



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



**PIANO  
TRIENNALE**

2025  
2027



# Sommario

<b>Introduzione</b> .....	<b>I</b>
<b>1. L'Istituto</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Le Risorse finanziarie</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 L'evoluzione storica del bilancio</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Le risorse ordinarie</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Il profilo triennale delle risorse disponibili e della spesa per il periodo 2024-2026</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Le risorse di personale</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Fabbisogno di personale</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Parità, pari opportunità e benessere organizzativo</b> .....	<b>21</b>
<b>4. Gli obiettivi gestionali e organizzativi</b> .....	<b>25</b>
<b>5. Le attività di ricerca scientifica e tecnologica</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1 Resoconto dell'attività svolta nel 2023</b> .....	<b>27</b>
CSN1 – Fisica delle particelle .....	27
CSN2 – Fisica delle astroparticelle.....	29
CSN3 – Fisica nucleare .....	31
CSN4 – Fisica teorica .....	34
CSN5 – Ricerca tecnologica.....	37
<b>5.2 Prospettive dell'attività di ricerca nelle CSN per il periodo 2025-2027</b> .....	<b>39</b>
CSN1 – Fisica delle particelle .....	39
CSN2 – Fisica delle astroparticelle.....	40
CSN3 – Fisica nucleare .....	41
CSN4 – Fisica teorica .....	42
CSN5 – Ricerca tecnologica.....	43
<b>5.3 Coordinamento Nazionale Calcolo</b> .....	<b>44</b>
Prospettive .....	45
Intelligenza Artificiale:.....	46
Quantum computing: .....	47
<b>6. Le Infrastrutture di ricerca</b> .....	<b>49</b>
<b>6.1 I Laboratori Nazionali</b> .....	<b>49</b>
LNF – Laboratori Nazionali di Frascati .....	49
LNGS – Laboratori Nazionali del Gran Sasso.....	53
LNL – Laboratori Nazionali di Legnaro.....	57
LNS – Laboratori Nazionali del Sud.....	60
<b>6.2 I Centri Nazionali</b> .....	<b>64</b>
CNAF .....	64
GGI – <i>Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics</i> .....	66

TIFPA – Trento Institute for Fundamental Physics and Applications .....	68
<b>6.3 Altre infrastrutture .....</b>	<b>71</b>
LABEC – Laboratorio di tecniche nucleari per l’Ambiente e i BEni Culturali .....	71
LASA – Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata.....	73
EGO – European Gravitational Observatory .....	74
KM3NeT/ARCA - Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss .....	76
EuPRAXIA – European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications .....	77
ET – Einstein Telescope .....	78
<b>7. I progetti con altri Enti e Università, progetti europei, ERIC e fondi esterni.....</b>	<b>81</b>
7.1 Università ed altri enti .....	81
7.2 Progetti europei ed ERIC.....	82
7.3 Fondi esterni .....	83
7.4 INFN-E.....	85
<b>8. I progetti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza .....</b>	<b>87</b>
8.1 I progetti a guida INFN.....	87
8.2 Altre attività .....	92
8.3 La Governance.....	92
<b>9. La partecipazione a Consorzi, Società e Fondazioni .....</b>	<b>95</b>
<b>10. Le attività di terza missione e alta formazione.....</b>	<b>99</b>
<b>10.1 Comunicazione e Public Engagement.....</b>	<b>99</b>
Canali e strumenti di comunicazione e public engagement.....	100
Comunicazione istituzionale, media, social e visiva .....	103
Mostre, installazioni, eventi e spettacoli.....	103
Progetti del Comitato di Coordinamento della terza missione .....	105
<b>10.2 Reti nazionali e internazionali per la comunicazione e il public engagment .....</b>	<b>107</b>
Formazione su comunicazione e public engagement, aggiornamento docenti .....	107
<b>11. La valutazione dell’Ente .....</b>	<b>109</b>
<b>APPENDICE: CVI Report 2024 .....</b>	<b>111</b>

## Introduzione

Il Piano Triennale di Attività 2025-2027 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni<sup>1</sup>. Dopo oltre 70 anni dalla sua nascita, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare resta un protagonista della ricerca in fisica fondamentale a livello nazionale e internazionale, nel solco di una tradizione di eccellenza iniziata con Enrico Fermi e i ragazzi di via Panisperna. Il successo dell'Istituto poggia su diversi pilastri:

- una comunità distribuita su tutto il territorio nazionale, ma coesa nel perseguire una missione chiara e circoscritta – la ricerca scientifica in fisica nucleare, subnucleare, astroparticellare e delle interazioni fondamentali, a cui si affianca la ricerca tecnologica nei settori correlati. Da questa missione primaria discendono le numerose applicazioni delle nostre conoscenze e tecnologie ad attività di interesse sociale come la medicina e i beni culturali, di trasferimento tecnologico verso le imprese e la società e della promozione e diffusione della cultura scientifica, sia a livello specialistico che per il grande pubblico;
- un modello di *governance* unico nel panorama delle istituzioni di ricerca nazionali e internazionali – un Consiglio Direttivo composto da scienziati dove trovano una sintesi le istanze internazionali, nazionali e locali nella definizione delle strategie scientifiche e gestionali dell'Ente, consentendo un equilibrio tra i progetti bottom-up, proposti dai ricercatori e vagliati da Commissioni Scientifiche Nazionali indipendenti, e le esigenze di programmazione top-down dettate dal contesto nazionale e internazionale;
- la capacità di costruire e gestire grandi infrastrutture di ricerca al servizio della comunità scientifica nazionale e internazionale – un segno distintivo dell'INFN fin dalla sua nascita. Tre dei nostri quattro Laboratori Nazionali, a Catania, Frascati e Legnaro, ospitano acceleratori di particelle sia a scopo di ricerca in fisica fondamentale che per applicazioni multidisciplinari e industriali, mentre il quarto, sotto il Gran Sasso, è dedicato ai grandi esperimenti di fisica passiva underground, ma anche a attività di ricerca e sviluppo sulle tecnologie quantistiche. A questi si aggiungono i tre Centri Nazionali, infrastrutture più piccole dedicate alla fisica teorica, al calcolo scientifico e alla fisica applicata e spaziale, il LASA di Milano, che si occupa di magneti e applicazioni della superconduttività e il LABEC di Firenze, dedicato alle applicazioni della fisica ai beni culturali e all'ambiente;
- un elevato livello di internazionalizzazione – molte delle nostre ricerche si svolgono nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali. La partecipazione della nostra comunità a esperimenti in laboratori internazionali in Europa, America e Asia è ampia e molto apprezzata. L'Italia è membro permanente del *council* del CERN di Ginevra, il laboratorio europeo di riferimento per la fisica delle alte energie, dove partecipiamo a tutti i grandi esperimenti. Abbiamo gruppi di ricerca a DESY, GSI (Germania); ESFR, GANIL, LAL (Francia); PSI (Svizzera); BNL, FNAL, JLAB, SLAC (USA); TRIUMF (Canada); PAO (Argentina); KEK, J-PARK, KO (Giappone); BEPC II, JUNO (Cina), per citarne solo alcuni. Per scelta statutaria, ci avvaliamo inoltre di un Comitato di Valutazione Internazionale che produce un rapporto annuale sulle attività dell'Istituto, allegato al Piano Triennale di Attività, individuando eventuali criticità e raccomandando azioni correttive;
- un rapporto simbiotico con i dipartimenti di fisica delle università – l'INFN è presente con le sue 20 sezioni e 5 gruppi collegati all'interno dei dipartimenti di fisica delle principali università italiane. Il personale universitario

---

<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 (se necessario può essere ottenuto [qui](#)).

incaricato di ricerca ha lo stesso status del personale dipendente all'interno dell'Istituto sia per quanto riguarda l'accesso alle cariche che ai finanziamenti. D'altra parte, attraverso le convenzioni, gran parte del personale INFN contribuisce a vario titolo alle attività universitarie. Questa sinergia permette da un lato al personale universitario associato all'INFN di partecipare su base paritaria alla vita dell'Istituto, accedendo a progetti e finanziamenti dedicati alla fisica fondamentale ma anche alla *governance*, dall'altro permette all'Istituto di coinvolgere più facilmente nelle proprie attività i giovani in formazione, un *asset* di fondamentale importanza nella ricerca.

A marzo 2024 è stato lanciato il processo di aggiornamento della Strategia Europea della Fisica delle Particelle (ESPP) con il mandato di sviluppare "un piano visionario e concreto che faccia progredire notevolmente la conoscenza nella fisica fondamentale attraverso la realizzazione del prossimo progetto di punta al CERN" e nominato lo *European Strategy Group* che dovrà inviare il documento con l'aggiornamento della strategia al *Council* del CERN per l'approvazione nel 2026. Questo è un passaggio fondamentale che deciderà il futuro del nostro laboratorio europeo di riferimento e più in generale della fisica dei *collider* in questo secolo. In questo processo è prevista un'ampia consultazione della comunità scientifica attraverso la sottomissione di documenti a tutti i livelli, dal singolo scienziato fino alle istituzioni scientifiche. L'INFN ha organizzato un'ampia discussione con una serie di workshop dedicati alla fisica e alle tecnologie dei futuri *collider*. L'Istituto sostiene con convinzione il progetto del *Future Circular Collider* (FCC) nella sua versione integrata, un anello di circa 90 Km in cui si prevede collidano elettroni-positroni in una prima fase (FCC-*ee*) e protoni-protoni in una seconda (FCC-*hh*). Energie di funzionamento, pianificazione temporale delle diverse fasi, scelte tecnologiche sono oggetto di ampio dibattito nella nostra comunità, anche in considerazione della proposta di un progetto simile basato in Cina e dell'interesse statunitense a contribuire ad un progetto all'estero, mentre in casa puntano a ospitare un innovativo *collider* a muoni, una volta superata la sfida di dimostrarne la fattibilità. Riteniamo cruciale, anche se LHC ha di fronte altri quindici anni di attività con il passaggio alla fase di alta luminosità (HL-LHC), prendere al più presto una decisione sul futuro e iniziare i lavori di scavo del tunnel che ospiterà il prossimo grande progetto al CERN, in modo da coagulare le forze, attrarre i giovani, sviluppare le tecnologie e garantire al CERN, un'eccellenza europea senza uguali nel mondo, una *leadership* nella fisica dei *collider* e nelle tecnologie connesse per i prossimi 70 anni, pari a quella che ha avuto nei 70 anni appena compiuti. A questo scopo, l'Istituto ha elaborato e sottometterà a breve un documento, accompagnato da una serie di documenti satellite prodotti tra gli altri dalle Commissioni Scientifiche Nazionali e dai Laboratori Nazionali, contenente le proprie raccomandazioni. Inoltre, organizzeremo a Venezia dal 23 al 27 giugno 2025 lo *Strategy Open Symposium*, un evento previsto nell'ambito dell'aggiornamento dell'ESPP, durante il quale la comunità scientifica internazionale sarà invitata a discutere il futuro orientamento della fisica delle particelle europea.

Il 2024 ha anche visto il pieno sviluppo della fase esecutiva dei progetti del PNRR. La struttura temporanea di missione creata appositamente, l'Amministrazione Centrale e quelle periferiche hanno risposto con successo alla sfida amministrativo-gestionale posta dal PNRR, senza introdurre rallentamenti significativi dell'attività ordinaria. La cabina di regia ha operato con grande regolarità ed efficacia, interfacciandosi con il MUR, individuando le criticità, proponendo soluzioni e monitorando lo stato delle attività anche attraverso i nuovi modelli e tool di gestione di progetto sviluppati in collaborazione con la società di consulenza Intellera. Ad oggi, febbraio 2025, sui progetti infrastrutturali e sul centro nazionale di supercalcolo ICSC, che costituiscono il grosso del finanziamento PNRR, abbiamo impegnato/pagato per le procedure d'acquisto rispettivamente il 94% e 82% del budget previsto per l'INFN. Tutti i progetti PNRR, ad eccezione dei progetti biomedicali ANTHEM e DARE finanziati sul PNC, si concluderanno tra gli ultimi mesi del 2025 e i primi del 2026. In questo ultimo anno è cruciale monitorare attentamente lo stato avanzamento degli ordini e calendarizzare per quanto possibile l'acquisizione dei documenti necessari per rendicontare tutte le spese. Da questo punto di vista, sarebbe rassicurante poter contare su un'estensione del periodo di rendicontazione delle spese sostenute durante il periodo di attività dei progetti. Anche in questa fase conclusiva del PNRR, fondamentale per avere successo sarà la collaborazione a tutti i livelli istituzionali.

Stiamo anche lavorando alla valutazione dei KPI relativi alle infrastrutture finanziate con il PNRR, anche per poter accedere con successo ai finanziamenti previsti per il loro mantenimento nella fase post-PNRR. Al di là degli indicatori, la sensazione generale è che l'impatto del PNRR sia stato estremamente positivo e abbia prodotto risultati tangibili. Una conferma eclatante è stata la rivelazione del neutrino con l'energia più alta mai misurata, circa 220 PeV, che la collaborazione KM3NeT ha osservato con il rivelatore sottomarino ARCA a largo di Capo Passero in Sicilia, fortemente potenziato negli ultimi anni proprio grazie ai fondi PNRR del progetto KM3NeT4RR. La recente pubblicazione di questo risultato su Nature ha avuto una grande risonanza internazionale.

Anche l'attività di preparazione della candidatura italiana ad ospitare l'*Einstein Telescope* (ET) è proseguita a tutti i livelli, sia sul piano tecnico-ingegneristico che scientifico-diplomatico. Dal punto di vista scientifico, c'è un crescente consenso sul fatto che la configurazione del rivelatore con due interferometri a L sufficientemente lontani, secondo lo schema già sperimentato da Virgo/Ligo, sia più performante e meno rischiosa rispetto alla configurazione con tre bracci a triangolo in un solo sito. Con i fondi PNRR del progetto ETIC, stanno proseguendo sia lo studio per la caratterizzazione del sito e la valutazione del costo degli scavi per entrambe le configurazioni, commissionato alla società RockSoil, sia la creazione di laboratori presso le nostre strutture dedicati a sviluppare le tecnologie per ET. Sul fronte scientifico-diplomatico, la conferenza del G7 Scienza e Tecnologia dedicata grandi infrastrutture di ricerca che abbiamo contribuito a organizzare in collaborazione con il MUR a Su Gologone in Sardegna, è stata anche una vetrina internazionale per il sito italiano candidato a ospitare ET, la miniera di Sos Enattos che le delegazioni hanno avuto occasione di visitare. In collaborazione con MUR e MAECI, stiamo siglando accordi di collaborazione scientifica e supporto alla candidatura italiana per ET sia a livello governativo, come quello sottoscritto in luglio a Olbia con la Spagna, sia a livello di istituti di ricerca, come la lettera d'intenti firmata con il nuovo istituto astrofisico della Sassonia DZA. Il nostro obiettivo è mantenere il cronoprogramma della roadmap ESFRI, arrivando alla decisione su configurazione e sito (o siti) di ET entro il 2026, puntando a portare ET a Sos Enattos, sia nel caso della configurazione a triangolo (sito singolo) che della doppia L (multisito). Nel frattempo, abbiamo siglato un accordo con RAS, INAF e INGV per la costruzione entro 1-2 anni di ET-SUnLAB, un laboratorio di superficie nel sito di Sos Enattos con un suo programma scientifico multidisciplinare indipendente, ma che vuole anche essere il seme della grande infrastruttura di ricerca che sarà ET.

Più in generale, nell'ambito delle relazioni internazionali, proseguiamo i programmi di incontri annuali con i principali istituti e agenzie che finanziano la ricerca in fisica fondamentale in Europa, USA, Cina per discutere lo stato delle attività comuni e le possibili nuove iniziative. Seguiamo con particolare attenzione la situazione in USA dove le politiche introdotte dalla nuova amministrazione stanno provocando incertezza e paralisi a livello delle agenzie federali e delle università. Stiamo lavorando per confermare e mettere in sicurezza i numerosi accordi che abbiamo con le agenzie americane riguardo ad importanti attività presenti e future come DUNE e SQMS a Fermilab, il progetto Urania per DarkSide, EIC a BNL e Legend-1000 a LNGS.

L'impegno straordinario per i progetti del PNRR non ha ostacolato le altre attività di ricerca che vedono coinvolta la nostra comunità, come potrete leggere in dettaglio in questo piano triennale. A LHC al CERN è in corso il *Run 3* e tutti i grandi esperimenti – ATLAS, CMS, LHCb e ALICE – sono in presa dati, con il duplice obiettivo di continuare a studiare il bosone di Higgs con maggior precisione e di scoprire fisica oltre il Modello Standard. Sono attive anche le collaborazioni con esperimenti in funzione o in costruzione ad altri acceleratori europei, americani e asiatici, in particolare nel settore della fisica di alta intensità, come ad esempio MEG a PSI in Svizzera, DUNE a FNAL in USA, BELLE II a KEK in Giappone, BES III a BEPC II in Cina.

Vari esperimenti a carattere internazionale per la ricerca della materia oscura (CRESST, DAMA, XENONnT) e per lo studio della natura del neutrino (CUORE, GERDA) stanno prendendo dati nei nostri Laboratori Nazionali del Gran Sasso, il laboratorio sotterraneo più grande al mondo, assicurandogli la *leadership* mondiale su questi temi di grande

rilevanza scientifica. Abbiamo operato con successo per mantenere al Gran Sasso questa *leadership*, sia potenziando il laboratorio con in fondi PNRR del progetto LNGS-FUTURE, sia assicurando ai Laboratori diversi esperimenti di prossima generazione, proposti o già in costruzione, sia per la ricerca della materia oscura (COSINUS, DARKSIDE, DARWIN) che del decadimento doppio- $\beta$  senza neutrini (CUPID, LEGEND).

Negli altri tre Laboratori Nazionali è in corso, a diversi livelli di avanzamento, un programma di aggiornamento delle infrastrutture determinato da obiettivi scientifici ben definiti, che tiene anche conto delle esigenze di sostenibilità energetica e di ridotto impatto ambientale. Ai Laboratori Nazionali di Frascati sta procedendo la costruzione di EuPRAXIA, una nuova infrastruttura per applicazioni multidisciplinari basata sulla tecnologia di accelerazione al plasma che mette Frascati in primo piano tra i laboratori europei che si occupano di fisica e tecnologia degli acceleratori. A ulteriore supporto di EUPRAXIA, che dal 2019 usufruisce di un finanziamento dedicato del MUR per oltre 100 M€ e ha tratto vantaggio anche dal progetto PNRR sinergico EuAPS, è stato recentemente sottoscritto un accordo quadro tra INFN, MUR e Regione Lazio che potrà portare a ulteriori finanziamenti con risorse del Programma FESR 2021-2027.

