lack of enriched  $^{100}\text{Mo}$ , and the DarkSide 20K Titanium vessel has to be replaced by a stainless-steel vessel. A number of projects under installation or commissioning suffered delays due to COVID, but are now generally proceeding well.

The general strategy, review procedures and project follow-up within CSN2 work well, and to optimise its portfolio CSN2 is appropriately terminating some projects, in line with earlier CVI recommendations. For large projects or projects in critical stages, intense reviews such as provided by the Forti committee for DarkSide 20K, including external experts, are very helpful and set an excellent example & standard.

Our concerns include:

- the information that cooperation with China on space experiments is under political re-evaluation, with potential severe consequences for major projects such HERD;
- the fact that the percentage of female coordinators / PIs in CNS2 seems decreasing over the last years;
- the continued lack of open information about DAMA data and backgrounds, greatly undermining the credibility of the experiment, and its value for science. Open and transparent data are a key aspect of modern science.

### **Recommendations:**

**CSN2-1:** For the long term, laboratories and agencies should consider developing a common strategy to secure stable, reliable and affordable supply chains for materials such as enriched isotopes, rare gases and crystals

**CSN2-2:** LEGEND-1000 is preparing for the DOE CD-1/3A with LNGS and SNOLAB as alternative sites. INFN should work with European agencies involved in the project to generate attractive conditions for hosting LEGEND-1000 at LNGS.

**CSN2-3:** The decision to create a German Center for Astrophysics in Lusatia – with very significant resources – is a significant push for the ET project and adds a new player in the game. INFN and Italy should develop their strategy in this context and seek strategic alliances.

### ***Darkside 20K***

Since the last CVI meeting, and with the advice by the special review committee appointed by the INFN President (“Forti Committee”), Darkside-20K has made significant progress towards finalizing the design of the detector, completing the TDR documentation and a preliminary cost book, and defining construction milestones. The committee (which we recommended last year) has had a major and positive impact on the evolution of the project, and its continued in-depth reviewing and detailed recommendations are extremely beneficial both for INFN and DarkSide 20K. A significant step is the formal approval of NSF funding. A Resource Review Board was established and had its first meeting. Critical positions in

the organization chart were recently filled, in particular the Project Construction Director (Marzio Nessi, 1/4 time), and the Deputy Director, Andrea Zani (near full time). Project management is being formalized, with tracking milestones for monthly tracking/reporting and regular schedule updates.

A major design modification concerns the radio-pure vessel for the Time Projection Chamber. Instead of being formed from titanium, it now has to use selected stainless steel because the titanium required is unavailable because of the Russia-Ukraine conflict. Background estimates remain acceptable provided low-activity stainless steel can be obtained and is not contaminated during production. Vendor selection and qualification are in progress, but production will require continuous monitoring and attention.

#### Concerns:

- Issues with China are impeding procurement of the Gadolinium-doped veto shield, and could result in delays and/or cost increases.
- Installation of the Urania facility has been long-delayed and on the critical path, but crucial agreements were finally signed.
- Occupancy of the NOA facility for producing the Photo Detection Units (PDU's) continues to slip for reasons we do not fully understand.
- The cost and schedule of Darkside 20K are still not baselined and major uncertainties remain. The baselining process could reveal significant delays and significant cost increases. Inflation is likely an additional concern.

#### Recommendations:

**DS-1:** The interfacing with LNGS regarding the installation of DS20K, the definition of interfaces towards the infrastructure and of the mutual responsibilities, and the daily coordination have improved, but a) Documentation needs to be finalized and processes streamlined; and b) Wherever possible, INFN and LNGS should require approved cost and schedule baselines before committing long-term resources.

**DS-2:** LNGS, DarkSide-20K and INFN management need to do whatever is needed to get the NOA facility producing PDU's.

**DS-3:** Reaching the design performance is crucial for the success of DarkSide-20K; the experiment must absolutely avoid any shortcuts that could endanger quality and radiopurity of components.

**DS-4:** DarkSide-20K sensitivity plots based on “full volume” and 20 years exposure may give an over-optimistic view, compared to more conservative sensitivity estimates of other experiments. The collaboration should produce an updated explanation of their sensitivity estimates and of the background assumptions and measurements on which they are based.

## CSN3 – Nuclear Physics

*Note: For a detailed discussion of the status and scientific highlights from the three affiliated national laboratories (LNS, LNL, and LNGS), please refer to their respective sections.*

The research portfolio of CSN3 spans the four INFN national laboratories, a multitude of Italian universities, the CERN LHC, Jefferson Lab, and international radioactive beam facilities. In addition to fundamental nuclear physics research, application-oriented interdisciplinary research is being pursued in hadron therapy, biomedicine, matter/antimatter studies, and quantum physics. CSN3 consists of 24 activities within six strongly interconnected research lines: *Quarks and Hadron Dynamics; Phase Transitions in Hadronic Matter; Nuclear Structure and Reactions; Nuclear Astrophysics; Symmetries and Fundamental Interactions; Applications and Societal Benefits*. The number of FTE's working on CSN3 projects remains constant (~500 FTE) but the overall number of people has increased steadily to 900, highlighting the cross-disciplinary work of nuclear physicists with other CSN projects. The base funding (assignments) is fluctuating around 6 MEuro, plus ~3 MEuro for “Mission” and “Specific” funding (with changing ratios).

ALICE ( $\sim 130$  FTE) and GAMMA ( $\sim 50$  FTE) represent the two largest projects, while 8 smaller projects have  $\leq 10$  FTE. New rules have been implemented to track projects towards the end of their research program and/or with very low FTE, along with increased effort to merge projects with technological synergies into focus groups, as has been successfully done for the “Low-Energy Antimatter” (LEA) projects and is now being investigated for the projects JLab12, EIC, and MAMBO. Facility upgrades at LNS and LNL are still ongoing, while the LUNA-MV accelerator is now being commissioned and will start operation in 2023.

CSN3 hosts two ERC Starting Grants from external young scientists (University of Naples and University of Edinburgh/ UK) which perform experiments at the LUNA accelerators. Given the exciting scientific programs, efforts should be made to identify more “champions” to push forward ERC Grant applications.