Ai Laboratori Nazionali di Legnaro si è conclusa la fase 1 del progetto SPES e ha iniziato a funzionare il nuovo ciclotrone B70, producendo all'inizio di quest'anno il primo fascio di ioni instabili, passaggio indispensabile per avviare il programma di ricerca che prevede sia attività di fisica e astrofisica nucleare che attività applicative, in particolar modo produzione di radionuclidi di interesse medicale. Anche ai Laboratori Nazionali del Sud si sta completando il programma di potenziamento del laboratorio e quest'anno entrerà in funzione il nuovo ciclotrone superconduttore che permetterà di studiare fenomeni rari in fisica nucleare, oltre a dare supporto alle già menzionate attività di ricerca di KM3NeT.

La nostra infrastruttura di calcolo scientifico si integra naturalmente nell'ambito di ICSC, il Centro Nazionale di Ricerca in *High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing* di cui siamo stati promotori nell'ambito del PNRR e che punta a creare un'infrastruttura nazionale distribuita per il calcolo di tutta la comunità scientifica nazionale usando il modello *data lake*. Una rappresentazione simbolica di questa evoluzione è stata offerta dal trasferimento del Tier 1 del CNAF, uno dei 10 centri a livello mondiale del WLCG (*Worldwide LHC Computing Grid*), nel nuovo data center al Tecnopolo di Bologna, accanto al data center del CINECA che ospita il supercomputer Leonardo. Sarà importante capire l'evoluzione di ICSC dopo la fine del PNRR, sia per il mantenimento dell'infrastruttura di calcolo che per lo sviluppo delle ricerche multidisciplinari, dall'intelligenza artificiale, passando per le tecnologie quantistiche, che hanno avuto un impulso con le attività degli *spokes* di ICSC ma anche dei partenariati estesi FAIR e NQSTI.

Tra le numerose applicazioni di rilievo delle nostre tecnologie voglio citare ancora la superconduttività che, con i fondi PNRR del progetto IRIS, ha ampliato le attività del nostro LASA (Laboratori Acceleratori e Superconduttività Applicata) a Milano, ma anche dei laboratori a Genova e Salerno, con applicazioni non solo agli acceleratori di particelle, ma anche alla fisica medica e al trasporto di energia elettrica senza dissipazione. Infine, una menzione anche per le applicazioni delle tecniche nucleari allo studio e la conservazione dei beni culturali, associate principalmente al LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente E i Beni Culturali) della sezione di Firenze ma che trovano una declinazione su varie strutture INFN attraverso la rete di competenze CHNET.

Venendo alle questioni relative al finanziamento dell'Istituto, abbiamo molto apprezzato lo sforzo del Governo che ha portato a un significativo incremento del FOE negli ultimi anni anche se, in termini reali, questo aumento è stato in gran parte assorbito dall'inflazione. Un elemento limitante per l'operatività dell'Istituto è la costante diminuzione delle entrate senza vincolo di destinazione, in contrasto con l'andamento crescente del finanziamento delle Commissioni Scientifiche nei bilanci degli ultimi anni, a conferma dell'interesse dell'Ente per le attività di ricerca non finalizzate. Sarebbe importante nel futuro poter contare su un aumento stabile anche dei fondi FOE senza vincolo di

destinazione, in modo da poter consolidare le nostre attività di ricerca, sostenute attualmente con finanziamenti straordinari. Esauriti i finanziamenti del PNRR, infatti, desta qualche preoccupazione l'impatto che il mantenimento delle nuove attività partite con il PNRR potrebbe avere negli anni futuri. Ci stiamo attrezzando per poter accedere con successo ai finanziamenti previsti per questo scopo. Restiamo convinti in generale che sarebbe nell'interesse nazionale, in particolare per lo sviluppo economico e sociale, portare stabilmente il livello di finanziamento della ricerca in termini di frazione del PIL più vicino a quello dei grandi paesi europei. Segnalo infine un importante passaggio gestionale relativo al bilancio: l'Istituto ha avviato la fase preparatoria del passaggio alla contabilità economico-patrimoniale che dovrebbe essere completato nel 2026.

Sul fronte delle spese, la complessa situazione internazionale e i conflitti in corso hanno causato un aumento dei prezzi delle materie prime con ripercussioni sulla produzione industriale, incluse le forniture per la ricerca. Inoltre, le tensioni nella zona del Mar Rosso e le conseguenti limitazioni delle vie commerciali marittime hanno portato a ritardi nei tempi di approvvigionamento, rendendo più difficile lo sviluppo di nuovi progetti. Pur con queste difficoltà, la ricerca e l'innovazione continuano ad avere, forse anche più che in passato, un ruolo cruciale nel mitigare gli effetti delle crisi.

Per quanto riguarda le risorse umane, il nostro personale a tempo indeterminato si attesta intorno alle 2100 unità, un numero che riteniamo congruo in relazione alle nostre attività e al nostro budget. La nostra politica del personale sul medio-lungo termine punta quindi alla stabilità, garantendo il ricambio generazionale. Da questo punto di vista, ci auguriamo che la limitazione del turnover al 75% prevista a partire dal 2026 possa essere superata o quantomeno incrementata al 100% per gli enti di ricerca.

A breve termine, con la conclusione dei progetti PNRR, è necessaria un'azione sul reclutamento mirata a mantenere la funzionalità delle nostre strutture e delle infrastrutture di ricerca, potenziate con il finanziamento straordinario. A questo scopo, anticipando le risorse del turnover dei prossimi anni, metteremo in atto, già a partire da quest'anno e per il prossimo triennio, un piano straordinario di assunzioni di tecnologi e tecnici, offrendo un'opportunità concorsuale alle persone che si sono formate e hanno lavorato per l'Istituto sui progetti PNRR. In questa operazione siamo agevolati dalle strategie che abbiamo utilizzato nel reclutamento, volte a mappare le professionalità richieste dal PNRR sulle esigenze delle strutture. Tuttavia, le disomogeneità nelle attività e nella distribuzione territoriale, insite nella natura stessa dei bandi PNRR, non rendono possibile né auspicabile un assorbimento totale di questo personale. Ci auguriamo quindi che non vengano previsti meccanismi automatici di stabilizzazione, ma si continui piuttosto a consentire un reclutamento a scadenze regolari, come è avvenuto negli ultimi anni, agevolato eventualmente con un finanziamento *ad hoc*.

Per mantenere le carriere scientifiche nell'Istituto attrattive per i giovani, continueremo ad attuare un programma di concorsi a scadenze regolari per tutti i profili di ricerca e una politica di accesso ai livelli I e II (dirigenti di ricerca/tecnologi e primi ricercatori/tecnologi) che punta a riprodurre, pur nella diversità di ordinamento, la tempistica media delle carriere universitarie. Allo stesso tempo, continueremo ad utilizzare tutte le forme previste dal CCNL per le progressioni di carriera del nostro personale tecnico-amministrativo.

Concludo segnalando ancora due eventi importanti e una novità di rilievo per la vita dell'Istituto: la medaglia Galileo Galilei per fisica teorica, istituita dall'INFN nel 2019 e giunta alla quarta edizione, è stata assegnata quest'anno ai fisici americani Pierre Sikivie e Leonard Susskind per le loro ricerche pionieristiche rispettivamente sugli assioni e sui buchi neri. La cerimonia di premiazione si terrà al Galilei Galilei Institute a Firenze in primavera. Inoltre, in occasione dei festeggiamenti al CERN per i suoi 90 anni e i 40 anni del suo premio Nobel, abbiamo consegnato a Carlo Rubbia la medaglia INFN, un esclusivo riconoscimento per coloro che hanno contribuito in modo eccezionale a costruire la storia dell'Istituto.

Infine, ultima novità ma non meno importante, è finalmente accessibile il nuovo sito web istituzionale dell'INFN. Frutto di oltre un anno di lavoro, rivisitato nella grafica e nella navigazione, fornisce una nuova immagine digitale dell'Istituto, con contenuti di attualità e di approfondimento scientifico realizzati in collaborazione con le nostre ricercatrici e i nostri ricercatori, declinati per vari tipi di pubblico: scuola, aziende, grande pubblico, media e comunità. Nel corso del 2025 questa nuova immagine digitale si propagherà agli altri siti dell'INFN – dalle strutture, ai comitati e alle commissioni scientifiche.

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 5 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.

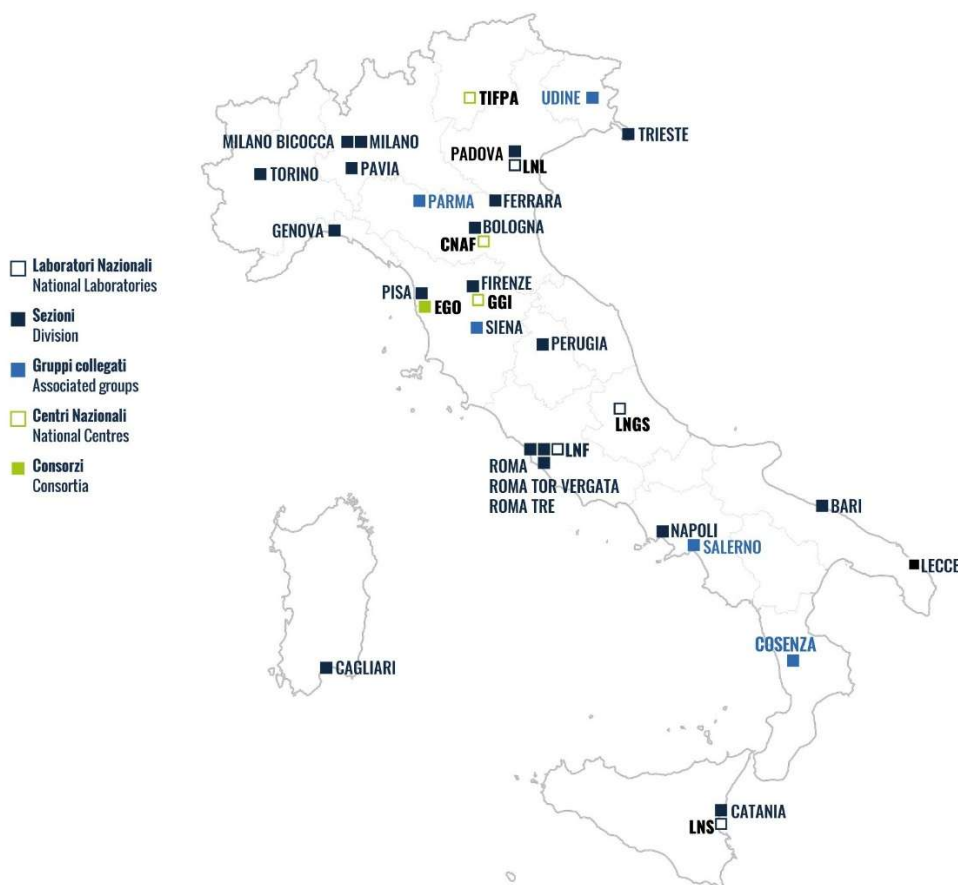


Figura 1.1 Le strutture sul territorio nazionale

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 autonoma di Trento, all'università di Trento 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.

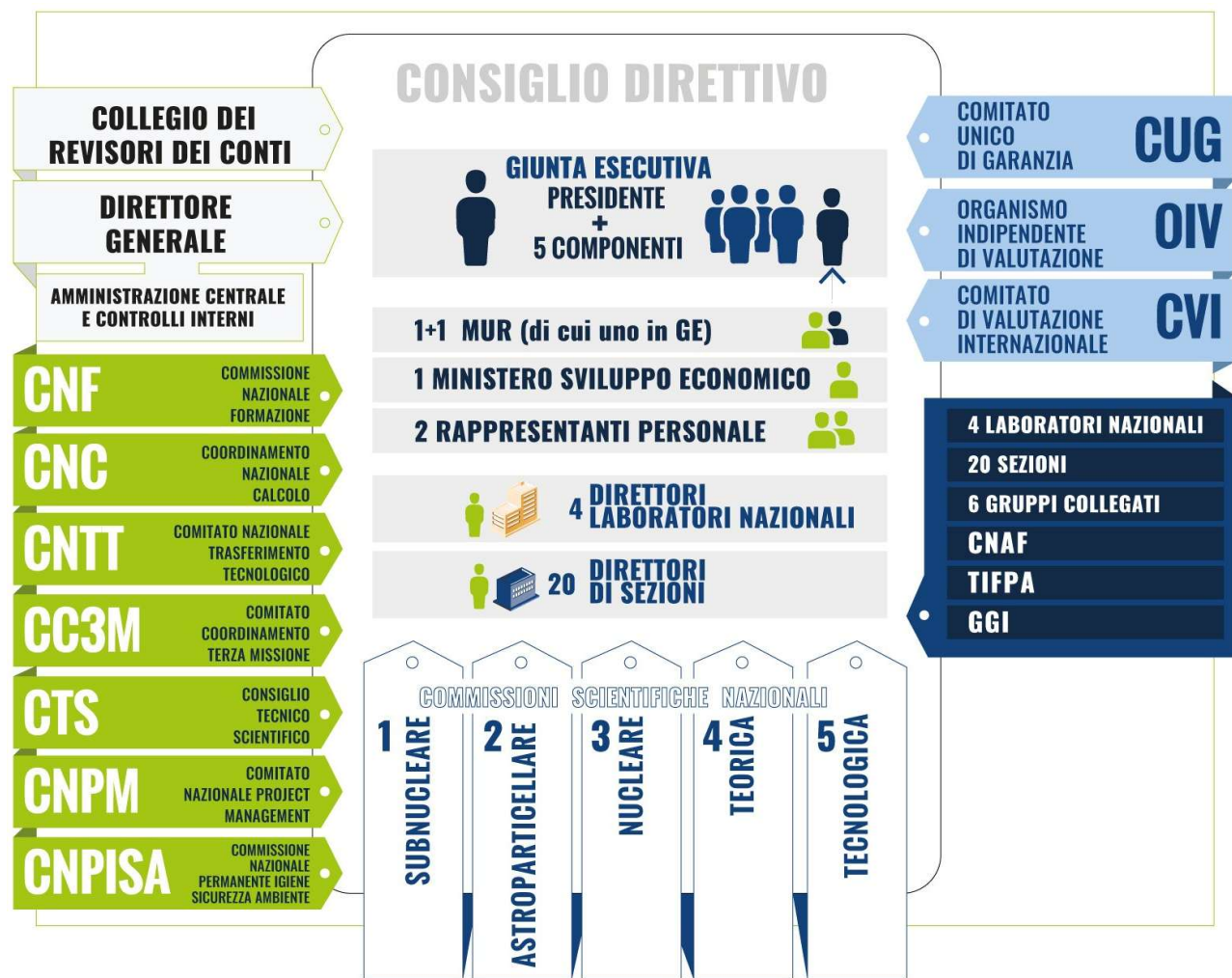


Figura 1.2 L'organizzazione dell'Ente

## 2. Le Risorse finanziarie

### 2.1 L'evoluzione storica del bilancio

La figura sottostante (Fig. 2.1) illustra la serie storica di dati tratti dai bilanci consuntivi dell'Istituto rettificati con il sistema dei "prezzi costanti", completata con le previsioni di bilancio per gli anni 2025-2027.

Le Entrate senza vincolo di destinazione (FOE Assegnazione Ordinaria), dopo una progressiva e costante riduzione rispetto ai massimi del 2000 e alla spending review del 2010, negli anni successivi si è avuta una inversione di tendenza per una maggiore consapevolezza dell'importanza della ricerca e dell'innovazione. Comunque, l'INFN ha intrapreso negli anni una strategia volta da una parte al contenimento delle spese, dall'altra al reperimento di nuove sorgenti di finanziamento, in modo tale da poter mantenere a livello di eccellenza le attività di ricerca in cui è impegnato.

Questa strategia ha consentito la crescita dei finanziamenti con vincoli di destinazione (Fig. 2.1, riga verde del grafico). Si tratta principalmente di fondi destinati a progetti di ricerca o tecnologici di durata pluriennale provenienti da diverse fonti da impiegare per l'assunzione di nuovo personale (Tab. 2.2 e Cap. 3), e si riferiscono ai fondi dei programmi europei, ai fondi regionali (PON e POR), ai progetti a valenza internazionale, a carattere continuativo, infrastrutturale e infine al PNRR.

Il decremento delle Entrate senza vincolo di destinazione, insieme alla quota di bilancio riferita a spese obbligatorie incompressibili, come quelle per il personale, rappresenta un fattore limitante per l'operatività dell'Ente. Questa riduzione si riflette prevalentemente sulle spese di funzionamento e di ricerca per le quali risulta indispensabile dover ricorrere anche a finanziamenti esterni a destinazione vincolata.

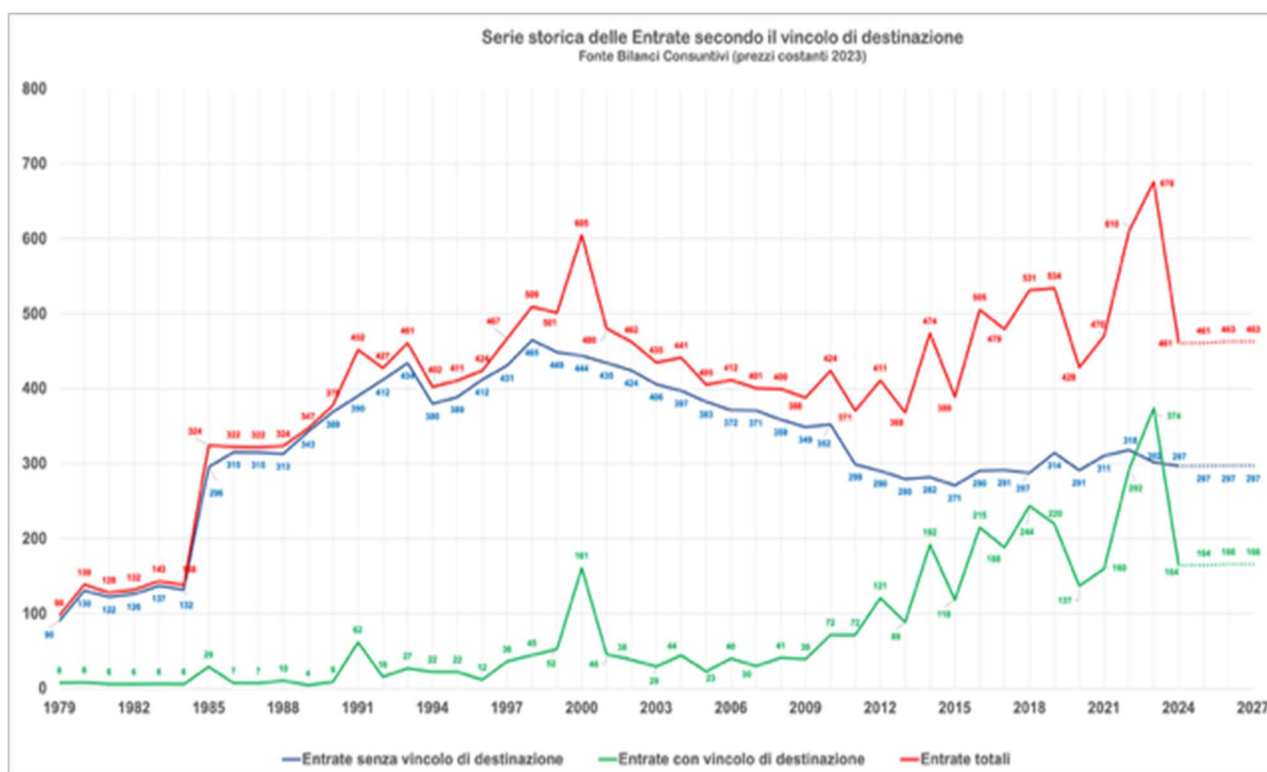


Figura 2.1 Serie storica delle Entrate secondo il vincolo di destinazione

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 2022 e 2023 i finanziamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Il piano si inserisce all’interno del programma Next Generation EU (NGEU) e l’istituto ha presentato - in qualità di proponente, co-proponente, hub, spoke, affiliato – e avuto approvati 16 progetti per un ammontare complessivo finanziato di 370 M€, di cui 166 M€ accertati nell’esercizio 2022, e 204 M€ nell’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. 2.2) illustra le entrate dell’ente a partire dal 2010, tratte dai bilanci consuntivi dell’istituto, dal pre-consuntivo 2024 e dal bilancio di previsione per l’esercizio 2025, 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).

L’istituto si è attivato per avere accesso ai finanziamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Il piano 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

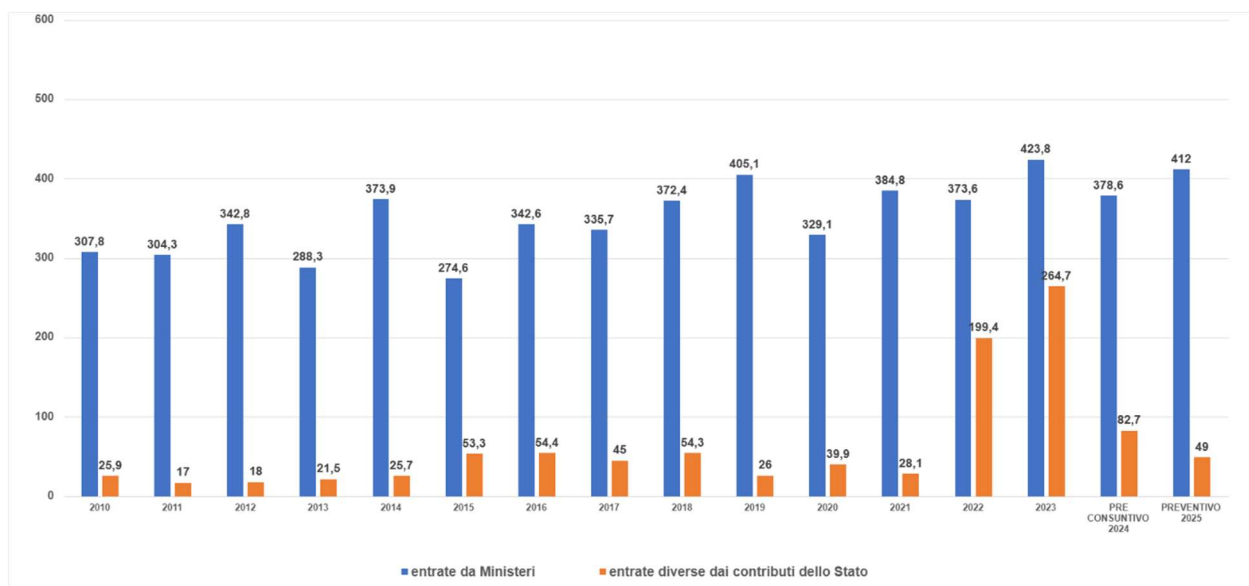


Figura 2.2 Entrate

compimento in tempi rapidi.

I prossimi anni vedranno quindi l'istituto fortemente impegnato nella gestione dei progetti finanziati e questo comporterà un notevole sforzo sia manageriale che organizzativo per raggiungere gli obiettivi prefissati (Cap. 7).

## 2.2 Le risorse ordinarie

Il budget INFN viene redatto sulla base del decreto di assegnazione del FOE da parte del MUR e risulta articolato, con riferimento all'ultimo decreto emanato, nella seguente tabella 2.1:

<b>Decreto MUR n. 1096 del 25 luglio 2024</b>	
FOE ordinario	296.755.830
FOE internazionali	29.400.000
FOE a carattere continuativo	16.000.000
FOE straordinario	100.000
<b>Totale Entrate</b>	<b>342.255.830</b>

*Tabella 2.1 – Composizione del FOE (in euro)*

Il FOE ordinario non ha una destinazione vincolata a progetti di ricerca predeterminati ed è destinato a finanziare le spese di personale e spese generali di funzionamento, nonché 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, invece vincolati a progetti regolati da accordi internazionali, stipulati dal governo italiano, come ad esempio ESS (European Spallation Source) in Svezia o VIRGO in Italia.

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 superconduttività. 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 2.3 si rappresenta graficamente l'andamento delle entrate dal MUR negli ultimi 2 anni consuntivati (2022-2023), nell'esercizio in via di consuntivazione (2024) e nel bilancio di previsione per l'anno 2025, comprensivo delle risorse PNRR.

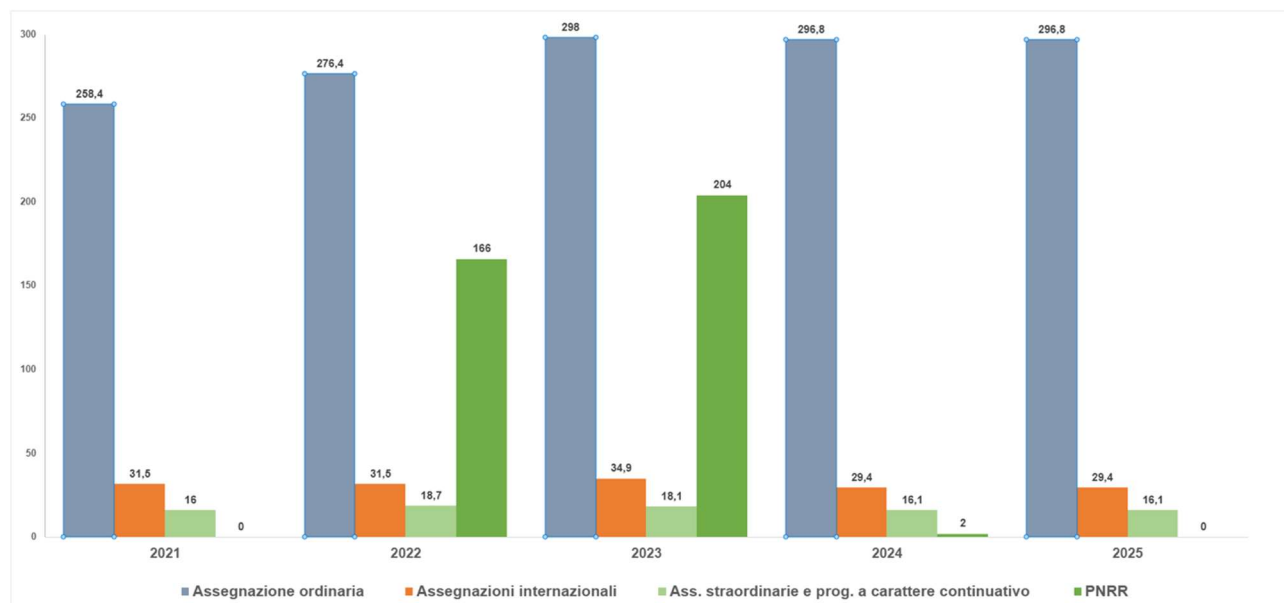


Figura 2.3 Differenti tipologie di Entrate FOE (in milioni di euro)

Il Decreto FOE 2024 per l'INFN ha consolidato vari finanziamenti straordinari ricevuti negli anni precedenti, rendendoli parte del finanziamento ordinario. Ecco un riepilogo dei principali finanziamenti inglobati:

1. **D.L. 34/2020 art. 238** (Decreto Rilancio) e DMUR n. 802/2020: Questo decreto, convertito in legge il 17 luglio 2020, ha assegnato all'INFN € 9.787.413 per sostenere l'accesso dei giovani alla ricerca. Questo finanziamento è stato inglobato nel FOE dal 2022.
2. **L. 178/2020 art. 1 c. 541** e DMUR n. 614/2021: Questa legge ha assegnato all'INFN € 4.463.938 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. Anche questo finanziamento è stato inglobato nel FOE dal 2022.
3. **L. 234/21 art. 1 c. 310 lett. a**: Questo articolo ha previsto un'integrazione del FOE, consolidata nel FOE dal 2023 per un importo pari a 12.168.364,00.
4. **L. 234/21 art. 1 c. 310 lett. c**: Questo articolo ha previsto un'integrazione del FOE, consolidata nel FOE dal 2023 per un importo di 3.740.807,00.
5. **L. 234/21 art. 1 c. 310 lett. b**: Questo articolo ha previsto un'integrazione del FOE, consolidata nel FOE dal 2024 per un importo di 3.814.886,86.

La Legge n. **145/2018 art.1, c. 95**, che istituisce un fondo investimenti di potenziamento delle infrastrutture di ricerca, prevede per tre progetti INFN di ricerca per i prossimi anni (HPC, Laboratori (interamente dedicato al progetto EuPRAXIA) e ESS) un finanziamento pluriennale. Si rinvia al capitolo 5.1.5 e seguenti (HPC), al capitolo 6 (EuPRAXIA), capitolo 7.2 (ESS) per la descrizione scientifica dei progetti. Nella Tabella 2.2 è riportata la proiezione dei finanziamenti specifici previsti nei diversi laboratori di ricerca. Per il progetto HPC, si è già provveduto all'accertamento delle annualità 2024 e 2025 nel corso dell'esercizio 2023 in ragione dell'andamento del progetto. Il finanziamento al progetto LABORATORI è stato soggetto ad una variazione, in diminuzione pari ad euro 10 M€, con il D.L. n. 61 del 2023 comunicato con nota della Direzione Generale della Ricerca MUR n. 25650/2023.

Intervento	Denominazione	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	TOT
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	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
European Spallation Source (ESS)	Finanziamento per la realizzazione del Progetto ESS	-	-	-	-	15	15	20	20	20	20	20	20	20	5	175
<b>TOT</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 2.2 – Finanziamento pluriennale progetti infrastrutturali in milioni di euro

La Legge bilancio del 2020 n. 178, art. 1 comma 549, prevede un finanziamento pluriennale a valere sul Fondo edilizia infrastrutture di ricerca. Sulla base delle interlocuzioni con il MUR si stima di ricevere un importo di 35 milioni per l'anno 2025 e di 34 milioni per l'anno 2026.

La Legge n. 160 del 2019, art. 1 co. 14, l'Istituto prevede di ricevere un finanziamento per un importo di 5 milioni nel 2025 e di 7 milioni nel 2026, come da proiezione seguente (Tabella 2.3):

Fondo per il rilancio degli investimenti delle Amministrazioni centrali dello Stato per lo sviluppo del Paese  
art. 1 commi 14 e 15 legge n. 160/2019

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	TOTALE
INFN 2031: la visione dell'INFN sugli investimenti da effettuare nel prossimo decennio nelle proprie infrastrutture di ricerca	5	7	10	8	10	11	12	18	20	59	160

Tabella 2.3 – Fondo per il rilancio degli investimenti -Legge n. 160/2019 in milioni di euro

Nella Tabella 2.4 si riporta il dettaglio dei finanziamenti statali a partire dal 2019 con una proiezione previsionale per il triennio 2025-2027.

Finanziamenti	2019	2020	2021	2022	2023	Preconsuntivo 2024	Stima 2025	Stima 2026	Stima 2027
FOE	253,7	251	258,4	276,4	292,9	296,8	296,8	296,8	296,8
FOE-Progetti internazionali	31	31	31,5	31,5	34,9	29,4	29,4	29,4	29,4
FOE-Progetti straordinari	1,1	0,3	1	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FOE-Progetti continuativi	15	15	15	18	18	16	16	16	16
FOE-Premialità					5,1				
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) consolidato nel FOE dal 2024	-	-	-	9,6	3,8	-	-	-	-
L 234/21 art. 1 co 310 lett. c) consolidato nel FOE dal 2023	-	-	-	3,7	-	-	-	-	-
L. 178/2020 art. 1 c.549 DM 646/21 (fondo edilizia e infrastrutture)	-	-	7,6	7	31,5	38,7	35	34	34
L. 145/2018 art. 1 c 95 (HPC, laboratori e ESS)	8	22	53	20	58	32	33	33	32
L. 196/2017 progetto XFel	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3,6	3,6	3,6	3,6
L. 160/2019 co 14-15 rilancio investimenti	-	-	-	-	-	-	5	7	10
PNRR	-	-	-	166	204	2	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-
PNR (L. 178/2021 art. 1 c. 578 DM 737/21)	-	-	6,2	6,2	-	2	-	-	-
<b>Totale</b>	<b>313</b>	<b>327,4</b>	<b>395,1</b>	<b>555,5</b>	<b>652,5</b>	<b>420,6</b>	<b>418,9</b>	<b>419,9</b>	<b>421,9</b>

Tabella 2.4: finanziamenti statali 2019-2027 in milioni di euro

L'importo per gli anni 2025-2027 viene redatto sulla base dell'assegnazione complessiva del contributo FOE, come previsto dal Decreto MUR n. 1096 del 25 luglio 2024.

Si rimanda al Capitolo 5 e seguenti per ulteriori dettagli sui progetti finanziati dalle leggi citate e dal PNRR.

### 2.3 Il profilo triennale delle risorse disponibili e della spesa per il periodo 2024-2026

Le previsioni delle risorse disponibili e della spesa presentate nel bilancio di previsione 2025, sono basate sui seguenti criteri di riferimento:

#### ENTRATE

Le entrate per il primo esercizio del bilancio pluriennale (2025), escluse le partite di giro, sono riportate nella Tabella 2.4.

(in milioni di euro)

	2025	2026	2027
<b>ENTRATE:</b>			
FOE ordinario MUR	299,76	299,76	299,76
FOE internazionali	29,47	29,47	29,47
FOE a carattere continuativo	16,00	16,00	16,00
FOE straordinario	0,10	0,10	0,10
Progettuali	112,40	114,40	114,40
Entrate diverse	3,59	3,59	3,59
<b>Totale Entrate</b>	<b>461,31</b>	<b>463,31</b>	<b>463,31</b>
<b>SPESE:</b>			
<b>ATTIVITÀ DI RICERCA CSN:</b>			
Fisica delle particelle	27,00	27,00	27,00
Fisica astroparticellare	13,70	13,70	13,70
Fisica nucleare	10,45	10,45	10,45
Fisica teorica	4,0	4,0	4,0
Ricerche tecnologiche	6,20	6,20	6,20
Totale	61,35	61,35	61,35
Progetti Strategici, Speciali, Calcolo, CC3M e Trasferimento Tecnologico, Cofinanziamenti	4,49	4,49	4,49
<b>ATTIVITÀ DI RICERCA:</b>			
Attività di ricerca da finanziamenti progettuali	92,59	94,59	94,59
Attività di ricerca da finanziamenti ministeriali	29,47	29,47	29,47
Attività di ricerca da finanziamenti diversi	0,10	0,10	0,10
Totale	122,16	124,16	124,16
Fondo di riserva	5,000	5,000	5,000
<b>Totale Ricerca</b>	<b>192,99</b>	<b>194,99</b>	<b>194,99</b>
Funzionamento strutture	41,78	41,78	41,78
Personale	194,41	194,41	194,41
Fondi centrali e partecipazione a Consorzi	27,12	27,12	27,12
<b>Totale Spese</b>	<b>461,31</b>	<b>463,31</b>	<b>463,31</b>

Tabella 2.6 Previsione pluriennale 2025-2027 in milioni di euro

Per gli esercizi 2026 e 2027, le entrate rimangono pressoché costanti. Si registra l'avvio del piano rilancio investimenti L. 160/2019 co. 14-15.

#### SPESE

Le spese previste per l'anno 2025 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 la stima è stata effettuata in relazione allo stato di avanzamento 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

Bilancio Triennale	2025		2026		2027	
Personale	199,41	43,23%	199,41	43,04%	199,41	43,04%
Funzionamento	22,62	4,90%	21,78	4,70%	21,78	4,70%
Attrezzature	19,16	4,15%	20,00	4,32%	20,00	4,32%
Ricerca	192,99	41,84%	194,99	42,09%	194,99	42,09%
Spese Centrali Varie	27,12	5,88%	27,12	5,85%	27,12	5,85%
<b>Totale</b>	<b>461,31</b>	<b>100,00%</b>	<b>463,31</b>	<b>100,00%</b>	<b>463,31</b>	<b>100,00%</b>

Tabella 2.5 Previsione pluriennale delle spese 2025-2027 in milioni di €

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 2025 e non ha valore autorizzativo. Il Bilancio pluriennale viene annualmente aggiornato in occasione della presentazione del Bilancio di previsione e non forma oggetto di autonoma approvazione.

Nella Tabella 2.5 viene rappresentata la previsione finanziaria pluriennale di spesa per il triennio 2025-2027 allegata al Bilancio di previsione 2025.

Si precisa che la previsione di spesa del personale riportata nella Tabella 2.5 si riferisce, al costo del personale come risultante dai capitoli di spesa del piano dei conti integrato riferito alla classificazione spese del personale così come prevista dal suddetto Piano dei conti. Tale somma pertanto differisce da quella indicata nel paragrafo successivo "Risorse di personale" che riporta i costi del conto annuale.