AGATA (Advanced GAMma Tracking Array), a high-priority, travelling detector array of the European Nuclear Structure community funded by 12 countries, has been installed at LNL and started taking data in April 2022. It is presently operated with  $1\pi$  geometry (up to 15 Triple Clusters). The installation at LNL foresees a maximum of  $2\pi$  angular coverage (corresponding to 27 TC and three empty spots for the beamline). The mid-term plan, for which the MOU has been signed, is the purchase of 25 new TC detectors to achieve  $3\pi$  geometry (45 TCs) by 2030. Recently, the AGATA steering Committee approved the extension of AGATA at LNL for two more years (until 2025).

A big effort of the whole CSN3 community in 2022 was dedicated to the “*Nuclear Physics Mid-Term Plan in Italy*,” featuring well-attended workshops at LNS, LNL and LNGS, with an upcoming workshop at LNF focused on future nuclear physics at LNF with DAΦNE and EUPRAXIA, and detector technologies. These workshops are an important occasion for the Italian and international Nuclear Physics Communities to strengthen collaborations and plan for exploiting upcoming new facilities.

The Electron-Ion Collider (EIC) has achieved major milestones in 2021 with the publication of the Conceptual Design Report (CDR) and a Yellow Paper. INFN scientists are contributing strongly to the ATHENA (“*A Totally Hermetic Electron-Nucleus Apparatus*”) proto-collaboration for the design of a detector that covers the whole EIC physics program, led by Silvia Dalla Torre from INFN Trieste as spokesperson. However, a Detector Proposal Advisory Panel by Brookhaven National Laboratory and Jefferson Laboratory has selected the ECCE (“*EIC Comprehensive Chromodynamics Experiment*”) proposal as the reference design for the first EIC detector. Efforts are now underway to merge the two proposals into the “EPIC” project. INFN has taken a leading role in the silicon tracker and the dual-radiator Ring Imaging Cherenkov (dRICH) detector, with R&D efforts estimated to be  $\sim 1$  MEuro until 2025/26.

INFN groups have identified synergies on detector R&D activities between the new ALICE Inner Tracking System (ITS3) and future ALICE 3 detectors ( $>2033$ ), the EIC ATHENA detector developments, and the NA60+ upgrades at the CERN SPS. This includes common technologies like MAPS (Monolithic Active Pixel Sensors), radiation-hard SiPMs (silicon photomultipliers), etc. which also have very similar development timelines.

The LHC Experiment Committee (LHCC) has endorsed the R&D program for ALICE3 for monolithic timing detectors and photon sensors with integrated fast electronics, and CSN3 groups have the possibility to take leading roles in both projects (MAPS as well as RICH detectors with aerogel and SiPMs). These technologies will have a strong involvement of Italian industrial partners, and a detailed proposal will be presented in fall 2022. Prototypes should be ready by 2025/26 for the final ALICE3 TDR. Discussions with INFN management are ongoing to fund these prototypes at 2.5-3 MEuros for 3 years.

## **Recommendations:**

**CSN3-1:** Secure time-critical “Special” funding (3 MEuro until 2025/26) for the R&D phase of ALICE3 detectors. Discuss with INFN management and other CSNs about faster procedures for getting larger funding for high risk-high reward R&D projects.

**CSN3-2:** Identify more “champions” for ERC grant applications to secure additional funding and attract more researchers to INFN projects.

## ***CSN4 – Theory***

The work of the theoretical committee is divided into 6 scientific lines (the percentages in parentheses give the number of FTEs in each line.)

- 1) Strings and Field theory (28.5%)
- 2) Particle Physics Phenomenology (16.5%)
- 3) Hadronic and Nuclear Physics (7.6%)
- 4) Mathematical Methods (13.7%)
- 5) Astro-particle Physics and Cosmology (12.4%)
- 6) Statistical and Applied Field theory (1.3%)

The publication record, as estimated using bibliometric data, is in line with previous years, and even somewhat improved. CSN4 participates in the training of young people by teaching activities of the INFN staff, and through 5 schools at the GGI Institute in Florence and directly. The lifeblood of the theoretical physics program is the entry of smart young researchers. INFN facilitates this activity by funding PhD fellowships. Because of the savings in travel funds due to the Covid emergency, the INFN-CSN4 was also able to offer 16 new post-doctoral positions in 2021, higher than the number offered the previous year. Although new legal requirements may increase the cost of hiring post-docs, every effort should be made to maintain the number of these positions.

An outstanding problem in CSN4 is that the percentage of female researchers, currently ~ 15%, is significantly lower than in the other CSNs, even lower if only researchers with permanent contracts are counted. We take note of the measures taken to help redress this imbalance: INFN has adopted a Gender Equality plan in 2022, an Affirmative Action plan in 2019, and has also created the Baldo-Ceolin prize for theoretical master theses by female authors. We encourage CSN4 to be mindful of the gender imbalance in all aspects of its work. Achieving true gender equality will require persistence.

We note the strong theoretical support in planning for the EIC and MUonE experiments. The proposed Einstein Telescope (ET) will explore black-hole systems and their environment, neutron star mergers and strong field gravity with unprecedented precision. Interpretation of ET data will require sophisticated theoretical modelling, currently performed in *iniziativa specifiche* TEONGRAV and IMDARK. Investment in this theoretical work will allow INFN scientists to take ownership of the science and attract young people to the field, even in the event of an adverse site decision.

## **Recommendation**

**CSN4-1:** In view of the bid to host the Einstein telescope, CSN4 should try to further raise the profile of forward-looking theoretical preparations for gravitational wave physics.

## ***CSN5 – Technological and Interdisciplinary Research***

CSN5 coordinates advanced technological research for INFN core experimental activities and promotes the development of instruments, methods and techniques for fundamental physics and their application in other fields. Its activities involve about 600 FTEs and have a significant social and economic impact (e.g. medical imaging, cancer therapy, environment and cultural heritage analysis and protection).

Traditionally CSN5 has three research lines, which however may overlap. Fund allocation is relatively stable over time across the research lines: “detectors, electronics and computing” accounted for 48 per cent of the budget in 2021, “accelerators and related technologies” for 21 per cent, and “interdisciplinary

physics” for the remaining 31 per cent. Funding is organised in three project categories: Standard experiments (62 per cent of the 2021 budget), Calls for proposals (26 per cent) and Grants for young researchers (12 per cent). Standard experiments account for the core of CSN5 research: they aim to foster new ideas, high risk-high impact projects, seed projects and medium-small experiments supporting wider activities. Calls for proposals select exceptional and very challenging projects involving high numbers of researchers.

We have taken note of the good gender balance among CSN5 coordinators (44% female, although less than a third of the total FTEs are women) and of the improving performance in scientific production, both in absolute terms and per FTE. We greatly appreciate the CSN5 emphasis on fostering interdisciplinary activities, collaborations across committees, and applied physics research. We are very pleased with the competitive assignment of internal funds after rigorous evaluation, and understand that this extends to different stages of the projects. For instance, we regard the refusal of requests for the extension of projects, when not clearly motivated, as a good disciplinary device.

As in past years, we are particularly interested in the “Grants for young researchers.” Despite the relatively small size of the overall CSN5 budget, Grants are an important tool to foster future excellence and attract brilliant young researchers, which is particularly important in view of the ageing of INFN staff. Since Grants have been running for several years, the time is ripe for an assessment of the program. Such an assessment should adopt a twofold perspective:

- i) *INFN as research agency* – Is the scheme effective in attracting first-rate young scientists? What is the relationship, if any, with ERC or other similar competitive funding? Do INFN Grants act as a “stepping stone” in getting future external funding or could they discourage efforts to obtain additional funding? Do Grant-winners remain with the INFN or do they move to other national or foreign institutions?
- ii) *Researchers* – Is the post-Grant performance of researchers who have been awarded a grant better than the performance of comparable researchers?

### **Recommendation**

**CSN5-1.** Plan a review of the “Grants for young researchers” scheme and report on it at the 2023 CVI meeting.

### ***Knowledge and Technology Transfer (KTT)***

The INFN Knowledge and Technology Transfer program (KTT) has gone through an extensive re-organisation. At the meeting in Venice in 2021, a specific presentation was devoted to “Status of the INFN KTT at the onset of a new phase,” and the GLV Report for 2022 provides limited information about this “new phase”. We suggest that KTT should explicitly feature in next year’s agenda, and single out the following among possible items for discussion:

- i) Preliminary results from the “OPEN INFN - Open INnovation from Fundamental Nuclear research” project;
- ii) Results/assessment of the R4I program since its start;
- iii) Results/assessment of the activity of the INFN Agent at the European Patent Office (EPO) and ability to involve researchers and technologists with respect to IP protection;
- iv) Results/assessment of the training program on Technology Transfer developed in the period 2021-2023.

### ***LNS – Laboratori Nazionali del Sud***

LNS supports an extraordinarily broad range of research activities: nuclear physics, astroparticle physics, medical applications of nuclear physics, environmental and energy research, cultural heritage and the development of accelerators and ion sources. To support its work, LNS depends on and has succeeded in attracting significant external (regional, EC) funding to supplement its base budget.

LNS is building up facilities that will provide excellent and innovative science opportunities in the years to come. The POTLNS upgrade of the Superconducting Cyclotron, beamlines and spectrometer has the goal of delivering high intensity light ion beams with power of several kW and intensities up to  $10^{14}$  pps. The new fragment separator FRAISE will accept intense primary beams and produce high-quality radioactive beams. The MAGNEX spectrometer is designed to work with intense stable beam, for the study of rare processes related to neutrino physics, and is upgraded for the NUMEN experiment measuring nuclear matrix elements relevant for the interpretation of neutrinoless double beta decay. The PANDORA plasma trap will allow investigation of nuclear processes in plasma under stellar conditions, initially with GALILEO HPGe detectors. The KM3Net / ARCA neutrino detector will provide, with 130 of 230 detector strings (DUs), close to a  $\text{km}^3$  sensitive volume for neutrino astronomy. A new entry is work on plasma acceleration (I-LUCE), for which a staged implementation is planned, initially for cancer therapy (BCT), later with higher laser power for nuclear physics applications & stellar astrophysics, complementing PANDORA.

For the major upgrades of the cyclotron, the beamline and spectrometer, accelerators have been shut down since mid-2020, delayed by Covid, the general difficulty in procuring technical and construction materials, and non-conformities of the cyclotron magnet produced in industry. A solution to address these non-conformities was not evident at the time of the CVI meeting. Even without this problem, completion of POTLNS is expected not before mid-2024 (1.5-2 yrs delay compared to initial schedule). The Tandem should resume operation with about 1 yr delay. User interest remains strong and users are eagerly awaiting the re-start of operations.

We endorse completion of POTLNS, KM3Net, and PANDORA as the top-level priorities and focus of the resources of LNS. The issues with the company building the cyclotron magnet need to be urgently resolved, and it is appropriate that high levels of INFN management engage.

LNS uses the shutdown for a revision of the organization of services and operations, with a matrix scheme for improved use of personnel and its capabilities. Machine learning tools are prepared to support automatic and unsupervised operation, freeing human resources, and further improving operational safety. A regular exchange between LNS and LNL technical divisions has been established, to share knowledge and experience.

Knowledge transfer from experienced retiring staff to new junior personnel remains critical, in large part because hirings were delayed during Covid. Temporary additional administrative support during the transition period might help to speed up hiring. Also for I-LUCE, arrangements for effective knowledge transfer will prove crucial, and LNS will need outside laser expertise to ensure timely success of I-LUCE.

### **Recommendations:**

**LNS-1:** LNS together with the INFN management should develop contingency plans in case delivery of the cyclotron magnet is further delayed.

**LNS-2:** LNS and INFN should ensure that with the completion of POTLNS, approval procedures are well-prepared and that the ion source for high-current injection is ready, so that NUMEN can start high-statistics data taking as soon as possible. For the approval procedures, lessons learned at LNL should prove useful. We request an update on POTLNS status in the midterm report.

**LNS-3:** KM3Net is one of the reasonably straight-forward PNRR projects, and the technology of KM3Net-DUs is now mature and procedures and quality control are well established. Nevertheless, the assembly of KM3Net Digital Optical Modules and DUs on the time scale of PNRR will be challenging. Schedule and progress must be carefully monitored. INFN institutes and institutes abroad should support DU production by increasing support for the production sites at LNS and Caserta.

**LNS-4:** While science demand for the Tandem is still strong, experiments should emphasize novel questions over standard and repetitive topics. On the time scale of 5 years, the science case for continued operation of the Tandem should be re-assessed, also in view of the increasing cost of operation.