La tabella 2.6 riassume il quadro complessivo delle risorse disponibili e della previsione di spesa per il triennio 2025-2027. Si sottolinea come sia importante nel prossimo futuro fare affidamento su un aumento stabile anche dei fondi FOE per la ricerca senza vincolo di destinazione, in modo da poter consolidare le attività di ricerca, sostenute attualmente con i fondi del PNRR e poter valorizzare al meglio l'incremento del personale finanziato in questi anni.

Per quanto riguarda in particolare le spese per la ricerca distribuite attraverso le cinque Commissioni Scientifiche Nazionali, la tabella 2.7 riporta la distribuzione delle spese per la ricerca a consuntivo nel periodo 2022-2024 finanziate da ciascuna Commissione e divise tra i 4 laboratori e le 20 sezioni (inclusi i 5 gruppi collegati). Il confronto evidenzia un andamento crescente del finanziamento delle attività di ricerca negli ultimi anni e conferma l'attenzione dell'Ente alle attività di ricerca non finalizzata.

Strutture	CSN1	CSN2	CSN3	CSN4	CSN5	Totale	Totale	Totale
						2024	2023	2022
LNF	1,90	0,20	0,35	0,13	0,24	2,82	2,80	2,57
LNGS	0,00	1,53	0,08	0,06	0,06	1,73	1,70	0,89
LNL	0,01	0,20	0,60	0,00	0,43	1,24	1,08	1,57
LNS	0,00	1,10	2,60	0,03	0,25	3,98	1,55	1,97
Sezioni	25,34	11,27	6,93	3,28	4,55	51,37	52,76	44,03
<b>Totale</b>	<b>27,25</b>	<b>14,30</b>	<b>10,56</b>	<b>3,50</b>	<b>5,53</b>	<b>61,14</b>	<b>59,89</b>	<b>51,03</b>

Tabella 2.7 Spese finanziate dalle CSN in milioni di euro

## Il contesto nazionale e internazionale

Nel 2024, gli effetti negativi della pandemia da COVID-19 sono stati finalmente superati, consentendo alle attività di ricerca di riprendere con scambi internazionali, campagne di misura e riunioni in presenza. L'esperienza vissuta durante la pandemia ha portato a una maggiore propensione a organizzare riunioni anche in modalità remota, accompagnata da una forte accelerazione nella digitalizzazione dei processi.

Nel 2025, l'Istituto si concentrerà sul completamento dell'implementazione del codice degli appalti 2023, che introduce l'e-procurement, e sulla preparazione per il passaggio alla contabilità economico-patrimoniale, previsto entro il 2027. In risposta a questi cambiamenti significativi, l'Istituto sta collaborando con una società di consulenza per riesaminare i propri processi amministrativi, con l'obiettivo di reingegnerizzare procedure e flussi di lavoro. A livello internazionale, la situazione è complessa, con conflitti che interessano aree vicine all'Europa. Il conflitto in Ucraina, iniziato a febbraio 2022, ha causato un aumento dei prezzi delle materie prime, in particolare del gas naturale, con ripercussioni sui settori industriali dipendenti. Inoltre, le tensioni nella zona del Mar Rosso e le conseguenti limitazioni delle vie commerciali marittime hanno portato a ritardi nei tempi di approvvigionamento e complicato lo sviluppo di nuovi progetti. Nonostante le difficoltà economiche la ricerca e l'Innovazione hanno assunto un ruolo cruciale nel mitigare gli effetti delle crisi. La cooperazione internazionale in ambito scientifico ha favorito lo sviluppo di soluzioni innovative per affrontare le sfide globali legate ai conflitti ed alle crisi economiche.



### 3. Le risorse di personale

#### 3.1 Fabbisogno di personale

L'Istituto alla data del 31 dicembre 2024 ha registrato un organico di 2107 dipendenti a Tempo Indeterminato a fronte dei 2113 rilevati l'anno precedente.

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 2024 e il riscontro del Tempo Indeterminato alla data del 31 dicembre 2023.

Per il triennio 2025 – 2027, 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.

Profilo	Livello	Personale a Tempo Indeterminato al 31/12/2023	Personale a Tempo Indeterminato al 31/12/2024			Personale a Tempo Determinato al 31/12/2024		
			M	F	Totale	M	F	Totale
Direttore Generale		0			0	1		1
Dirigente di II fascia		2		2	2			0
Dirigente di ricerca	1	147	110	29	139	1		1
Primo ricercatore	2	263	283	84	367			0
Ricercatore	3	263	108	32	140			0
Dirigente tecnologo	1	71	63	6	69	1	1	2
Primo tecnologo	2	138	179	57	236	2	1	3
Tecnologo	3	255	126	39	165	104	58	162
Collaboratore tecnico E.R.	4	366	363	27	390			0
Collaboratore tecnico E.R.	5	104	68	2	70			0
Collaboratore tecnico E.R.	6	96	100	5	105	92	9	101
Operatore tecnico	6	27	22	3	25			0
Operatore tecnico	7	3	2		2			0
Operatore tecnico	8	2	2		2		1	1
Funzionario di amministrazione	4	48	10	50	60			0
Funzionario di amministrazione	5	41	7	28	35	1	4	5
Collaboratore di amministrazione	5	156	27	127	154			0
Collaboratore di amministrazione	6	33	9	33	42			0
Collaboratore di amministrazione	7	88	27	69	96	4	25	29
Operatore di amministrazione	7	7	3	3	6			0
Operatore di amministrazione	8	3	1	1	2			0
<b>Totale</b>		<b>2113</b>	<b>1510</b>	<b>597</b>	<b>2107</b>	<b>206</b>	<b>99</b>	<b>305</b>

Tabella 3.1 Personale al 31 dicembre 2024

Profilo e livello	NUOVE ASSUNZIONI				NUOVE PROGRESSIONI		
	PTA anni precedenti	Previsioni PTA 2025 - 2027		Totale	Previsioni PTA 2025 - 2027		Totale
	Personale da assumere	Fabbisogno personale	Rispetto obblighi legge 68/99		Art. 52	Art. 53	
Dirigente I fascia	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>
Dirigente II fascia	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>
Dirigente di ricerca	25	0	0	<b>25</b>	0	0	<b>0</b>
Primo ricercatore	35	5	0	<b>40</b>	0	0	<b>0</b>
Ricercatore	50	0	0	<b>50</b>	0	0	<b>0</b>
Dirigente tecnologo	26	0	0	<b>26</b>	0	0	<b>0</b>
Primo tecnologo	24	20	0	<b>44</b>	0	0	<b>0</b>
Tecnologo	9	30	0	<b>39</b>	0	0	<b>0</b>
CTER IV	4	0	0	<b>4</b>	0	74	<b>74</b>
CTER V	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>
CTER VI	34	50	3	<b>87</b>	0	0	<b>0</b>
Op.tec. VI	0	0	0	<b>0</b>	0	7	<b>7</b>
Op.tec. VII	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>
Op.tec. VIII	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>
Funz. Amm. IV	0	0	0	<b>0</b>	0	11	<b>11</b>
Funz. Amm. V	12	15	0	<b>27</b>	20	0	<b>20</b>
Coll. Amm. V	0	0	0	<b>0</b>	0	28	<b>28</b>
Coll. Amm. VI	0	0	0	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>
Coll. Amm. VII	13	10	5	<b>28</b>	0	0	<b>0</b>
Op. Amm. VII	0	0	0	<b>0</b>	0	2	<b>2</b>
Op. Amm. VIII	2	0	0	<b>2</b>	0	0	<b>0</b>
<b>Totale</b>	<b>234</b>	<b>130</b>	<b>8</b>	<b>372</b>	<b>20</b>	<b>122</b>	<b>142</b>

Tabella 3.2 Fabbisogno di personale 2025 – assunzioni e progressioni

La tabella 3.2 riporta in dettaglio il fabbisogno del personale per l’anno 2025 separato in nuove assunzioni e progressioni. I dati sono riassunti nella tabella 3.3 che include anche le cessazioni previste durante l’anno. Le previsioni del fabbisogno di personale e le politiche di sviluppo professionale per gli anni 2026 e 2027 sono riassunte nelle Tabelle 3.4 e 3.5.

Nel 2025 prevediamo di completare le assunzioni di 50 Ricercatori, 25 Dirigenti di Ricerca e 25 Dirigenti Tecnologi autorizzate con l’approvazione dei precedenti PTA e in parte già in corso.

Per il prossimo triennio la nostra politica assunzionale continua ad avere l’obiettivo di mantenere stabile il livello occupazionale nell’Istituto. Riteniamo infatti che un numero pari a circa 2100 unità di personale a tempo indeterminato sia adeguato alle nostre attività e al nostro bilancio, mentre un’ulteriore significativa crescita, non accompagnata da un corrispondente aumento del budget, inciderebbe negativamente sulle nostre attività di ricerca.

Tuttavia, la conclusione dei progetti PNRR richiede un’azione sul reclutamento volta a mantenere la funzionalità delle nostre strutture e delle infrastrutture di ricerca, che si sono sviluppate e rafforzate grazie al finanziamento straordinario ottenuto con il PNRR. A questo scopo, anticipando le risorse del turnover dei prossimi anni, puntiamo

<b>SINTESI DEL FABBISOGNO DEL PERSONALE</b>						
<b>Profilo e livello</b>	<b>Personale in servizio al 31/12/2024</b>	<b>Nuove assunzioni</b>	<b>Cessanti anno 2025</b>	<b>Nuove progressioni</b>	<b>Posti liberati con i concorsi e le progressioni</b>	<b>Personale in servizio al 31/12/2025</b>
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	139	25	15	0	0	149
Primo ricercatore	367	40	16	0	0	391
Ricercatore	140	50	4	0	40	146
Dirigente tecnologo	69	26	3	0	0	92
Primo tecnologo	236	44	4	0	0	276
Tecnologo	165	39	0	0	40	164
CTER IV	390	4	12	0	0	382
CTER V	70	0	0	0	0	70
CTER VI	105	87	0	0	0	192
Op.tec. VI	25	0	2	0	0	23
Op.tec. VII	2	0	0	0	0	2
Op.tec. VIII	2	0	0	0	0	2
Funz. Amm. IV	60	0	0	0	0	60
Funz. Amm. V	35	27	0	20	0	82
Coll. Amm. V	154	0	3	0	20	131
Coll. Amm. VI	42	0	1	0	0	41
Coll. Amm. VII	96	28	0	0	0	124
Op. Amm. VII	6	0	0	0	0	6
Op. Amm. VIII	2	2	0	0	0	4
<b>Totale</b>	<b>2107</b>	<b>372</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>2339</b>

*Tabella 3.3 – Personale al 31 dicembre 2025 – Tabella riassuntiva*

a mettere in atto nel prossimo triennio un piano straordinario di assunzioni di Tecnologi e CTER, offrendo un'opportunità concorsuale alle persone che si sono formate e hanno lavorato per l'Istituto sui progetti PNRR. Già nel 2025 abbiamo previsto 50 nuove posizioni di CTER, per un totale di 87 sommando quelle già autorizzate. Per i Tecnologi abbiamo previsto 39 posizioni, di cui 30 nuove, nel 2025 e circa altrettante nel 2026 e 2027. Queste posizioni eccedono il turnover e producono un picco di personale a tempo indeterminato, previsto oltre le 2300 unità a fine 2025, che contiamo di riassorbire nel quinquennio successivo. Nel 2027, seguendo la prassi che prevede un concorso per l'ingresso di giovani Ricercatori ogni 2-3 anni, sono anche previste 50 nuove posizioni da Ricercatore, volte a mantenere invariato il numero di ricercatori dell'Istituto.

Per quanto riguarda le progressioni di carriera di Ricercatori e Tecnologi, abbiamo previsto nuove posizioni per 40 Primi Ricercatori e 44 Primi Tecnologi nel 2025, 30 Dirigenti di Ricerca e 30 Dirigenti Tecnologi nel 2026 e 60 Primi Ricercatori e 60 Primi Tecnologi nel 2027, seguendo una prassi consolidata che vede svolgersi ad anni alterni i concorsi da Primo Ricercatore/Tecnologo e quelli da Dirigenti di Ricerca/Tecnologo. Il numero di posizioni è definito puntando a una distribuzione del personale sui livelli I, II, III nel rapporto 1:3:1, che corrisponde ad un tempo di

<b>FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2026 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII</b>						
<b>Profilo e livello</b>	<b>Previsione del personale in servizio al 31/12/2025</b>	<b>Assunzioni</b>		<b>Cessanti anno 2026</b>	<b>Posti liberati con i concorsi e con le progressioni</b>	<b>Previsione di personale in servizio al 31/12/2026</b>
		<b>Previsioni assunzionali PTA 2025 - 2027 II annualità</b>	<b>Rispetto obblighi legge 68/99</b>			
Dirigente I fascia	0					0
Dirigente II fascia	2					2
Dirigente di ricerca	149	30		13		166
Primo ricercatore	391			14	30	347
Ricercatore	146			1		145
Dirigente tecnologo	92	30		5		117
Primo tecnologo	276			5	30	241
Tecnologo	164	30		2		192
CTER IV	382			8		374
CTER V	70					70
CTER VI	192	5	4	3		198
Op.tec. VI	23			3		20
Op.tec. VII	2					2
Op.tec. VIII	2					2
Funz. Amm. IV	60			2		58
Funz. Amm. V	82	2				84
Coll. Amm. V	131			4		127
Coll. Amm. VI	41					41
Coll. Amm. VII	124	2	3			129
Op. Amm. VII	6					6
Op. Amm. VIII	4			1		3
<b>Totale</b>	<b>2.339</b>	<b>99</b>	<b>7</b>	<b>61</b>	<b>60</b>	<b>2.324</b>

*Tabella 3.4 – Previsione del fabbisogno di personale per l'anno 2026*

transizione medio dal III al II livello paragonabile alla durata dei RTD universitari, in modo da rimanere competitivi nel reclutamento dei giovani.

Infine, per i profili amministrativi l'Istituto intende dare seguito alle autorizzazioni ottenute con l'approvazione dei precedenti PTA, inclusa l'integrazione di 15 posizioni aggiuntive (12 già utilizzate) per Collaboratore di Amministrazione autorizzata dal MUR con nota prot. 17482 – 23/09/2024 – AOODGRIC, con l'aggiunta per il 2025 di 15 nuove posizioni per il profilo di Funzionario di Amministrazione e 10 per quello di Collaboratore di Amministrazione, mantenendo un turnover pieno ma spostando gradualmente il reclutamento sui profili più qualificati.

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 2024 emerge, che sono stati assunti n. 114 dipendenti appartenenti alle categorie protette, a fronte di un obbligo assunzionale di n. 140 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

<b>FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2027 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII</b>						
<b>Profilo e livello</b>	<b>Previsione del personale in servizio al 31/12/2026</b>	<b>Assunzioni</b>		<b>Cessanti anno 2027</b>	<b>Posti liberati con i concorsi e con le progressioni</b>	<b>Previsione e di personale in servizio al 31/12/2027</b>
		<b>Previsioni assunzionali PTA 2025 - 2027 III annualità</b>	<b>Rispetto obblighi legge 68/99</b>			
Dirigente I fascia	0					0
Dirigente II fascia	2					2
Dirigente di ricerca	166			22		144
Primo ricercatore	347	60		12		395
Ricercatore	145	50		4	60	131
Dirigente tecnologo	117			5		112
Primo tecnologo	241	60		5		296
Tecnologo	192	27		1	60	158
CTER IV	374			15		359
CTER V	70					70
CTER VI	198	2	2	1		201
Op.tec. VI	20			2		18
Op.tec. VII	2					2
Op.tec. VIII	2					2
Funz. Amm. IV	58			1		57
Funz. Amm. V	84	1				85
Coll. Amm. V	127			2		125
Coll. Amm. VI	41					41
Coll. Amm. VII	129	2	1			132
Op. Amm. VII	6					6
Op. Amm. VIII	3					3
<b>Totale</b>	<b>2.324</b>	<b>202</b>	<b>3</b>	<b>70</b>	<b>120</b>	<b>2.339</b>

*Tabella 3.5 Previsione del fabbisogno di personale per l'anno 2027*

dedicato alle categorie protette, prevede di assumere nell'anno ulteriori n. 8 dipendenti iscritti alle categorie protette di cui alla legge 68/99, suddivisi in n. 3 nel profilo di Collaboratore Tecnico E.R. di VI livello professionale e n. 5 nel profilo di Collaboratore di Amministrazione di VII livello professionale.

Relativamente allo sviluppo professionale, per l'anno 2025, l'Istituto intende dare seguito alle procedure già autorizzate dai precedenti PTA, attraverso le procedure ex art. 52 e 53 del CCNL 1998/2001, rispettivamente, per l'assegnazione pari livello ad un profilo diverso da quello di inquadramento e per la progressione economica nel livello di inquadramento.

L'indicatore del limite massimo delle 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 poco superiore al 30%, lontano dal vincolo dell'80% previsto dal D.LGS 218/2016. Al fine di garantire la correttezza dell'indicatore, tale rapporto è stato depurato

Indicatore art. 9, comma 2 del D. Lgs 218/2016	2024
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2023	€ 136.103.548
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 436.716.933
<b>Rapporto assunzionale al 31/12/2023</b>	<b>31,2%</b>

Tabella 3.6 Dettaglio della percentuale del coefficiente assunzionale

dai dati che scaturiscono dai progetti PNRR, altrimenti avremmo ottenuto un valore percentuale inferiore. La tabella 3.6 riporta il dettaglio della percentuale del coefficiente assunzionale.