## **Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL)**

LNL is currently operating three accelerators: the 15-MV tandem accelerator with the ALPI and PIAVE superconducting linear accelerators, the 7-MV “CN”, and the 2.5-MV “AN2000” Van-de-Graaff accelerators. As part of the new SPES facility, a high-current B70 cyclotron has been installed and will be put in operation once all permits are received. The XTU tandem is up and running again after extensive special maintenance, and the upgrades of the PIAVE and ALPI reaccelerators have also been completed. Among others, extraordinary funds were approved by the Machine Advisory Committee for the upgrade of the ALPI vacuum system. In 2022 the nominal available beamtime has reached pre-pandemic values again (about twice as much as in 2021, 1476 hours beam-on-target), and stable beam has been delivered in spring 2022 to the newly installed AGATA spectrometer for nuclear structure investigations. This high-priority campaign is expected to receive 99 days of beam time, about 90% of the scheduled time at the Tandem-ALPI-PIAVE complex between February and December 2022.

The AN2000 and CN accelerators delivered a record-high 1621 hours and 1361 hours of beam in 2021 for application-based research, such as elemental microanalysis, dosimetry, and radiation damage studies, as well as neutron physics investigations. This shows the continued interest of external users to work with these smaller accelerators.

### **Progress at SPES**

The completion of the SPES facilities and plants is ongoing and on a good path. The new B70 cyclotron, which in 2020 already accelerated a proton beam of 950  $\mu\text{A}$  up to 1 MeV, cannot be operated yet at its maximal beam energy due to the still pending revision of the fire prevention plan for the SPES building. Once this Certification for fire protection (CPI) is received (expected in late 2022), the ramp-up of the cyclotron and further commissioning can start towards operation with 70 MeV, 750  $\mu\text{A}$  proton beams for the production of radioactive beams. This would allow the operation with re-accelerated radioactive beams from the cyclotron (SPES  $\beta$  phase) in 2024/25.

The tenders for the high-resolution mass separator (HRMS) will be completed in early 2023, and the components are expected to be delivered by mid-2024, with operation by mid-end 2025. In the meantime, a sufficient purification of the radioactive beams can be achieved with the low-resolution mass separator (LRMS) and element-selective isobaric laser ionization. Once the HRMS is operation, the mass resolution can be increased further by a factor of 100 and will allow measurements with a much wider area of pure radioactive nuclei. Installations for safety, radioprotection, and radio-isotope production have gone ahead, e.g. the replacement of the cooling water system, an upgrade of the control system, and the nuclear ventilation system. The target-ion source complex has now been installed in the ISOL bunker. Ground water infiltration into the SPES building remains a serious concern. A mitigation plan has been developed in collaboration with the Department of Civil Engineering and Environment at the University of Padova, and a geotechnical company has been hired and started in October 2022 with the work on internal perimeter sealing of the building. This work will continue over the following months and also involves the temporary removal of already-installed plant installations.

The medical physics applications and medical radioisotope production (LARAMED and ISOLPHARM) will become an important flagship program for the laboratory and provide a platform for high visibility. ISOLPHARM is an INFN patent and will allow the carrier-free production of unconventional (new) medical radioisotopes with the ISOL method. LARAMED is already well integrated into the national and international research networks (e.g. agreements with hospitals in the Veneto region and the European Medical Radionuclide Program PRISMAP). As a starting point for the new laboratories the production of the theranostic pair Cu-64/Cu-67 has been suggested. While the construction of the new radiochemistry laboratories in the SPES building is finished, the facilities and plants still need to be completed.

A timely completion of the laboratories should have a high priority for the next year to allow a quick start of this medical isotope program when the B70 cyclotron is up and running. It is also highly recommended to explore ERC Starting or Consolidator Grant opportunities for this project since it would allow to secure additional funding for personnel and special equipment.

## **Progress at AGATA and the new Data Center**

The AGATA spectrometer, a major scientific endeavour for LNL and the European Gamma-Ray Spectroscopy Community, arrived in Legnaro fall 2021 and successfully started its first physics campaign with stable beam on target in April 2022. The stable beam experiments with the Tandem will continue in 2023 until first radioactive beams from the new SPES facility will become available in 2024/25. Discussions within the AGATA collaboration are ongoing to leave the setup at LNL for two more years to compensate for delays at other facilities. LNL is also working on a new Data Center which will benefit the AGATA online data processing, as well as the expansion of the LHC Tier-2 center for ALICE and CMS. The tender process is ongoing, and the building construction is scheduled to start in early 2023. The start of the operation of the new Data Center is subsequently planned for February 2024.

## **Progress in external Accelerator Physics projects**

The accelerator group's two main large international projects are the construction and test of Drift Tube Linacs (DTLs) for the European Spallation Source (ESS) in Sweden, and a Radiofrequency Quadrupole (RFQ) at IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) in Japan. The IFMIF activities, funded by the European Union via a "Fusion for Energy" tender, have been extended to 2024. Since the beginning of the pandemic travel restrictions to Japan allowed only remote participation with a few European collaborators onsite. Japan has finally dropped its entry restrictions in November 2022 which will allow LNL members to start working onsite again. In the meantime, the IFMIF team could condition the RFQ in late 2021 and operate it at full power, and is planning to accelerate a deuteron beam to 5 MeV until 2023.

The EU Project DONES-PrepF has finished the design phase of a European facility in Spain for material tests for nuclear fusion. Now the construction phase will start with national in-kind contributions, and INFN will be one of the Italian institutions to contribute significant technical developments.

For the ESS project, INFN will contribute five Drift Tube Linacs. One of them (DTL1) has already been installed and successfully commissioned in 2021. Three more DTLs are in various stages of installation and are planned to be commissioned until late spring 2023. The last DTL5 is being assembled in Lund and will be transported into the ESS tunnel in September 2023.

*Outreach during the pandemic:* The Master course "Surface Treatments for Industrial Applications" is jointly organized by the University of Padova and INFN. In 2021 the 19<sup>th</sup> edition took place which was attended by a large number of students and industrial partners.

## **Organisational changes and personnel situation**

LNL has presently 126 permanent and 20 fixed-term employees. However, only 16 of them (11%) are researchers which is the lowest of all four National Laboratories (for example, LNF has 23% in the Researcher category). Of concern is the age profile of the LNL researchers – five will retire within the next 4 years, seven more within the next 10 years. This calls for a well-laid out succession plan to avoid further shrinking and to be prepared for the new science opportunities in the SPES era. With an additional young researcher position (in addition to the timely replacement of retired researchers) the lab would be much better equipped for the upcoming increase of science output and influx of new users. The new organigram was approved in September 2021.

The understaffing of critical technician positions continues to be major concern, as well as the high age profile. Several operators are on sick leave due to overworking and health issues which leaves the accelerator operation in a very vulnerable position and could lead to critical delays of maintenance or even shutdowns of the facilities. The specialized hands-on training of newly hired operators (for the Tandem-PIAVE-ALPI complex as well as the new cyclotron) is ongoing but requires time, so a timely hiring of new technicians for other soon-retiring operators is critical. Other critical positions for the operation of an accelerator facility which have not yet been filled are the e.g., the Technical Plants Manager, several Safety and Radioprotection officers, technicians for vacuum, cryogenics, and the

medical isotopes program etc. Fellowships are used to hire young entry-level technicians-in-training to develop a pool of trainees.

As emphasized last year, this critical personnel situation requires a continued joint effort between the LNL Directorate and the INFN Management.

### **Recommendations:**

**LNL-1:** Ensure critical and safety-relevant positions are filled with sufficient staff to avoid a shutdown of facilities.

**LNL-2:** Continue developing and executing a detailed hiring plan for the next 10 years to “rejuvenate” the lab for the SPES era. This includes growing the number of researcher positions by at least one.

**LNL-3:** Complete the installations for LARAMED/ISOLPHARM now to allow a quick start when the cyclotron becomes operational.

**LNL-4:** Outline a detailed plan for the first 5 years of LARAMED/ISOLPHARM operation. Try to secure additional funding via an ERC Grant application (Starting/ Consolidator).

## **PNRR**

The last three hours of the meeting were devoted to PNRR, with the basic goal to inform the CVI and hear our reaction to this exciting major opportunity. First and foremost we note that INFN has been extremely successful in attracting funds for projects under the auspices of the PNRR program, in all four categories: National Centres(1), Infrastructures(9), Ecosystems for innovation(5), and Extended Partnerships(3). This is testimony to the INFN’s success in managing large projects in the past. The relevant projects are listed by class and scope in Table 1. The largest projects from a financial point of view are the National Centres and Infrastructure projects. Sustainability, especially for National Centres, will present a major challenge after the 3-year PNRR funding ceases. We comment on this in some detail in the section below on the Italian Centre for SuperComputing (ICSC).

Name	Type	LEAD INSTITUTION	Budget (M€)	INFN Budget (M€)	INFN Staff
ICSC	National Centre	INFN	320	48.1	46
KM3NETRR	Infrastructure	INFN	67.2	59.3	38
IRIS	Infrastructure	INFN	60	39.5	32
ETIC	Infrastructure	INFN	50	33.9	25
TERABIT	Infrastructure	INFN	30.6	19.9	23
LNGS-FUTURE	Infrastructure	INFN	20.1	19.6	7
EU-APS	Infrastructure	INFN	22.3	14.9	8
CTA+	Infrastructure	INAF	71.4	12.7	13
ITINERIS	Infrastructure	CNR	155	5.1	5
EBRAINS	Infrastructure	CNR	-	0.43	1
SAMOTHRACE	Ecosystem	SICILIA	-	6.6	5
ROME TECHNOPOLE	Ecosystem	LAZIO	121	2.8	4
TUSCANY HEALTH	Ecosystem	TOSCANA	-	0.54	1
RAISE	Ecosystem	LIGURIA	117	0.5	-
ECOSISTER	Ecosystem	EMILIA- ROMAGNA	112	0.47	1
PE4-NQSTI	Partnership	UNI CAMERINO	117	6.4	-

PE15-SPACE	Partnership	POLITECNICO TO	115	2.6	-
PE1-FAIR	Partnership	CNR	50	1.6	-
TOTAL			>1,406	>275	209

*Table 1 PNRR projects of the four types described in the text with INFN participation, ordered by the INFN Budget share in each type. Blank columns indicate that the budget is not yet fixed. Note that the additional staff required for these projects is more than 200.*

## PNRR I: National Centers. ICSC – Italian Center for SuperComputing

ICSC is one of five National Centres foreseen and it aims to build an integrated infrastructure of High Performance Computing (HPC) Centers and large databases devoted to research for academic and business purposes for the benefit of Italian institutions and companies. It will do so by integrating current data centers and data transmission networks dedicated to research in Italy into a single, cloud-based infrastructure made up of 24 HPC and Big Data Centers, partly already existing. It will offer High Performance Computing (HPC), Terabit per second data transmission services, and integrated access to data by all research institutions in Italy.

The project also includes the development of dedicated data management and data analysis applications for eight research fields: fundamental research and space economy, astrophysics and cosmos observations, earth and climate, environment and natural disasters, multiscale modeling and engineering applications, materials and molecular science, silico medicine and omics data, digital society and smart cities.

The project will receive 320 million euro from PNRR, in the 2022-26 period, and is structured with a Hub and Spoke model, with the Hub receiving and distributing funds and monitoring the execution of the various project components carried forward by the eleven spokes. The spokes include spoke 0, dedicated to infrastructure buildup, spoke 1, for the planning and design of ICSC evolution, and spoke 10 dedicated to quantum computing. These three spokes focused on basic technologies will develop infrastructures and services for the other eight spokes each devoted to one of the specific applications mentioned before.

The governance of the project will be primarily ensured by the role of the Hub, which has the legal status of a private foundation with founding members including 25 universities, 12 research institutions and 14 private corporations and research foundations. The last group of founding partners should support the process of technology transfer of research and the business use of the infrastructure.

The project will enhance the performance of IT infrastructure for Italian research while offering new opportunities to both academia and business to integrate data analysis and strengthen the overall security of the system. INFN, as manager of the Hub and co-leader of spoke 1 can leverage its proven capabilities in managing large-scale projects for research infrastructure and apply them to the management and oversight of one of the largest technology projects in the country. The immediate challenge of the project will be to ensure the implementation and integration of all modules according to a quite rigid timescale, with each of the 11 spokes in charge of its infrastructure design, technology procurement and system implementation. A second challenge, however, is the need to ensure continuing funding for the infrastructure beyond 2026. This is essential to sustain over time a service requiring significant operational costs and frequent infrastructure renewals.