Indicatore art. 9, comma 6 lett b) del D. Lgs 218/2016	2024
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2024	€ 136.103.548
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 436.716.933
Costo delle assunzioni e delle progressioni previste nel 2025	€ 23.420.847
Risparmio ottenuto con le cessazioni previste nel 2025	€ 4.893.979
<b>Rapporto assunzionale previsto al 31/12/2025 a media delle entrate invariata</b>	<b>35,4%</b>

Tabella 3.7 Rapporto assunzionale nel 2025

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 2025 è inferiore al margine a disposizione rispetto al limite dell'80 %. Infine, la tabella 3.7 evidenzia anche che alla data del 31 dicembre 2025, 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 avrà un incremento di circa 1,5%, rispetto al valore registrato nell'anno 2024, e si attesterà intorno a una percentuale di poco superiore al 35%

Per quanto riguarda il personale a tempo determinato, al 31/12/2024 si contano 305 posizioni pari al 12,61% 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 abbiamo riportato il numero di contratti a

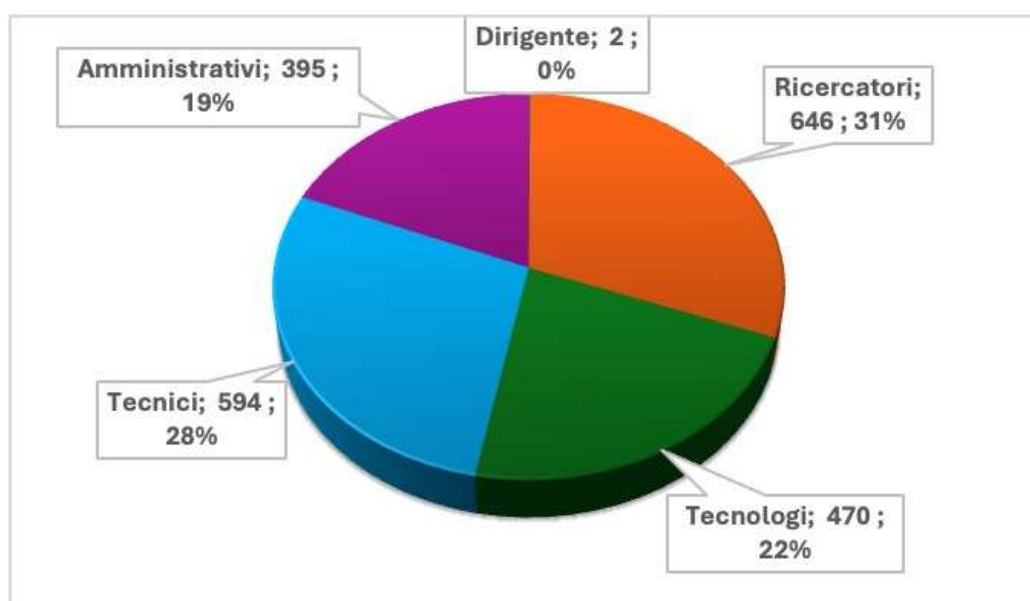


Figura 3.1 Distribuzione dei profili del personale per genere

tempo determinato ad un livello fisiologico. Anche nel 2025, tuttavia, le posizioni a tempo determinato saranno dominate dal personale assunto per i progetti PNRR.

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 17,74%, 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.

Il grafico in figura 3.2 mostra l’andamento del numero dei dipendenti, suddivisi per Ricercatori e Tecnologi, Tecnici ed Amministrativi, dal 1980 ad oggi.

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 2024 - 2026. 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

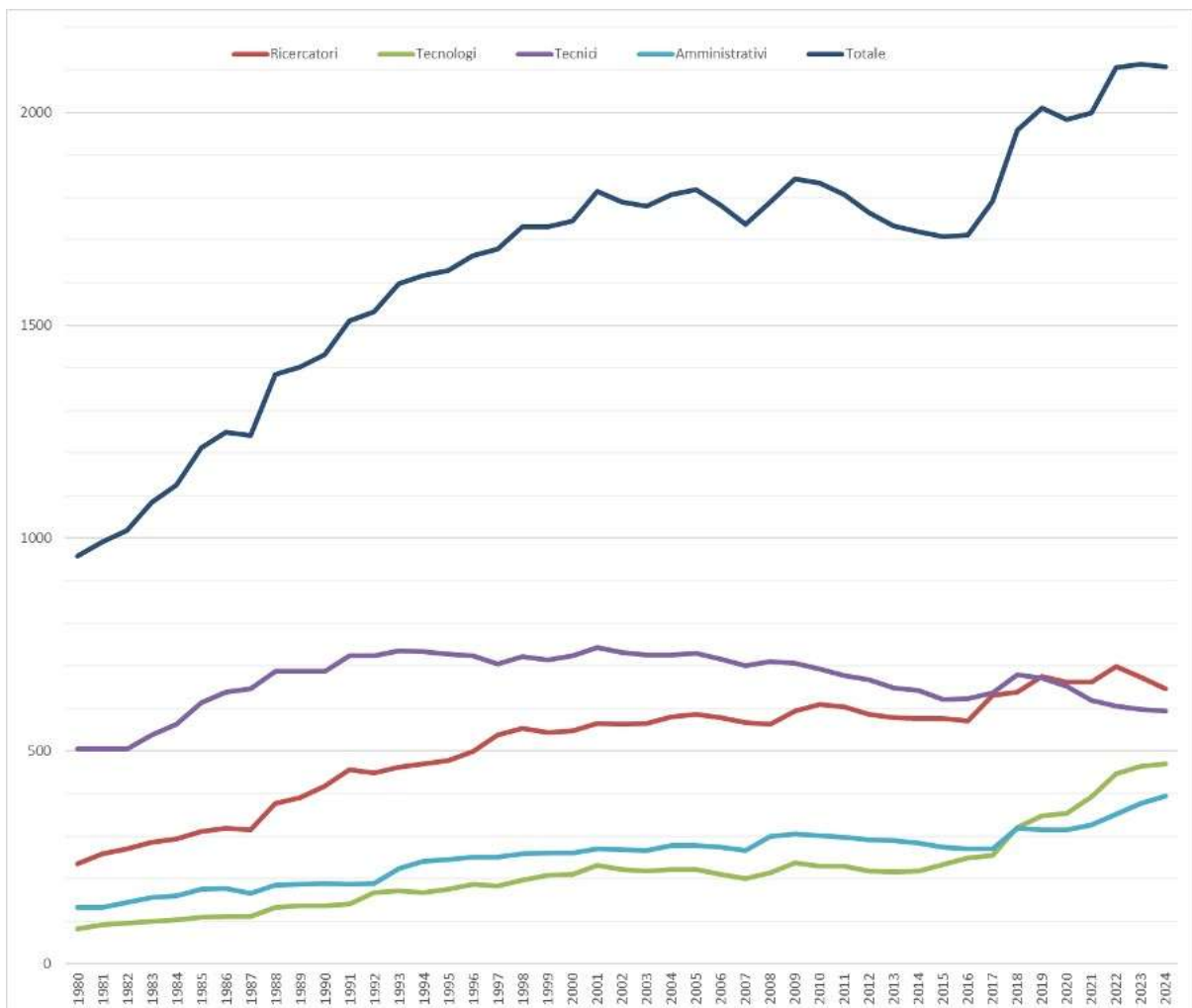


Figura 3.2 Variazione temporale di ricercatori, tecnologi, tecnici e amministrativi

Altro Personale	Personale in servizio al 31/12/2024								
	Impiegati in ricerca			Non impiegato in ricerca			Dati complessivi		
	F	M	Totale	F	M	Totale	F	M	Totale
Assegnisti	106	312	418	0	0	0	106	312	418
Borsisti	9	32	41	17	26	43	26	58	84
Co.Co.Co	0	3	3	2	7	9	2	10	12
Comandi in Entrata	0	0	0	0	2	2	0	2	2
<b>Totale</b>	<b>115</b>	<b>347</b>	<b>462</b>	<b>19</b>	<b>35</b>	<b>54</b>	<b>134</b>	<b>382</b>	<b>516</b>

Tabella 3.8 Giovani in formazione e altro personale nel 2024

continuare a mantenere elevata la sua capacità di progettazione e realizzazione di esperimenti ad alto contenuto scientifico e tecnologico, assumendo sia tecnici che tecnologi.

Ulteriore personale dell'Istituto è principalmente composto da giovani in formazione quali borsisti e assegnisti (vedi Tabella 3.8). Questo personale fornisce un contributo essenziale alle attività di ricerca dell'Ente e numericamente è pari al 40.18% del personale ricercatore e tecnologo.

Personale associato con tipi di associazione	Personale impiegato in ricerca al 31/12/2024			
	M	F	Totale	%
Incarichi di ricerca	640	178	818	15,7%
Assegnisti	367	130	497	9,6%
Borsisti	25	12	37	0,7%
Dottorandi	1007	380	1387	26,8%
Altre associazioni	1794	505	2299	44,3%
Associazioni tecniche	129	17	146	2,8%
<b>Totale</b>	<b>3.962</b>	<b>1.222</b>	<b>5.184</b>	

Tabella 3.9 Diverse tipologie di associazione nel 2024

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 3.9. Come si può vedere, il 37% 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.

Tipologia Struttura	Dirigente		Ricercatore		Tecnologo		Tecnico		Amm.vo		Totale		Totale
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
AC e Presidenza		2			17	17	11	2	17	76	45	97	142
Centri Nazionali			4		27	6	12	1	1	2	44	9	53
Laboratori			90	34	141	36	230	14	25	90	486	174	660
Sezioni			407	111	183	43	304	20	41	143	935	317	1252
<b>Totale</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>501</b>	<b>145</b>	<b>368</b>	<b>102</b>	<b>557</b>	<b>37</b>	<b>84</b>	<b>311</b>	<b>1.510</b>	<b>597</b>	<b>2.107</b>

Tabella 3.10 Distribuzione del personale a tempo indeterminato nelle Strutture al 31/12/2024

In Tabella 3.10 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 (27%) e tecnici (37%), mentre le 20 sezioni con i 5 gruppi collegati, con circa il 60% del personale, hanno la frazione 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 3.11 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.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CERN	13	12	9	8	7	4	8	17	11	17	13
Europa	6	9	3	5	1	1	3	11	7	7	6
Asia	2	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0
America	1	2	2	2	1	3	2	7	6	13	8

Tabella 3.11 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 punti cardine necessari per un’efficace politica del personale, attenta al benessere, all’equità e alla trasparenza. Tali aspetti, in linea con le raccomandazioni europee, assumono particolare rilevanza anche a fronte della sottorappresentazione delle donne in tutti i profili e livelli del personale, eccetto quello amministrativo, caratteristica tipica delle discipline STEM. Su queste basi, dal 2002 l’INFN adotta dei Piani Triennali di Azioni Positive (PTAP), prima su proposta del Comitato di Pari Opportunità e successivamente del Comitato Unico di Garanzia (CUG), per promuovere azioni volte alla parità ed all’inclusione.

A marzo 2023 è stato approvato il VII PTAP 2023-2025, in continuità e rafforzamento dei precedenti, recependo le indicazioni del documento Structural change in research institutions (European Commission, 2012). Il Piano si articola nelle seguenti aree di intervento generali:

- adeguare la gestione per assicurare gli elementi essenziali ai cambiamenti strutturali;
- formazione e comunicazione, con l’obiettivo di rafforzare la comunicazione di genere;
- assicurare parità e pari opportunità nel reclutamento, nelle promozioni, negli organismi decisionali, in tutti i ruoli e livelli;
- adeguare l’ambiente di lavoro alle esigenze delle persone, favorendo la genitorialità e l’inclusione di tutte le diversità;
- contrastare molestie, comportamenti lesivi della dignità, violenza sessuale e sessista.

Nel 2022 è stato approvato il primo Gender Equality Plan (GEP) dell’INFN, che ha integrato gli obiettivi del VI PTAP e che, a seguito del VII PTAP, è stato aggiornato per il triennio 2023-2025. Il GEP rappresenta un documento strategico

che riunisce e coordina le azioni positive dell'Istituto, fornendo un quadro strutturato di obiettivi e risorse sia interne sia attraverso reti di collaborazione internazionale. In questo contesto l'Ente partecipa alla rete "Gender Equality Network in Physics in the European Research Area" (GENERA), nata nel 2015 nell'ambito di un progetto europeo con l'obiettivo di implementare e personalizzare misure per la parità di genere nei vari enti di ricerca in fisica. Inoltre, collabora con il Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerche sulla Popolazione e Le Politiche Sociali (CNR-IRPPS), partner della rete GENERA e del progetto H2020 MINDtheGEPs – Modifying Institutions by Developing Gender Equality Plans (G.A. 101006543).

Tra le iniziative già consolidate, l'INFN continua a sostenere: la nomina di una Consigliera di fiducia, figura esterna di riferimento per la prevenzione e l'assistenza ai dipendenti che segnalano comportamenti oggetto del Codice di Comportamento; il Comitato Garante del Codice Etico; un programma di gender mentoring (attivato dal 2018) rivolto a giovani ricercatrici e ricercatori, riconosciuto a livello europeo dall'EIGE (European Institute for Gender Equality) come pratica significativa per favorire la crescita professionale e l'inclusione; borse di studio riservate a studentesse, tra cui 25 borse rinnovabili all'anno attraverso il progetto "Più Donne nella Fisica", rivolto a giovani iscritte alla laurea magistrale in Fisica (indirizzi di ricerca di interesse per l'INFN) arrivata ora alla terza edizione; il Premio "Milla Baldo Ceolin – Women in Theoretical Physics", giunto ora alla quinta edizione, che conferisce riconoscimenti a neolaureate in Fisica Teorica e sponsorizzato dalla Commissione Scientifica IV; la definizione di una indennità di maternità per fornire alle assegniste una integrazione a quanto erogato dall'INPS durante il congedo di maternità obbligatorio; l'estensione al personale con assegno di ricerca della polizza di assicurazione medica che copre tutte le spese connesse alla maternità dalla gestazione alla nascita; l'erogazione di un contributo per i costi di asili nido per i figli di dipendenti INFN; la realizzazione di convenzioni con asili o l'organizzazione di centri estivi in prossimità del luogo di lavoro per alcune strutture; la diffusione di opuscoli informativi realizzati dal CUG su facilitazioni per i genitori (ad es. la "Guida alla genitorialità") e su possibili bias inconsci nelle procedure concorsuali, quest'ultimo distribuito ai commissari di tutti i concorsi INFN.

Dal 2020 alcune azioni positive del PTAP sono inoltre incluse nel Piano delle Performance dell'Ente in coerenza alle indicazioni ministeriali, tra cui:

- adeguare i database e definire le procedure per arrivare a stilare un bilancio di genere da pubblicare sul web;
- realizzare un sistema di banche dati che permetta di monitorare rapidamente, in modo automatizzato, la situazione del personale in ottica sia di genere sia generazionale;
- monitorare la rappresentanza del genere sottorappresentato nei comitati scientifici nominati dal Consiglio Direttivo con l'obiettivo di superare il 30%;
- monitorare la probabilità di successo di donne e uomini nelle procedure concorsuali.

Già dal 2023 sono stati inseriti obiettivi specifici riguardanti il miglioramento dell'inclusione delle persone con diversa abilità e si prevede di attivare dei corsi specifici al fine di eliminare le barriere fisiche e comportamentali.

In merito al benessere organizzativo, a fine 2022 l'Ente ha concluso un'indagine anonima per la valutazione dello stress lavoro-correlato e della qualità della vita organizzativa, i cui risultati sono stati analizzati nel 2023. Sono stati proposti interventi per attenuare la pressione temporale, sviluppare la crescita professionale e la partecipazione. In particolare, sono state introdotte azioni specifiche nel VII PTAP 2023-2025 (obiettivo 4.5) per ridurre lo stress lavoro-correlato e migliorare il benessere, la formazione e l'efficacia organizzativa.

Dall'autunno 2024 tutte le sedi INFN hanno delle persone di contatto/referenti del CUG, come da Disciplinare, per rafforzare la comunicazione e la collaborazione tra il personale INFN sulle tematiche di inclusione, parità di genere, contrasto alle discriminazioni e benessere organizzativo.

In parallelo, l'INFN dedica grande attenzione alle attività di comunicazione della scienza, anche con l'obiettivo di superare gli stereotipi di genere: ogni anno si organizzano master class ed eventi divulgativi in occasione dell'11 febbraio "Giornata Internazionale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza", mentre per il 25 novembre "Giornata Internazionale per l'eliminazione della violenza contro le donne" si promuovono iniziative, momenti di riflessione e discussioni sul tema. Nell'ambito della collaborazione con CNR-IRPPS, è stato istituito il concorso "Oltre gli stereotipi di genere e verso le professioni del futuro: donne e ricerca in fisica", rivolto alle scuole secondarie per sensibilizzare studentesse e studenti su tematiche di genere e sulle professioni emergenti in ambito STEM. L'iniziativa, avviata in versione pilota nel 2021, si è ripetuta nel 2023 ed è proseguita nel 2024. Nel 2024, sempre in collaborazione con CNR-IRPPS e nell'ambito delle attività della rete GENERA, l'INFN ha organizzato il corso "STEM Disciplines: Between Future Professions and Gender Gaps", riconosciuto come formazione per il personale docente. Si tratta del primo corso INFN dedicato specificamente alle tematiche di genere rivolto agli insegnanti.



## 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 degli stessi richiede 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 all'interno dei suoi organi di governo sia del proprio personale che del personale universitario associato all'Istituto e stimolando la partecipazione e il contributo continuo della comunità scientifica. L'Istituto esamina e valuta, ed eventualmente supporta, le proposte provenienti dall'intera comunità. I processi di monitoraggio in itinere e di revisione e controllo ex post sono operati tra pari e la pianificazione degli obiettivi scientifici e delle risorse è operata da parte di organi rappresentativi della comunità scientifica.

L'autogoverno responsabile è uno degli elementi identitari dell'Istituto, che maggiormente ha contribuito e contribuisce al successo della sua 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:

- Il miglioramento della gestione degli archivi documentali scientifici, anche integrando elementi di AI e Machine Learning
- 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;
- il mantenimento delle strutture create in Amministrazione Centrale per la 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 negli oltre 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 sta provvedendo:

- alla predisposizione della transizione alla contabilità economico-patrimoniale con una rivalutazione globale dei processi amministrativi e con l'introduzione di un software di gestione integrata;
- alla ottimizzazione dell'utilizzo delle piattaforme certificate per la gestione delle procedure di acquisto e valutazione di nuovi strumenti di approvvigionamento anche digitali;
- al monitoraggio e all'aggiornamento degli strumenti di gestione del bilancio e del personale incluse le banche dati di supporto, puntando a massimizzare l'automazione e l'integrazione dei diversi software di gestione;
- alla digitalizzazione delle procedure di reclutamento e di gestione dei fondi del personale mediante l'integrazione progressiva delle diverse piattaforme;
- alla diffusione dei processi di formazione del personale in materia di digitalizzazione;
- al perfezionamento e all'adattamento delle pratiche di valutazione delle performance gestionale ed amministrativa alle esigenze dell'Istituto;
- alla dematerializzazione dei documenti relativi ai processi amministrativi, con particolare riferimento alla documentazione allegata alle missioni del personale;
- al perfezionamento delle procedure atte alla promozione della legalità e dell'etica pubblica;

- al monitoraggio dell'incidenza delle diverse modalità di lavoro sull'efficienza lavorativa e sul benessere organizzativo;
- all'organizzazione di percorsi di formazione per la valorizzazione delle competenze del personale, con particolare riferimento a quelle comportamentali, ai "soft skills" e all'inclusione.

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, puntando alla loro interoperabilità e al miglioramento della capacità di analisi dei dati di gestione;
- la creazione digitale dei documenti generati nei processi di valutazione e rendicontazione;
- la conservazione sostitutiva a norma di legge dei fascicoli prodotti.