To meet this challenge INFN has developed a reasonably conceived, although initial, plan for economic sustainability after 2026, envisaging a yearly revenue of 58 million Euro. Most of the revenues will imply contracts and grants still to be acquired with a significant proportion deriving from computing services sold to private entities on the market. The plan, however, does not provide margins to pay for infrastructure renewal (that should be about 30 million per year, to fund replacement of 150 million-worth equipment every five years), nor funds from INFN for that purpose, so additional funding should be identified. The hub organization includes an Innovation/ Business development function responsible for developing future revenues. The transition from an almost entirely PNRR-funded to partially market-

funded model entails important challenges such as generating revenues ahead of 2026 to avoid an instant drop in funding after PNRR, and defining responsibilities for revenue generation between hub and spokes, including the reallocation of resources in case the market potential of various spokes will not reflect their initial sizing.

### **Recommendations:**

**ICSC-1:** Give the Business Development/Innovation function the task, to be completed in 12 months, to write a complete business plan for the horizon after 2026 with a growth path to sustainability and a plan for evolution of governance.

**ICSC-2:** Make sure Hub and Spoke leadership devote sufficient attention to future revenue generation, not only to infrastructure building

**ICSC-3:** Ensure integration of spoke 0 (design of infrastructure) with spoke 1 (Future HPC and big data) to guarantee a smooth evolution of architecture

**ICSC-4:** Look for opportunities to find technical (e.g cost sharing) or commercial synergies with other players offering cloud services on the market

**ICSC-5:** Consider the appointment in the Hub of a high-level technical function, like a Chief Technology Officer, to ensure coordination of design and identification of potential design and procurement synergies across spokes

### **PNRR-II: Infrastructures**

The infrastructure projects target major improvements of existing operations – strongly boosting the capabilities of the groups involved – or development of new fields of competence in good synergy with existing ones. Laboratories like LNGS and LNF in particular will benefit. The KM3Net underwater neutrino experiment will be further equipped in order to reach science mode, and Italy will be well positioned to propose Sardinia as a site for the Einstein Telescope. Expertise in new technologies, like High Temperature Superconductors or Space Technologies, with potential important applications will be boosted. For some of the most challenging projects an extension beyond the three years allotted for completion of the task would lead to a better end-result. Table 1 gives a summary of the chosen projects.

### **Recommendation:**

**INF-1:** INFN should make the case for an extension beyond three years for these challenging projects.

### **PNRR-III: Ecosystems for Innovation and Extended Partnerships.**

The total funds in these programs are 1.3G€ for 12 Ecosystems for Innovation (EI) and 1.61G€ for 15 Extended Partnerships (EP). INFN participates in 5 EI and 3 EP, which by their nature are collaborative programs with many institutions participating. INFN is not the overall leader at the hub in any of these projects, and in most cases does not even have responsibility for the spoke(s) and hence INFN involvement is often quite small (see Table 1 for details). However, although the main aims of these projects are far from INFN core competences, INFN can contribute its extensive experience of collaborative work and the delivery of such work packages to external organizations. Efficient administration by the Hub will be necessary to complete these projects in the three years allotted, and INFN should insist on this as a condition to remain involved.

The five EI with INFN involvement are: ECOSISTER: Sustainable digital transition in Emilia-Romagna (uniBO); RAISE: Robotics and AI for Socio-economic Empowerment (uniGE); ROME TECHNOPOLE: Energy transition, digital transition, health & bio-pharma (uniRM1); SAMOTHRACE: SiciliAn Micro nanOTecH Research And Innovation CEnter (uniCT); and THE: Tuscany HEalth(TOSCANA).

The three EP with INFN involvement are: PE1: Artificial intelligence: foundational aspects (CNR); PE4: Quantum science & technology (uniCAM); and PE15: Space Activities (PoliTO).

## APPENDIX I. Recommendations

**Perspectives and Strategy-1:** INFN has a great story to tell, and should make sure to transmit it in a way that resonates with the government, industry and the public (a few suggestions are given above).

**P&S-2:** INFN should compile data on their success in winning ERC grants. Has the number increased, and how do Italy and the INFN compare with other countries?

**P&S-3:** INFN should consider providing professional grant-writing support.

**Central Administration – None.**

**CSN1-1** INFN should strongly engage in shaping the strategy of CERN and the LHC experiments to promptly address and mitigate the many implications of the Russian crisis.

**CSN1-2** CSN1 should emphasize their strong leadership in various areas of the LHC Phase-2 upgrade, anticipating the eventual need of contingency resources. They should make sure to communicate clearly to the funding agency and society the excellence of their research and its long-term positive impact on society.

**CSN1-3** INFN should evaluate the possibility of moving the large accelerator-based neutrino experiments from CSN2 to CSN1, carefully considering all implications and the input of all parties.

**CSN2-1:** For the long term, laboratories and agencies should consider developing a common strategy to secure stable, reliable and affordable supply chains for materials such as enriched isotopes, rare gases and crystals

**CSN2-2:** LEGEND-1000 is preparing for the DOE CD-1/3A with LNGS and SNOLAB as alternative sites. INFN should work with European agencies involved in the project to generate attractive conditions for hosting LEGEND-1000 at LNGS.

**CSN2-3:** The decision to create a German Center for Astrophysics in Lusatia – with very significant resources – is a significant push for the ET project and adds a new player in the game. INFN and Italy should develop their strategy in this context and seek strategic alliances.

**DarkSide 20K-1:** The interfacing with LNGS regarding the installation of DS20K, the definition of interfaces towards the infrastructure and of the mutual responsibilities, and the daily coordination have improved, but a) Documentation needs to be finalized and processes streamlined; and b) Wherever possible, INFN and LNGS should require approved cost and schedule baselines before committing long-term resources.

**DS-2:** LNGS, DarkSide-20K and INFN management need to do whatever is needed to get the NOA facility producing PDU's.

**DS-3:** Reaching the design performance is crucial for the success of DarkSide-20K; the experiment must absolutely avoid any shortcuts that could endanger quality and radiopurity of components.