Il Piano Integrato di Attività e Organizzazione (PIAO) e il Sistema di Misurazione e Valutazione della Performance dell'INFN sono strumenti che contribuiscono a dettagliare e a monitorare questi obiettivi.

## 5. Le attività di ricerca scientifica e tecnologica

La missione principale dell'INFN è lo studio dei componenti fondamentali della materia condotto attraverso 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 le 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. Le pagine web delle Commissioni scientifiche nazionali possono essere raggiunte direttamente dalla pagina web del sito principale dell'[INFN](#). Nelle prossime due sezioni riportiamo i risultati degli ultimi consuntivi scientifici delle CSN disponibili relativi all'anno 2023 (i consuntivi di ogni anno vengono redatti nella primavera dell'anno successivo) e le prospettive per gli anni successivi. Il calcolo scientifico è discusso nella Sezione 5.3.

### 5.1 Resoconto dell'attività svolta nel 2023

#### CSN1 – Fisica delle particelle

##### Breve descrizione del mandato della commissione

La CSN1 (Commissione Scientifica Nazionale 1) è il comitato scientifico incaricato di esaminare, monitorare e sostenere gli esperimenti e i progetti di fisica delle alte energie. Gli esperimenti e le attività di R&D in fisica delle particelle presso gli acceleratori attuali e futuri sono di competenza di questo comitato.

##### Descrizione sintetica delle linee di ricerca

#### **Linea 1 - Fisica ai collisori di adroni**

Questa linea di ricerca comprende ATLAS e CMS, i due esperimenti maggiori al Large Hadron Collider (LHC). Include anche alcuni esperimenti più piccoli, come LHCf e SND@LHC, e gli studi preparatori per la European Strategy for Particle Physics per il prossimo collisionatore del CERN.

#### **Linea 2 – Fisica del flavour**

Gli esperimenti nel campo della fisica dei quark beauty, charm e strange sono inclusi in questa linea. L'esperimento LHCb al CERN e l'esperimento Belle 2 a KEKb rappresentano il settore del beauty. L'esperimento BES III al BEPC, l'esperimento NA62 al CERN e l'esperimento KLOE a LNF fanno parte di questa linea di ricerca, per i settori charm e strange.

#### **Linea 3 – Fisica dei leptoni carichi**

Questa linea comprende attività di ricerca che studiano processi e proprietà rare legate ai leptoni carichi, in particolare al muone. Fanno parte di questa linea gli esperimenti E989 (muon  $g-2$ ) e MU2E del Fermilab, nonché l'esperimento MEG II del PSI e l'esperimento MUonE del CERN. L'esperimento PADME di Frascati è incluso in questa linea.

#### **Linea 4 – Struttura del protone**

Gli esperimenti a bersaglio fisso dedicati all'indagine della struttura del protone e di altri adroni, come ad esempio COMPASS e AMBER al CERN, sono inclusi qui.

### Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

Nel 2023, la maggior parte degli esperimenti e dei progetti trattati dalla CSN1 si sono svolti al CERN di Ginevra, soprattutto a LHC, ma anche all'Area Nord del CERN. Un altro esperimento (MEG II) ha raccolto dati in Svizzera presso il fascio di muoni del PSI (Paul Scherrer Institute). Test con fascio si sono svolti a DESY ad Amburgo. Per quanto riguarda l'Asia, un esperimento si è svolto all'IHEP in Cina (BES III) e un altro al KEK in Giappone (Belle 2). Al Fermilab (USA) c'è stato un esperimento che ha raccolto dati (E989 muon  $g-2$ ) e uno in preparazione (MU2E). In Italia, l'esperimento PADME ha raccolto dati ai Laboratori Nazionali di Frascati (LNF).

### Consuntivo

Circa 1200 fisici, ingegneri e dottorandi dell'INFN contribuiscono alle attività della CSN1, che riguardano la fisica delle particelle agli acceleratori. Il numero totale di FTE assegnati alla CSN1 nel 2023, principalmente per la costruzione, il funzionamento e l'analisi dei dati degli esperimenti, è stato di 849, con altri 42 FTE per R&D di rivelatori, elettronica e computing, in sinergia con la CSN5 o supportati da fondi esterni. Il budget complessivo per il 2023 è stato di 20,6 milioni di euro, con ulteriori 6,3 milioni di euro provenienti da un fondo esterno dedicato alla costruzione dei rivelatori per HL-LHC. Altri fondi competitivi europei, nazionali e regionali hanno fornito risorse aggiuntive nel corso dell'anno, il contributo principale ha riguardato circa 1,5 milioni di euro per il calcolo.

Nel 2023 gli esperimenti della CSN1 hanno prodotto un totale di 760 pubblicazioni su riviste peer-reviewed, un fattore 2 in più rispetto al 2022, quando molti esperimenti hanno ritardato la sottomissione alle riviste a causa dell'invasione dell'Ucraina e dei problemi di firma ad essa correlati. Le attività sperimentali si sono svolte presso laboratori internazionali (CERN, DESY, FERMILAB, IHEP, KEK, PSI) e in Italia presso i laboratori e le sezioni INFN. Gli impegni di gran lunga più importanti della CSN1, in termini di risorse umane e finanziarie, sono attualmente nell'ambito degli esperimenti a LHC (CERN), tuttavia contributi significativi sono stati dati al programma fixed-target del CERN, agli esperimenti con fasci di muoni al Fermilab e al PSI, e agli esperimenti presso i collisori  $e+e-$  in Asia. L'anno 2023 ha visto il completamento della mid-term review di FCC, con importanti contributi dell'INFN alla fisica di FCC-ee e all'R&D per i rivelatori e l'acceleratore. Sono proseguiti gli studi preparatori per un collisore di muoni ed è iniziata una nuova attività di R&D finalizzata alla progettazione di una cooling-cell per muoni. Un programma CSN1 dedicato a sostenere R&D sui rivelatori per la fisica del flavour e per l'elettronica di esperimenti futuri è iniziato nel 2023.

Il terzo periodo di raccolta dati di LHC (RUN 3) è proseguito nel 2023, ad un'energia nel centro di massa protone-protone (pp) di 13,6 TeV. Il run pp di LHC si è concluso prematuramente a metà luglio a causa di una perdita di vuoto in un tripletto di quadrupoli, che ha richiesto complesse riparazioni. L'infrastruttura di calcolo degli esperimenti ha lavorato a pieno regime, producendo importanti risultati, alcuni dei quali sono menzionati di seguito. L'acceleratore SPS del CERN ha fornito fascio agli esperimenti AMBER e NA62. Nel 2023, l'esperimento Belle II al KEK (Giappone) ha attraversato un periodo di manutenzione e miglioramento, sia per l'apparato sperimentale sia per l'acceleratore. L'esperimento BES III all'IHEP (Cina) ha continuato ad incrementare la quantità di dati da collisioni  $e+e-$  alla soglia di produzione di charm. L'esperimento MEG II al PSI (Svizzera) ha proseguito senza problemi la raccolta dei dati e l'esperimento E989 (muon  $g-2$ ) al Fermilab ha concluso il run finale, dopo aver raggiunto il suo obiettivo in termini di quantità di dati. Per quanto riguarda i risultati di fisica, nel 2023 gli esperimenti general-purpose ATLAS e CMS hanno fatto progressi nello studio delle proprietà del bosone di Higgs (nuove misure precise della massa e degli accoppiamenti, evidenza del raro decadimento  $Z$ , miglioramento della misura dell'accoppiamento di Yukawa top-Higgs, nuove ricerche per la produzione del doppio Higgs). Entrambi gli esperimenti hanno riportato l'osservazione del raro processo di produzione di quattro top. ATLAS ha trovato evidenza di entanglement quantistico nelle coppie di top prodotte a LHC e CMS ha fornito il limite superiore più preciso sulla violazione del flavour leptonic nel

decadimento. L'esperimento LHCb ha effettuato la misura più precisa dell'angolo  $\beta$  della matrice CKM e della violazione di CP nei decadimenti dei mesoni B. L'esperimento SND ha osservato direttamente, per la prima volta, la produzione di neutrini a LHC. Nel 2023 gli esperimenti hanno osservato per la prima volta diversi nuovi stati adronici: nuovi stati  $\Omega_c$  e  $\Xi_b$  sono stati osservati da LHCb, un nuovo stato vettoriale simile al charmonio,  $Y(4710)$ , è stato osservato da BES III. L'esperimento Belle 2 ha riportato la prima evidenza del raro decadimento  $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$ . L'esperimento Muon g-2 del Fermilab ha pubblicato una nuova misura dell'anomalia dei muoni, con una riduzione dell'incertezza complessiva di oltre 2 volte.

Attività di formazione

L'educazione e la formazione dei giovani fisici è un tema di costante attenzione da parte della CSN1. Il duplice programma INFN-CERN dedicato a i) dottorandi, ii) postdoc e giovani ricercatori, è continuato nel 2023 con l'assunzione di dottorandi e postdoc (29 persone in totale) che si sono recati al CERN per le loro attività di formazione e ricerca. Inoltre, 3 postdoc sono stati selezionati per il programma INFN-CERN sui futuri collisori: il nuovo programma prevede che il 50% del tempo di ricerca venga trascorso su FCC (o Muon Collider) e l'altro 50% su un esperimento attuale del CERN. Nel 2023 sono stati inoltre assicurati fondi per 12 borse di studio di tre mesi dedicate a studenti universitari magistrali e per 20 borse di studio di un mese dedicate a studenti universitari della triennale, per progetti che inizieranno nel 2024.

*La Commissione 1 in cifre*

Indicatore	2023	2022	2021
Numero di FTE	848.7	820.3	813.7
Frazione di ricercatrici	24.1%	21.2%	20.8%
Budget annuo (M€)	20.6	20	20
Numero di progetti	19	18	19
Frazione delle milestone raggiunta	84.5%	82.8%	81.3%
Numero di pubblicazioni (WOS)	763	325	454
Numero di presentazioni a conferenze	618	727	553
Numero di tesi di Dottorato	31	37	42

**CSN2 – Fisica delle astroparticelle**

Breve descrizione del mandato della commissione

La CSN2 (Commissione Scientifica Nazionale 2) è il comitato scientifico incaricato di esaminare, monitorare e sostenere gli esperimenti nel campo della Fisica Astro-Particellare, sfruttando principalmente tecniche e infrastrutture non accelerative. L'obiettivo è quello di raggiungere un equilibrio tra esperimenti ben sviluppati, altri in fase di costruzione o che propongono una transizione verso una nuova fase, e progetti più piccoli che mirano a un programma scientifico competitivo.

Descrizione sintetica delle linee di ricerca

### Linea 1 - Radiazione dall'Universo

L'obiettivo principale di questa linea è lo studio dell'intero spettro e della composizione della radiazione cosmica primaria, con l'obiettivo di ricostruirne le sorgenti, l'accelerazione e le proprietà di propagazione. Gli esperimenti sono condotti sia nello spazio (satelliti e ISS), sia su palloni stratosferici, in alta montagna, nel sottosuolo e nelle profondità marine. Viene adottato un approccio multi-messaggero.

### Linea 2 - Onde gravitazionali, fisica generale e quantistica

Gli esperimenti di questa linea mirano a rilevare onde gravitazionali di diversa frequenza e a testare la relatività generale nel sistema solare. Sono inclusi anche esperimenti da tavolo che mirano a identificare piccoli effetti quantistici.

### Linea 3 - L'universo oscuro

Questa linea comprende attività di ricerca che indagano sulla possibile natura della materia oscura e dell'energia oscura, i cui effetti sono stati finora evidenziati solo da osservazioni astrofisiche o cosmologiche. La maggior parte degli esperimenti è svolta presso i LNGS, con l'unica eccezione di EUCLID, una missione spaziale.

### Linea 4 - Fisica dei neutrini

Questa linea mira a migliorare la nostra comprensione dei neutrini con esperimenti condotti con fasci artificiali per sondare le loro proprietà di propagazione o per determinare direttamente o indirettamente la loro massa e natura. Lo scopo principale è quello di verificare se le domande ancora aperte sulle proprietà di questa particella evanescente possano indicare nuovi possibili scenari al di là del Modello Standard.

#### Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

Anche nel 2023, i LNGS si sono dimostrati il laboratorio più adatto per la maggior parte degli esperimenti di CSN2. Lo studio della radiazione cosmica è stato condotto sia nello spazio (ISS, satelliti e palloni aerostatici) sia in alta montagna (Argentina, Isole Canarie) o sotto il mare (Mediterraneo). Esperimenti sulle proprietà di propagazione dei neutrini sono stati preparati anche presso grandi laboratori di alta energia (FNAL, J-PARC) e reattori di potenza (Cina, Francia). D'altra parte, la preparazione per l'O4 è proseguita ad EGO.

#### Consuntivo

Nel 2023, 1625 fisici, ingegneri e dottorandi dell'INFN hanno contribuito al CSN2 dell'INFN nel campo della fisica astroparticellare. Sono stati organizzati in 44 iniziative sperimentali, per un numero totale di 1040 FTE assegnati al CSN2 per la costruzione, il funzionamento e l'analisi dei dati degli esperimenti. Il budget complessivo per il 2023 è stato di 13,7 milioni di euro, di cui un massimo di 5 milioni di euro sono stati utilizzati per le spese di viaggio. Altri fondi competitivi europei, nazionali e regionali hanno fornito ulteriori risorse nel corso dell'anno.

Nel 2023 le attività sperimentali sono continuate presso laboratori internazionali (CERN, FERMILAB), in Italia presso i quattro laboratori e sezioni nazionali dell'INFN, in vari siti distribuiti sul globo (Argentina, Isole Canarie, Mar Mediterraneo) e nello spazio (ISS e satelliti o palloni aerostatici dedicati). Si cerca un equilibrio tra le quattro linee, anche se la comunità più numerosa è attualmente quella che studia la Radiazione dall'Universo. Il supporto finanziario della CSN2 è invece dominato dalla Fisica dei neutrini, un'area scientifica attualmente molto attiva, in cui i fondi esterni da fonti nazionali o europee sono più limitati.

Oltre alle missioni spaziali di lunga durata (AMS2, FERMI, DAMPE e LIMADOU) che continuano a produrre dati rilevanti, nel corso del 2023 sono proseguite regolarmente le acquisizioni di IXPE, XENON e CUORE presso i LNGS. Mentre continua la preparazione dei run O4 e O5 di VIRGO, c'è stato anche a un forte sostegno alla candidatura del sito sardo di ET, mentre i fondi infrastrutturali del PNRR dedicati a KM3, ET, CTA+ e LNGS hanno dato un forte impulso

alle attività correlate di CSN2. Le attività di calcolo degli esperimenti, quasi completamente trasferite all'infrastruttura INFN Tier1, hanno registrato un significativo aumento delle richieste di risorse per analizzare i dati raccolti negli ultimi anni e preparare gli esperimenti futuri. D'altra parte, continuando un forte miglioramento dopo la crisi pandemica, la costruzione di JUNO in Cina e di KM3 al largo di Capo Passero è proseguita a ritmo sostenuto. Nel corso del 2023 JUNO ha completato la messa in opera di tutti gli impianti di trattamento dello scintillatore mentre KM3 ha portato a 29 il numero di stringhe in presa dati. Un forte miglioramento è stato osservato anche per la costruzione di DARKSIDE ai LNGS che ha visto l'inizio della realizzazione del criostato dell'esperimento. D'altra parte, il protrarsi del conflitto tra Russia e Ucraina ha mantenuto interi settori di ricerca (ad esempio il decadimento doppio beta) in una situazione di incertezza, basata sull'impossibilità di reperire grandi quantità di isotopi.

Per quanto riguarda i risultati di fisica, tutti gli esperimenti in corso hanno continuato l'analisi dei dati, producendo una serie di pubblicazioni scientifiche di rilievo. Nell'ambito della collaborazione internazionale LVK, VIRGO ha presentato nuove osservazioni che ampliano il catalogo delle fusioni BH-BH. IXPE ha continuato a produrre nuovi risultati sulla polarizzazione della radiazione X da sorgenti astrofisiche. Ai LNGS, CUORE ha continuato la sua esposizione per un anno, mentre XENONnT ha presentato nuovi risultati sulle WIMP. FERMI ha pubblicato nuovi cataloghi di raggi gamma, mentre AMS2 ha migliorato i risultati sullo spettro dei positroni e sulla composizione degli ioni pesanti della radiazione cosmica; AUGER ha aggiornato il suo spettro VHE vicino al cutoff GZK.

#### Attività di divulgazione

La CSN2 reputa di primaria importanza l'educazione e la formazione dei giovani fisici. Nel corso del 2023 sono stati assicurati fondi e assegnate 10 borse di studio di tre mesi dedicate a laureandi e neolaureati universitari magistrali per attività presso i laboratori di astroparticelle dell'INFN. La CSN2 ha inoltre contribuito all'organizzazione di scuole (come Gran Sasso Hands-On) finalizzate a far conoscere e condividere le attività sperimentali dell'INFN nella fisica astroparticellare oltre ad organizzare visite presso i laboratori dell'INFN da parte di studenti di varie Università.

#### *La Commissione 2 in cifre*

<b>Indicatore</b>	<b>2023</b>	<b>2022</b>	<b>2021</b>
Numero di FTE	1040	982	940
Frazione di ricercatrici	368	351	320
Budget annuo (M€)	13.7	13.7	13.7
Numero di esperimenti/ iniziative specifiche/progetti	44	48	49
Frazione delle milestone raggiunta	65	53	78
Numero di pubblicazioni	612	566	502
Numero di presentazioni a conferenze	603	576	493
Numero di tesi di Dottorato	41	26	31

### **CSN3 – Fisica nucleare**

#### Breve descrizione del mandato della commissione

La Commissione Scientifica Terza dell'INFN (CSN3) segue gli esperimenti che studiano le proprietà e le caratteristiche dei nuclei presenti in tutta la carta dei nuclidi, i processi nucleari fondamentali, il plasma primordiale di quark e gluoni, la formazione degli adroni e le reazioni nucleari, comprese quelle importanti per la comprensione dei processi astrofisici e per le applicazioni. Alcuni esperimenti si concentrano su studi più interdisciplinari, comprese le applicazioni della biomedicina, o aspetti fondamentali del modello standard e della simmetria materia/antimateria.

## Descrizione sintetica delle linee di ricerca

### **Linea 1 – Quark e dinamica degli adroni**

Gli obiettivi principali degli esperimenti appartenenti a questa linea di ricerca sono lo studio della produzione di adroni, dello scattering su nuclei di elettroni/fotoni, della produzione di iper-nuclei e delle proprietà degli atomi Kaonici.

### **Linea 2 – Transizione di fase nella materia adronica**

Questa linea, per mezzo di fasci di ioni pesanti ad alte energie, studia le proprietà del Quark Gluon Plasma, dei meccanismi di produzione dei nuclei, degli eventi ad alta molteplicità e della transizione al punto critico.

### **Linea 3 – Struttura nucleare e meccanismi di reazione**

Gli esperimenti sono dedicati allo studio della struttura nucleare di nuclei esotici e allo studio dei meccanismi di reazione in collisioni tra ioni pesanti nell'intervallo di energia 5-500 MeV/Nucleone. Particolarmente importanti sono le ricerche con fasci radioattivi.

### **Linea 4 – Astrofisica nucleare**

Gli esperimenti di CSN3 sviluppano tecniche complementari e sinergiche per studiare processi nucleari rilevanti in ambito astrofisico. Questa linea include approcci con diversi fasci stabili e radioattivi, metodi di analisi diretti e indiretti, studi che utilizzano plasmi di ioni prodotti con RF e con laser di alta potenza.

### **Linea 5 – Simmetrie e interazioni fondamentali**

Gli esperimenti mirano a dare risposte a problemi di fisica fondamentale attraverso lo studio dell'interazione nucleare. Questa linea include ricerche sul raggio del protone, sui momenti elettrici e magnetici del dipolo dei nucleoni, sulle proprietà dell'antimateria, sulla violazione del principio di Pauli e sulla meccanica quantistica.

### **Linea 6 – Applicazione e benefici per la società**

Questa linea è principalmente dedicata allo studio delle reazioni nucleari utili per applicazioni mediche e spaziali.

## Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

Gli esperimenti di CSN3 richiedono fasci con diversa composizione (particelle o ioni stabili o radioattivi) e con energie che variano in un ampissimo intervallo di energie (dal keV al TeV). È quindi necessario poter lavorare in diversi [laboratori nel mondo](#).

Al CERN gli esperimenti stanno prendendo dati a LHC, ELENA Low Energy Antiproton Accumulator, ISOLDE e n\_TOF. Negli USA i principali laboratori sono il Jefferson Laboratory (JLAB), il Brookhaven National Laboratory (BNL) con il futuro collisore EIC e FRIB a NSCL. Principalmente dedicate agli esperimenti di fisica nucleare sono le strutture nei laboratori dell'INFN (i complessi di acceleratori ai LNS e LNL, BELLOTTI IBF e LUNA-400 ai LNGS e Daphne ai LNF), con l'aggiunta di CIRCE a Caserta, CNAO a Pavia e TIFPA a Trento. Altri centri principali per la ricerca nucleare sono a GANIL (Francia), GSI/ FAIR (Germania), J-Park /RIKEN (Giappone), TRIUMF (Canada) e iThemba (Sud Africa).

## Consuntivo

Le diverse sigle afferenti alla CSN3 appartengono a esperimenti in un singolo laboratorio (ALICE, EIC\_net, etc) o a gruppi che operano con un programma scientifico svolto presso diversi laboratori. Di seguito vengono descritti alcuni punti salienti delle principali attività.

Il ciclo di [workshop](#) sul piano intermedio di fisica nucleare, uno per ciascuno dei laboratori nazionali dell'INFN, ha avuto un notevole successo e ora si stanno raccogliendo i frutti. Le conclusioni sono pubblicate o in fase di pubblicazione su [EPJ Focus](#).

È ripresa la sperimentazione ai LNL, principalmente con AGATA e PRISMA, con diverse configurazioni di fascio. Ai LNS sono entrate in fase di costruzione le sperimentazioni previste per i nuovi Pot\_LNS (NUMEN, CHIRONE...) e PANDORA. Ai LNF il successo dell'operazione DAFNE ha consentito un'ottima raccolta dati per l'esperimento Siddharta-KAONNIS sugli atomi kaonici. Sono proseguiti con importanti risultati gli esperimenti di fisica nucleare al CERN Isolde, GSI e GANIL e in altri laboratori europei (NUCLEX, GAMMA, FORTE, CHIRONE).

Per l'astrofisica nucleare un risultato importante è stata la disponibilità dei fasci presso la "Bellotti Ion Beam facility" ai LNGS. Sono in corso esperimenti importanti per comprendere i neutrini solari e il ciclo CNO nelle stelle e sono stati pubblicati risultati ottenuti con l'acceleratore LUNA-400. n\_TOF al CERN ha ripreso le operazioni con una terza linea ad alta intensità. Numerosi esperimenti sono stati condotti presso l'acceleratore CIRCE di Caserta (ERNA) e in laboratori esteri dal gruppo ASFIN (LNS, TRIUMF, RIKEN, etc.).

A energie più elevate la raccolta dati è in corso con sonde elettromagnetiche a Magonza e Bonn, a JLAB e a LHC con il rivelatore ALICE potenziato, con una copiosa produzione di risultati. La partecipazione dei gruppi italiani all'esperimento e\_PIC presso l'Electron Ion Collider (EIC) di BNL è ora definita e i gruppi INFN svolgono un ruolo importante nella progettazione e costruzione di diversi rivelatori, e guidano il progetto del rivelatore dual RICH. Al CERN le nuove proposte per NA60+ e ALICE3 sono in fase di valutazione da parte dei comitati del CERN, sempre con ruoli di primo piano degli scienziati dell'INFN.

Proseguono le operazioni presso la nuova struttura antiprotone ELENA al CERN, con i gruppi INFN (LEA) coinvolti nei principali esperimenti. Il gruppo che lavora presso RAL per la misura del raggio del protone (FAMU) ha completato il commissioning ed è in attesa della disponibilità del fascio nel 2024. I primi risultati sul momento di dipolo elettronico sono disponibili presso la struttura COSY (JEDI).

L'esperimento FOOT per la misurazione della sezione d'urto per applicazioni di adroterapia è in fase di messa a punto, ma sta già producendo risultati unici, già disponibili dalle campagne di raccolta dati presso CNAO e GSI. Il nuovo esperimento SPESMED che mira all'ottimizzazione della produzione di radionuclidi medici ha preparato un rapporto di progettazione concettuale ed è un elemento importante del prossimo programma sperimentale presso SPES.

La frazione di milestone raggiunte è in aumento dopo alcuni stop forzati legati alla pandemia e alla installazione di nuovi apparati. Anche il numero di presentazioni a conferenze è in aumento con la ripresa del numero di eventi organizzati. Le pubblicazioni sono in crescita molto soddisfacente.

### Applicazioni e società

L'esperimento FOOT per la misura delle sezioni d'urto per applicazioni di adroterapia sta completando l'apparato, ma alcuni risultati sono già disponibili dalle campagne preliminari di raccolta dati al GSI e al CNAO. Il nuovo progetto SPESMED per le misure di reazione dei nuclei per diagnosi e terapia (teranostici) sta partendo e avrà un ruolo importante ai LNL.

Attività di divulgazione

Molti ricercatori appartenenti alla CSN3 partecipano a eventi e programmi di divulgazione, compresi quelli specificamente organizzati nei Laboratori Nazionali dell'INFN (vedi rapporto del gruppo di outreach dell'INFN). Importante è l'impegno ad attrarre giovani studenti con fondi dedicati a borse di studio riservate a studenti triennali e magistrali (per trascorrere brevi periodi nei laboratori italiani ed esteri a contatto con gli esperimenti) o al sostegno alle visite degli studenti universitari ai principali laboratori. Sono presenti anche fondi dedicati a progetti europei per supportare studenti magistrali nell'ambito di scambi tra università e laboratori europei (Erasmus Mundus).

*La Commissione 3 in cifre*

Indicatore	2023	2022	2021
Numero di FTE	507	502	487
Frazione di ricercatrici	25	25	26
Budget annuo (M€)	9.2	9.2	9.2
Numero di esperimenti/iniziativa specifiche/progetti	23	23	25
Frazione delle milestone raggiunta	89	85,5	77
Numero di pubblicazioni	548	343	352
Numero di presentazioni a conferenze	566	545	322
Numero di tesi di Dottorato	28	19	23

**CSN4 – Fisica teorica**

Breve descrizione del mandato della commissione

La CSN4 coordina le ricerche in fisica teorica, che sviluppano ipotesi, modelli e teorie fisiche, sia per spiegare i risultati sperimentali già acquisiti, sia per aprire nuovi scenari per la fisica del futuro, con particolare riferimento alle interazioni fondamentali. Inoltre, la fisica teorica nell'INFN ha anche un ruolo di supporto allo sviluppo delle attività sperimentali in cui l'Ente è coinvolto.

Descrizione sintetica delle linee di ricerca

### **Linea 1 – Teoria delle Stringhe e dei Campi**

In questa linea scientifica, in un approccio di tipo top-down, partendo da teorie astratte basate su sofisticati strumenti matematici, si giunge ad implicazioni fenomenologiche da confrontare con i risultati sperimentali. Un esempio è fornito dalla teoria delle superstringhe che fornisce uno schema coerente per l'unificazione a livello quantistico di tutte le forze fondamentali.

### **Linea 2 – Fenomenologia delle Particelle**

In un approccio di tipo bottom-up, partendo dall'analisi dei dati sperimentali si giunge alla formulazione di nuovi modelli e teorie fisiche. Oggetto di indagine sono primariamente i risultati degli esperimenti di alta energia condotti agli acceleratori di particelle, considerando anche l'insieme globale dei dati provenienti dall'astrofisica e cosmologia.

### **Linea 3 – Fisica Adronica e Nucleare**

L'obiettivo principale è lo studio della struttura e dinamica dei nuclei e degli adroni, risultanti dalla teoria sottostante delle interazioni forti, la Cromodinamica Quantistica. Oggetto di indagine sono anche le proprietà della materia in condizioni estreme di temperatura e/o densità.

### **Linea 4 – Metodi matematici**

Oggetto di studio sono gli aspetti di fondamento matematico delle teorie di campo classiche e quantistiche nonché le proprietà dei sistemi integrabili. Inoltre, un ruolo importante è svolto dallo studio della meccanica quantistica, sia negli aspetti di fondamento sia nelle sue applicazioni alla teoria dell'informazione e computazione quantistica.

### **Linea 5 – Fisica Astroparticellare e Cosmologia**

L'obiettivo di questa linea scientifica è l'esplorazione delle molteplici connessioni tra fisica delle particelle, astrofisica e cosmologia. Particolare attenzione è dedicata alle onde gravitazionali, con l'obiettivo di comprendere la natura dell'interazione gravitazionale e ottenere indicazioni per estensioni della teoria della Relatività Generale.

### **Linea 6 – Teoria statistica dei campi e applicazioni**

Questa linea scientifica è dedicata agli aspetti interdisciplinari della fisica statistica, con applicazioni a un ampio spettro di problemi, quali, per esempio, la biofisica computazionale, la meccanica statistica dei sistemi fuori dall'equilibrio, la dinamica dei sistemi complessi come i fluidi in regime di turbolenza e le reti e le proprietà dei materiali a dimensionalità ridotta.

#### Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

Le attività di ricerca sono svolte presso le Sezioni, I Laboratori Nazionali e I Centri Nazionali GGI e TIFPA, in stretta collaborazione con il mondo accademico e altre istituzioni scientifiche sia in Italia sia all'estero.

#### Consuntivo

Nel seguito sono commentate le attività scientifiche della CSN4 con alcuni focus su quelle maggiormente connesse con l'attività sperimentale dell'INFN.

#### 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. Nuovi studi sono stati intrapresi in vista di possibili futuri collider leptonic.

## 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 alcune anomalie nei dati sperimentali recenti nel confronto con le predizioni teoriche, quali, per esempio, il momento magnetico anomalo del muone, e di fornire possibili candidati particellari per la materia oscura, rispettando tutti i vincoli conosciuti.

## 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 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 Einstein Telescope.

## Fisica dei neutrini

Si segnalano, tra i molteplici risultati raggiunti, nuovi studi sul decadimento doppio beta senza neutrini, sul ruolo dei neutrini sterili negli esperimenti agli acceleratori e sui meccanismi di emissione di neutrini da sorgenti astrofisiche, in connessione con la cosmologia.

## Cosmologia e Materia Oscura

Importanti progressi sono stati ottenuti nello studio 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. A questi studi si affiancano i risultati ottenuti con l'approccio top-down che, partendo dalla teoria delle stringhe come schema coerente per l'unificazione a livello quantistico di tutte le forze fondamentali, delimita le possibili teorie effettive utili per predizioni teoriche verificabili, in linea di principio, con osservazioni cosmologiche.

## Applicazioni e società

Un'importante attività di parte dei componenti della CSN4 è dedicata alla formazione a livello universitario, svolgendo lezioni presso i corsi di Laurea Magistrale e i corsi di Dottorato di Ricerca, e introducendo alla ricerca in fisica teorica studenti di laurea e studenti di dottorato di ricerca. Si segnalano cinque Scuole nazionali in fisica teorica per studenti di dottorato presso il Centro Nazionale GGI e la prima edizione della scuola teorico-sperimentale "Theory meets Experiment" presso il GGI.

Attività di divulgazione

Molti fisici teorici afferenti alla CSN4 partecipano alle iniziative nazionali e locali dell'INFN dedicate alla divulgazione. Si segnala il premio Asimov, nato da un'idea di un componente della CSN4.

*La Commissione 4 in cifre*

Indicatore	2023	2022	2021
Numero di FTE	1361	1279	1142
Frazione di ricercatrici	14.4%	14.2%	15.1%
Budget annuo (M€)	3.3	3.3	3.0
Numero di esperimenti/ iniziative	35	35	35
Frazione delle milestone raggiunta	100%	100%	100%
Numero di pubblicazioni	1868	1793	1854
Numero di presentazioni a conferenze	785	600	471
Numero di tesi di Dottorato	77	58	48

**CSN5 – Ricerca tecnologica**

Breve descrizione del mandato della commissione

La Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5) è il comitato scientifico incaricato di esaminare, monitorare e sostenere gli esperimenti e i progetti R&D riguardanti gli sviluppi relativi ad acceleratori, rivelatori di particelle e di radiazione, elettronica, calcolo e fisica interdisciplinare.

Descrizione sintetica delle linee di ricerca

**Linea 1 – Acceleratori**

Questa linea di ricerca riguarda tecnologie innovative nel campo degli acceleratori di particelle, con particolare riferimento a nuove tecniche di accelerazione, target, cavità risonanti, deflessione e focalizzazione di fasci di particelle, ricoprimenti di superfici.

**Linea 2 – Rivelatori, elettronica, calcolo**

Questa linea segue progetti per la realizzazione di rivelatori di particelle, rivelatori di radiazione elettromagnetica a diverse frequenze, sensori quantistici, sistemi di lettura e processamento di segnali provenienti dai rivelatori stessi, sviluppi di algoritmi di calcolo avanzato.

**Linea 3 – Fisica Interdisciplinare**

Questa linea segue attività nell'ambito delle tecniche di terapia e diagnostica basate su radiazioni, isotopi radioattivi per la radio medicina, algoritmi per l'analisi di dati e immagini mediche, tecnologie per l'analisi ambientale e dei beni culturali basate su radiazioni ionizzanti.

Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

Le attività di ricerca della CSN5 si svolgono in molti laboratori nazionali ed internazionali. Oltre ai principali Laboratori Nazionali dell'INFN (LABEC, LNL, LNF, LNGS e LNS) si possono elencare: FBK, il Centro di Adroterapia dell'APSS di

Trento, PSI, ARRONAX Center di Nantes, CERN, CNAO, ELETTRA, Centre of Plasma Physics (CPP) di Belfast, ELI-Beamlines Division di Praga, il GSI di Darmstadt, JLab, SLAC, BNL, Inter University Accelerator Centre (IUCR) di New Delhi. A questi laboratori si affiancano CNR, ENEA e una lunga lista di istituti di ricerca, universitari e pubblici, nazionali e internazionali, nonché di istituzioni mediche, come ospedali o centri di ricerca.

### Consuntivo

Le attività della CSN5 coinvolgono 1347 ricercatori e tecnologi, comprendenti fisici, ingegneri di diverse discipline e chimici, che apportano agli esperimenti un totale di 585 FTE. Questo personale viene suddiviso su 88 sigle, comprensive di sigle standard (65), Call (10) e Grant Giovani (12).

Le attività della CSN5 sono suddivise su tre tipologie di progetti: le sigle standard, della durata di 2-4 anni e un finanziamento medio di 50-100 mila euro l'anno; le Call, progetti di alto impatto accuratamente selezionati e con un finanziamento massimo di 1 milione di euro su 3-4 anni; i Grant per Giovani ricercatori, descritti nella sezione successiva.

Nel 2023 i progetti in CSN5 hanno prodotto un totale di 763 pubblicazioni. Le attività di ricerca, molte delle quali in sinergia con le altre commissioni sperimentali si sono svolte in collaborazione con molti laboratori nazionali e internazionali, elencati nella sezione precedente. In particolare, per le altre Commissioni la CSN5 porta avanti progetti R&D esplorativi di alto impatto con ricadute sugli esperimenti di più ampio respiro.

Il budget per il 2023 è stato di 6,2 milioni di euro, ripartito sulle 3 Linee approssimativamente con il 24% per Acceleratori, 40% per Rivelatori e 36% per Interdisciplinare.

La Linea Acceleratori nel 2023 ha distribuito le sue attività su 18 progetti, di cui 7 in chiusura e 3 nuovi. I temi di ricerca affrontati sono stati: cavi superconduttori per magneti ad alta intensità; ricoprimenti di superfici per limitare l'emissività elettronica e il breakdown; film di materiali superconduttori per cavità RF; sistemi di accelerazione miniaturizzati; produzione, diagnostica e accelerazione di fasci ionici mediante plasma; sorgenti ioniche per plasmi ad alta temperatura; target microstrutturati per fasci ad alta intensità; catodi e sistemi di estrazione per acceleratori di elettroni; sistemi di deflessione di fasci ionici mediante cristalli deformati.

La Linea Rivelatori, Elettronica e Calcolo nel 2023 ha avuto 35 progetti di cui 9 in chiusura e 9 nuovi. Le attività di ricerca di questa linea hanno riguardato: rivelatori a stato solido 3D, 4D e 5D per misure ad alte energie e flussi; rivelatori flessibili ibridi e organici utili anche per la radioterapia; sistemi di acquisizione e imaging per fasci di particelle con flussi elevati; sensori quantistici su qubit superconduttivi, dispositivi in ottica integrata o nano oscillatori meccanici; rivelatori a scintillazione a basso rumore per la materia oscura; sistemi di imaging plenoptico quantistico a basso rumore; rivelatori a gas ad alta granularità o con convertitori per la rivelazione di neutroni termici; rivelatori a scintillazione prodotti per additive manufacturing; rivelatori a scintillazione di sciami mediante channeling; produzione di rivelatori HPGe segmentati.