**DS-4:** DarkSide-20K sensitivity plots based on “full volume” and 20 years exposure may give an over-optimistic view, compared to more conservative sensitivity estimates of other experiments. The collaboration should produce an updated explanation of their sensitivity estimates and of the background assumptions and measurements on which they are based.

**CSN3-1:** Secure time-critical “Special” funding (3 MEuro until 2025/26) for the R&D phase of ALICE3 detectors. Discuss with INFN management and other CSNs about faster procedures for getting larger funding for high risk-high reward R&D projects.

**CSN3-2:** Identify more “champions” for ERC grant applications to secure additional funding and attract more researchers to INFN projects.

**CSN4-1:** In view of the bid to host the Einstein telescope, CSN4 should try to further raise the profile of forward-looking theoretical preparations for gravitational wave physics.

**CSN5-1.** Plan a review of the “Grants for young researchers” scheme and report on it at CVI 2023.

## **Knowledge and Technology Transfer:** None

**LNS-1:** LNS together with the INFN management should develop contingency plans in case delivery of the cyclotron magnet is further delayed.

**LNS-2:** LNS and INFN should ensure that with the completion of POTLNS, approval procedures are well-prepared and that the ion source for high-current injection is ready, so that NUMEN can start high-statistics data taking as soon as possible. For the approval procedures, lessons learned at LNL should prove useful. We request an update on POTLNS status in the midterm report.

**LNS-3:** KM3Net is one of the reasonably straight-forward PNRR projects, and the technology of KM3Net-DUs is now mature and procedures and quality control are well established. Nevertheless, the assembly of KM3Net DOMs and DUs on the time scale of PNRR will be challenging. Schedule and progress must be carefully monitored. INFN institutes and institutes abroad should advance DU production by increasing support for the production sites at LNS and Caserta.

**LNS-4:** While science demand for the Tandem is still strong, experiments should emphasize novel questions over standard and repetitive topics. On the time scale of 5 years, the science case for continued operation of the Tandem should be re-assessed, also in view of the increasing cost of operation.

**LNL-1:** Ensure critical and safety-relevant positions are filled with sufficient staff to avoid a shutdown of facilities.

**LNL-2:** Continue developing and executing a detailed hiring plan for the next 10 years to “rejuvenate” the lab for the SPES era. This includes growing the number of researcher positions by at least one.

**LNL-3:** Complete the installations for LARAMED/ISOLPHARM now to allow a quick start when the cyclotron becomes operational.

**LNL-4:** Outline a detailed plan for the first 5 years of LARAMED/ISOLPHARM operation. Try to secure additional funding via an ERC Grant application (Starting/ Consolidator).

**Italian Center for SuperComputing-1:** Give the Business Development/Innovation function the task, to be completed in 12 months, to write a complete business plan for the horizon after 2026 with a growth path to sustainability and a plan for evolution of governance.

**ICSC-2:** Make sure Hub and Spoke leadership devote sufficient attention to future revenue generation, not only to infrastructure building

**ICSC-3:** Ensure integration of spoke 0 (design of infrastructure) with spoke 1 (Future HPC and big data) to guarantee a smooth evolution of architecture

**ICSC-4:** Look for opportunities to find technical (e.g cost sharing) or commercial synergies with other players offering cloud services on the market

**PNRR INF-1:** We encourage INFN to make the case for an extension beyond three years for these challenging projects.

## APPENDIX II: 2021 CVI Reports on LNGS and LNF

### *LNGS – Laboratori Nazionale del Gran Sasso*

LNGS hosts an exciting interdisciplinary program – 22 operating experiments covering a wide range of topics spanning astroparticle physics, nuclear physics and nuclear astrophysics, relativity and basic quantum physics, up to evolutionary biology, in a good mix of large-scale experiments, smaller experiments and exploratory R&D studies. LNGS is the home laboratory for several world-leading experiments focused on two key questions in modern particle/astroparticle physics: the nature of Dark Matter; and the nature of neutrinos, probed via neutrinoless double beta decay ( $0\nu\beta\beta$ ). In both areas, improved next-generation experiments are in preparation.

Particular highlights of the LNGS program include

- The publication in late 2020 of the detection of solar neutrinos from the CNO cycle by BOREXINO, and the improvement of the thermal stabilization of the detector, which allowed further improvement of the measurement with the data collected up to October 2021, when the decommissioning of BOREXINO started. The collaboration was recently awarded the EPS Cocconi prize.
- The successful commissioning of XENONnT, and the start of the first science run. Despite the need to operate at reduced drift voltage, performance of the detector is excellent, and data collected during 2021 and early 2022 should probe the intriguing low-energy excess detected in XENON1t, with improved control of tritium levels in the detector, aiming to rule out this background.
- The final results from GERDA set a  $1.8 \times 10^{26}$  yr limit for neutrinoless double beta decay ( $0\nu\beta\beta$ ) in  $^{76}\text{Ge}$  and demonstrated background-free operation; the 1 T yr results from CUORE set a limit of  $2.2 \times 10^{25}$  yr for  $^{130}\text{Te}$ .
- An important technical result of CUORE is also the successful demonstration of long-term stable operation of a very large cryogenic setup with excellent uptime, paving the path towards the improved CUPID experiment.

The installation of LUNA-MV is progressing, with LUNA400 and LUNA-MV to be operated in the future as a facility. A rich physics program is outlined both for LUNA-MV and for the continuation of LUNA400, and a program committee is being installed to select and monitor experiments.

Major experiments at LNGS continued to operate throughout the pandemic, and the installation and commissioning of new experiments such as LEGEND-200 and XENONnT progressed very well. This represents an extraordinary achievement of LNGS management and the experimental teams.

Scales and complexity of underground astroparticle experiments are ever-increasing; their design and installation are challenging, and demands on the lab's facilities and services are increasing accordingly. Upgrades of LNGS facilities, planned or in progress, include a cryogenic platform for test and measurement of detectors and devices at very low temperatures, the STELLA facility for large-scale state-of-the-art material screening, a new ICP-MS facility and supporting instruments, the 450 m<sup>2</sup> NOA clean room facility, advanced workshops with copper 3D-printing, and an underground workshop for machining of materials with minimal activation. Utilities and power systems are also being upgraded. These measures, which significantly enhance the value of LNGS for its users and further improve the quality of user support, ensure that the lab will remain attractive and will prepare it for the coming generation of very large experiments. The increase in engineering staff achieved through the extraordinary recruitment plan is essential to provide adequate support for the planning, installation and support of operation of such experiments.

With these measures, LNGS is well-prepared but nevertheless has to develop a long-term strategy to maintain its role, given the increasing number of underground labs world-wide, and enhancement / expansion of other facilities. Work towards a 5-10 year strategic plan is in progress; given the time scales of large experiments, longer-term considerations should be included. Cooperation and coordination with other labs are crucial strategic elements, as well as sharing of specialized facilities of general interest – such as material screening. We commend the plans of LNGS to work with other European underground laboratories to optimize their use.

LNGS was recently selected as the only suitable European lab for new  $0\nu\beta\beta$  decay experiments. We support the strategy for international coordination of these and even larger future experiments, where LNGS will act as host, supported by R&D at other laboratories. LNGS is also collaborating with SNOLAB on strategy for future Dark Matter experiments.

### **Recommendations:**

**LNGS-1.** Environmental impact concerns have in the past resulted in significant delays and/or termination of experiments. The process for safety and environmental impact evaluation has been streamlined by the lab, and the interaction with local authorities has greatly improved. Nevertheless, INFN and the respective ministries will have to strongly support LNGS towards finding pragmatic solutions for remaining open issues.

**LNGS-2.** The recent North America - Europe Workshop on Future of Double Beta Decay has revealed interesting perspectives, and in particular a path towards two major next-generation experiments (in addition to CUPID), one of which could be located at LNGS. INFN and LNGS should make strong efforts to attract LEGEND-1000 to LNGS. This will require raising an appropriate funding share in Europe, in interaction with European funding agencies, under the promotion by INFN and MUR.

**LNGS-3.** Approval procedures for experiments that receive a significant fraction of their funding via CNS2 are sometimes unclear, with parallel approval paths for CSN2 funding and LNGS underground space. Requests to CSN2 and LNGS must be coordinated *before* approvals.

## ***LNF –Laboratori Nazionali di Frascati***

The Frascati National Laboratory (LNF), the largest and the oldest of the INFN National Laboratories, is devoted to the development, construction and operation of accelerators, and the design and construction of forefront particle detectors for particle, nuclear and astroparticle experiments. The research infrastructure comprises the DAFNE  $e^+e^-$  collider and Beam Test Facility complex, SPARC\_LAB for R&D on novel techniques of particle acceleration and the future EuPRAXIA@SPARC\_LAB infrastructure, SCF\_LAB to characterize lasers, large assembly halls with several clean rooms and various technical services. More recent installations include COLD, a cryogenic laboratory, and TEX, a RF X-BAND test facility under completion. In 2020, LNF had 318 employees with permanent contracts, 30 with fixed-term contracts, 216 associated (including Cosenza University) and 188 external users. Here we report on recent highlights and the impressive list of achievements during the course of last year despite the difficulties related to the Covid outbreak.

The EuPRAXIA H2020 Design Study is a multinational effort to build two plasma-based accelerator facilities to drive a Free Electron Laser. The EuPRAXIA@SPARC\_LAB project is the Italian branch implementing the beam-driven technique. In addition, LNF, with a strong leadership role in the whole project, will host the headquarters. The project is taking off with many relevant milestones reached recently:

- EuPRAXIA submitted an ESFRI application in 2020, which has been positively resolved in June 21; Italian government funds (108 M€) have been secured.
- The work towards delivering a Technical Design Review in 2025 within a budget envelope of 6.5 M€ has started, including the acquisition of computing hardware and constructing the TEX facility. A final draft of the building design to host the new machine has been submitted, for an overall cost of

32 M€. The final layout of the new machine is being elaborated, and a preliminary expense profile for the overall project is available, showing limited contingency.

- Excellent results were obtained at SPARC\_LAB with the observation of 133 MV/m acceleration in plasma and of FEL lasing.
- The TEX facility will be used to test RF structures for EuPRAXIA, but also for CLIC and in the context of the LATINO project providing access to new technologies to private companies.

Operation restarted at the DAFNE/BTF complex in May 2020 with a modified schedule, running first in Linac mode and later in collider mode. In the BTF1 area, the PADME experiment successfully recorded its first data during 2020 after optimizing background conditions, accumulating 50% of the statistics foreseen for the dark photon search. A second run is foreseen in 2022. In January 2021 the installation of the BTF2 area was resumed. First users are expected in fall 2021. The DAFNE collider also restarted operation for the SIDDHARTA-2 experiment. An initial run to optimize the beam conditions took place. The data collected with Siddhartino, 1/6 of the full detector, provided high-quality data of Kaonic Helium. The exploitation of the data collected by the previous collider experiments, KLOE and KLOE-2 is ongoing, with a final round of reprocessing, many active analyses, and measures for data preservation. The DAFNE-Light laboratory worked mainly with conventional radioactive sources rather than DAFNE synchrotron radiation, serving 34 experiments. A mailing service of samples was put in place during COVID-19 time.

The cryogenic laboratory COLD is a relatively new facility equipped with devices capable of measuring ultra-low temperatures (down to 10 mK). It specializes in the development of detectors for photons in the microwave region, like the QUAX haloscope for axion search or Qubit superconducting quantum sensors, offering promising fundamental research lines in the future. The successful completion of the large production of muon chambers for one of the ATLAS New Small Wheels now being installed in the experiment, is also worth noting.

We acknowledge the concerns about running two large facilities in parallel, EuPRAXIA and the DAFNE complex, and commend LNF for the steps taken to address these questions: are there enough resources to run both of them? Which in-situ fundamental physics program should be pursued? A discussion program has been setup to evaluate, with the help of the LNF scientific committee, possible fundamental physics activities: two at DAFNE and an axion search. Depending on the outcome, cost and required manpower would eventually be evaluated.

We take note of the situation of the technical personnel, already at a minimum with a large number of retirements expected in the coming years. Will there be enough skilled personnel to build and run EuPRAXIA@SPARC\_LAB in the future? Steps have been taken to mitigate this problem. Various temporary positions covering different technical area of expertise have been opened. We appreciate the new initiative of establishing a collaboration, together with industries from the region, with a local technical institute to set up a training program for selected young potential future technicians.

### **Recommendation.**

**LNF-1.** Clarify the priorities of LNF in the future and the corresponding manpower needs. Please address this in the midterm report.