La Linea Interdisciplinare nel 2023 ha avuto 29 progetti di cui 13 in chiusura e 7 nuovi. Le attività di ricerca principale hanno riguardato: sviluppo di algoritmi ML e IA per l'analisi di dati medici; lo studio di radioisotopi e radio farmaci; metodi per l'analisi di manufatti e materiali mediante radiografia neutronica; studio del metodo flash per la radioterapia; protesi per l'occhio umano basate su foto-rivelatori; imaging X spettrale ad alta risoluzione per applicazioni mediche; rivelazione microdosimetrica con analisi della traccia delle particelle; rivelatori per analisi in vitro; metodi di tomografia con fasci ionici; metodi alternativi (acustici o ultrasonici) per la dosimetria di fasci adronici.

### Applicazioni e società

La CSN5 è intrinsecamente dedicata ad attività che hanno un impatto rilevante nella società. Tutti i progetti hanno ricadute sulla microelettronica, sul calcolo e sulle tecnologie avanzate. Inoltre, molte attività sono dedicate ai metodi di cura e di diagnostica per terapie oncologiche, ad analisi ambientali e di opere d'arte. Pertanto, la CSN5 rappresenta il canale diretto con cui l'INFN sfrutta le competenze sviluppate nell'ambito della ricerca di base per applicazioni di interesse più ampio.

### Attività di formazione

La CSN5 è costantemente coinvolta nella formazione. A parte l'organizzazione di scuole, e il coinvolgimento di dottorandi e laureandi, la CSN5 finanzia assegni di ricerca all'interno dei progetti Call. Inoltre, ogni anno assegna 6 grant per giovani ricercatori con un concorso, pagando sia lo stipendio del vincitore sia il progetto. Questo concorso promuove la leadership di giovani ricercatori e i vincitori si inseriscono nel mondo della ricerca e in progetti internazionali con ottimi risultati.

### *La Commissione 5 in cifre*

Indicatore	2023	2022	2021
Numero di FTE	585	605	606
Frazione di ricercatrici	30.1%	32%	29.4%
Budget annuo (M€)	6.2	6.1	5.5
Numero di progetti	88	113	111
Frazione delle milestone raggiunta	78.5%	77.1%	77.8%
Numero di pubblicazioni (WOS)	763	727	556
Numero di presentazioni a conferenze	498	377	346
Numero di tesi di Dottorato	26	12	19

## **5.2 Prospettive dell'attività di ricerca nelle CSN per il periodo 2025-2027**

In questa sezione sono presentate le prospettive delle attività delle CSN nel prossimo triennio attraverso le quali contiamo di avanzare verso il conseguimento dei nostri obiettivi scientifici e strategici.

### **CSN1 – Fisica delle particelle**

Il programma di attività sperimentali nel campo della fisica delle particelle agli acceleratori (CSN1) prevede un triennio particolarmente intenso, sia per il completamento del periodo a luminosità nominale al Large Hadron Collider del CERN, sia per la continuazione di importanti esperimenti e progetti in costruzione presso laboratori europei ed extra-europei.

Con il completamento del cosiddetto RUN 3 nell'estate 2026, 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 a LHC nel 2012, e in particolare miglioreranno la misura degli accoppiamenti del bosone di Higgs ai fermioni di seconda e terza generazione. Questi esperimenti misureranno in dettaglio anche le proprietà dei bosoni W e Z e del quark top, ampliando il territorio esplorato per nuova fisica. L'esperimento LHCb, completamente rinnovato e al momento in fase di presa dati, sarà in grado di studiare con grande precisione le proprietà del quark beauty, aumentando di un fattore sei la quantità di dati e continuerà inoltre l'indagine relativa ai nuovi stati adronici esotici. Nel settore del quark

Le informazioni complementari arriveranno grazie alle collisioni  $e^+e^-$ , osservate dall'esperimento Belle2 a KEK (Giappone), mentre l'esperimento BES III a IHEP (Cina) fornirà dati importanti sulla spettroscopia degli stati adronici esotici con quark charm.

Nei prossimi tre anni sarà studiata per la prima volta la produzione di neutrini a LHC grazie all'esperimento SND@LHC. L'esperimento NA62 al CERN continua la presa dati con fasci di kaoni carichi per misurare decadimenti rari contenenti i quark strange. L'esperimento MEG-2 al PSI (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 italiana. Una misura del momento magnetico anomalo del muone con altissima precisione è stata appena completata grazie all'esperimento G-2: l'esperimento ha fornito un risultato che sembra confermare una deviazione dalle previsioni teoriche, la misura finale è attesa per i prossimi anni. Un importante controllo di tale misura verrà dall'esperimento MUonE al CERN.

Una attività rilevante per il triennio 2025-2027 riguarda la preparazione e costruzione dei nuovi apparati per la fase di alta luminosità di LHC (HL-LHC, 2030-2041). Gli impegni dell'INFN per HL-LHC comportano risorse significative, investite per la costruzione di nuovi rivelatori, che corrispondono rispettivamente a circa il 9% e il 12% del costo totale degli upgrade per ATLAS e CMS.

Il prossimo triennio è cruciale anche per la continuazione di esperimenti con fasci di neutrini. A Fermilab, ICARUS, con forte partecipazione INFN, è partito nel 2022 e sta attualmente prendendo dati con successo. L'esperimento DUNE, con un programma ambizioso di studio di oscillazioni e proprietà dei neutrini, prevede apparati sperimentali sia a Fermilab (DUNE-near) sia in una miniera in profondità in South Dakota (DUNE-far). I fisici INFN daranno importanti contributi ad entrambe le zone sperimentali. I gruppi INFN stanno dando importanti contributi all'esperimento T2K a JPARC (Giappone) e hanno un ruolo rilevante nella preparazione dell'esperimento Hyper-Kamiokande, in cui neutrini prodotti dal fascio di protoni di JPARC verranno rivelati in un apparato di grandi dimensioni (260'000 tonnellate di acqua) posto a 295 km di distanza nella miniera di Kamioka. È di responsabilità italiana la costruzione di 300 complessi rivelatori di luce (mPMT) e della relativa elettronica. Il nuovo apparato è previsto entrare in funzione nel 2027.

Molteplici studi e test, previsti nei prossimi tre anni, forniranno informazioni necessarie al processo decisionale per la scelta dei futuri acceleratori. L'attività principale riguarda lo studio di fattibilità per futuri collisori  $pp$  ed  $e^+e^-$ , da collocare 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. Sono in corso anche studi per nuovi tipi di collisori, in particolare con fasci di muoni.

## **CSN2 – Fisica delle astroparticelle**

La missione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare consiste nel progresso della conoscenza delle leggi fondamentali della fisica e degli aspetti fondamentali dell'Universo ed è perseguita mediante una ricerca articolata su cinque linee scientifiche e su una pluralità di strutture di ricerca di cui si delineano gli aspetti salienti.

L'interesse per la Fisica astro-particellare nasce dalla necessità di superare le limitazioni insite nei due modelli che descrivono le interazioni fondamentali da una parte e la cosmologia dall'altra e si articola su quattro tematiche: materia oscura, proprietà del neutrino, gravità e fisica quantistica e radiazione cosmica.

L'impegno della CSN2 nell'ambito della materia oscura è completamente focalizzato su attività ai LNGS e si articola sulla rivelazione diretta di candidati WIMP (DarkSIDE, XENON) e sulla verifica del risultato di DAMA (SABRE,

COSINUS). Con la mancanza di un'evidenza per valori della massa delle WIMP dell'ordine di 10-1000 GeV e l'approssimarsi delle sensibilità sperimentali al fondo da neutrini cosmici (neutrino floor) l'interesse per questa ricerca si sta spostando verso masse inferiori (CRESST) o molto inferiori come gli assioni (QUAX, FLASH). Alcuni di questi esperimenti hanno già un orizzonte temporale che copre i prossimi 5-10 anni. I grossi esperimenti basati su TPC ad Ar o Xe liquido mirano d'altra parte a coprire l'intero spazio dei parametri accessibile e stanno valutando la partecipazione a grossi progetti come DARWIN o XLZD.

Per ciò che riguarda la fisica del neutrino la CSN2 è fortemente impegnata sulla determinazione di due proprietà fondamentali sulle quali serve ancora far chiarezza: natura (ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini o NDBD) e massa (misure dirette o cinematiche della massa del neutrino elettronico). La CSN2 supporta il sostegno dell'INFN a mantenere a LNGS due dei maggiori progetti futuri sulla ricerca del NDBD: CUPID e LEGEND. Nonostante alcune incertezze dovute alla situazione internazionale, il NDBD appare destinato a rappresentare uno degli impegni finanziari più importanti della CSN2 per i prossimi 10-15 anni. Più problematica è invece la situazione legata dalla determinazione sperimentale della massa del neutrino elettronico per la quale le alternative proposte all'approccio degli spettrometri magnetici (KATRIN) sembra ancora caratterizzato da un TRL insufficiente. La ricerca per un'evidenza sperimentale dell'esistenza di neutrini sterili (TRISTAN) e quella per la soluzione del problema della gerarchia di massa con misure presso reattori nucleari (JUNO) inizierà a breve ed è certamente destinata a continuare per i prossimi 5 anni.

La linea di ricerca su gravità e fisica quantistica ha avuto un grande sviluppo dopo la scoperta delle onde gravitazionali. In questo ambito la CSN2 supporta esperimenti tutti caratterizzati da un orizzonte temporale di almeno 15 anni (VIRGO e LISA) o addirittura superiore (ET). In quest'ultimo caso il supporto consiste al momento in un'azione di valutazione delle richieste atte a sostenere la candidatura del sito italiano e gli R&D necessari per il nuovo interferometro. Il resto delle attività è caratterizzato da un impegno finanziario e da durate minori e mira ad ottenere informazioni complementari sulla gravità nel sistema solare (GINGER e MOONLIGHT) o sulla possibile ricerca di effetti quantistici della gravità (ARCHIMEDES).

Le attività legate allo studio della radiazione cosmica sono sostenute da una comunità molto numerosa e si dividono tra programmi di lunga durata nello spazio (AMS2 e FERMI), altri con un orizzonte più breve (LIMADOU), programmi relativamente più brevi su pallone (GAPS e SPB2) e grandi osservatori da terra (AUGER, CTA e KM3) il cui programma temporale è di almeno 10 anni. Negli ultimi anni le osservazioni spaziali (tutte condotte in collaborazione con ASI) hanno subito un fortissimo rallentamento legato alla situazione contingente internazionale che si riassume nella mancanza assoluta di nuove importanti missioni a breve termine. La comunità sta cercando una via di uscita i cui dettagli non sono ancora chiari e rappresenteranno probabilmente la maggiore fonte di sorprese per gli anni a venire. Viceversa, molti dei dubbi insiti nelle misure da terra si stanno dissolvendo e queste sono quindi destinate a rappresentare un grosso impegno della CSN2 per i prossimi 10-20 anni.

### **CSN3 – Fisica nucleare**

La CSN3 è articolata in sei linee scientifiche e si riporta qui di seguito un breve riassunto delle prospettive per il prossimo triennio.

Presso i Jefferson Laboratories in USA, l'esperimento JLAB12 estenderà la ricerca del fotone oscuro. L'esperimento ePIC presso il futuro collisionatore Electron-Ion (EIC) è impegnato nella stesura del TDR per l'approvazione del DOE nel 2025. Ai LNF, l'esperimento KAONNIS presso l'acceleratore DAPHNE, si dedicherà alle misure di precisione delle transizioni negli atomi kaonici, a partire dal Neon. MAMBO proseguirà la presa dati presso le facilities tedesche MAMI ed ELSA, fino alla chiusura.

Per quanto riguarda la fisica della transizione di fase nella materia adronica, l'esperimento ALICE sarà impegnato nella presa dati del Run3 di LHC e nella preparazione degli upgrade previsti per il Run4, che avverrà dopo il 2029. I gruppi italiani parteciperanno alla costruzione del nuovo rivelatore di vertice ITS3. Inoltre, continueranno le attività di R&D per il futuro esperimento ALICE3, previsto dopo il 2034. Na60+ prevede la finalizzazione e la presentazione del proposal all'SPSC, con le attività nel 2023/2024 già dedicate a questo obiettivo che richiede la definizione del setup, degli aspetti tecnici, dell'infrastruttura CERN, del piano d'integrazione nell'area PPE138 e dell'ottimizzazione dei fasci di protoni e Pb. Nell'ambito della ricerca sulla struttura nucleare e dei meccanismi di reazione è previsto il proseguimento della campagna di presa dati GAMMA/AGATA presso i LNL, con numerosi esperimenti già approvati. Sempre per il 2025 sono programmate prese dati per molte sigle della commissione presso laboratori internazionali (si segnalano in particolare quelle al GSI, GANIL, MSU e RIKEN). È in corso di definizione un accordo con FRIB@MSU che coinvolge diverse sigle della commissione per un programma sperimentale da svolgersi nei prossimi anni. Ai LNS continuano inoltre i lavori di upgrade della facility.

Per quanto riguarda la fisica nucleare, l'esperimento LUNA continuerà il programma sperimentale sia all'acceleratore LUNA 400kV sia presso la facility Bellotti ai LNGS, che ospitano il nuovo acceleratore da 3.5MV, in particolare con i fasci di carbonio. n\_TOF proseguirà la presa dati al CERN effettuando misure presso le tre stazioni sperimentali (NEAR, EAR1 e EAR2). ERNA2, presso il laboratorio CIRCE, effettuerà misure sulla  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$  a basse energie sinora inesplorate. ASFIN2 proseguirà le misure presso LNL e Riken con fasci radioattivi e presso HIGS e JIST con fasci gamma e laser rispettivamente. Inoltre, in caso di disponibilità saranno anche utilizzati i fasci TANDEM ai LNS. L'esperimento PANDORA, il cui scopo è la misura dei decadimenti di nuclei in plasma, inizierà il commissioning presso i LNS del sistema magnetico e dell'apparato sperimentale, mentre si prevede la consegna della trappola per fine 2025. Dal 2025 inoltre inizieranno le sperimentazioni con i fasci radioattivi a LNL SPES.

LEA eseguirà misura di gravità e spettroscopia dell'antiidrogeno presso il deceleratore di antiprotoni ELENA del CERN. L'esperimento FAMU completerà la prima compagna di misura presso il RAL in UK per la misura del raggio del protone. Presso i LNGS proseguirà l'esperimento VIP per la misura di violazione del principio di Pauli ed effetti quantistici con un setup rinnovato per misure su nuclei ad alto Z.

Per quanto riguarda la linea di ricerca sulle applicazioni e i benefici per la società, l'esperimento FOOT, per la misura di reazioni nucleari di interesse in adroterapia e radioprotezione nello spazio, ha completato l'apparato e inizierà campagne di misura presso il CNAO e il GSI. Presso i LNL sono stati recentemente prodotti i primi fasci dal ciclotrone di SPES e nel 2025 partirà il nuovo progetto SPES\_MED per lo studio dei processi di produzione di nuclei teragnostici sfruttando sia il metodo di attivazione diretta sia il metodo ISOL.

#### **CSN4 – Fisica teorica**

Le attività di ricerca in fisica teorica proseguiranno nel prossimo triennio sviluppando le tematiche di tutte le linee scientifiche presenti all'interno della CSN4, mirate allo studio di modelli e teorie fisiche, sia per spiegare i risultati sperimentali già acquisiti, sia per aprire nuovi scenari per la fisica del futuro. I principali argomenti su cui verteranno le indagini in fisica teorica sono l'origine della massa delle particelle elementari, la natura e le proprietà della materia ed energia oscura, l'unificazione a livello quantistico di tutte le interazioni fondamentali, includendo la gravità, la struttura intrinseca dello spazio-tempo, la fisica del nucleo e delle particelle che lo costituiscono, inclusi i processi nei primi istanti di vita dell'Universo e la successiva evoluzione cosmologica. In un approccio di tipo bottom-up, che partendo dai dati sperimentali e dalla fenomenologia, arriva all'elaborazione di modelli di nuova fisica, le ricerche si svilupperanno secondo due filoni principali: da un lato verranno sviluppate tecniche di calcolo sempre più raffinate, che consentano un'interpretazione affidabile dei recenti e futuri dati sperimentali nell'ambito del paradigma teorico del Modello Standard delle interazioni fondamentali; in tale settore troveranno applicazione anche sviluppi avanzati

recenti nel campo del machine-learning e dell'intelligenza artificiale, con particolare riferimento ai processi all'acceleratore LHC, nella sua fase ad alta luminosità. Dall'altro lato, verranno condotte analisi globali di dati provenienti da esperimenti coinvolgenti uno spettro di energie molto ampio, alla ricerca di possibili evidenze di fenomeni non previsti dalla fisica standard, con un approccio interdisciplinare che coinvolge le frontiere dell'energia, dell'intensità e della cosmologia. Nell'ambito della fisica del sapore un ruolo particolare sarà giocato dalle ricerche mirate alla spiegazione dell'attuale discrepanza tra i risultati sperimentali della misura del momento magnetico anomalo del muone presso il Fermilab e le predizioni teoriche, basate sia su approcci che utilizzano relazioni di dispersione che su calcoli ab initio mediante calcoli numerici di Cromodinamica Quantistica su reticolo. In questo settore sono prevedibili progressi importanti grazie anche alle risorse computazionali del Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing. Nell'ambito della fisica degli acceleratori, durante il prossimo triennio si prevedono sviluppi negli studi teorici relativi al caso di fisica dei futuri acceleratori di particelle successivi a LHC, come anche negli studi relativi a tutti gli aspetti di fisica adronica che contraddistinguono il futuro Electron Ion Collider. Nel prossimo triennio si prevedono progressi nella comprensione dei segnali di emissione di onde gravitazionali e delle caratteristiche fisiche delle loro sorgenti, dalle stelle di neutroni ai buchi neri, mediante un approccio multimessaggero. Da un lato saranno raffinate le tecniche di simulazione dei segnali, dall'altro verranno studiate le implicazioni dei nuovi dati sperimentali relativi a onde gravitazionali e a osservazioni cosmologiche sulla conoscenza dell'Universo primordiale e della sua relazione con la fisica delle particelle. Parte delle attività saranno finalizzate ad approfondire le potenzialità dell'Einstein Telescope, un interferometro gravitazionale con una sensibilità molto maggiore rispetto agli attuali. Le problematiche connesse con la conoscenza della natura dei buchi neri e dell'interazione gravitazionale su regimi cosmologici saranno studiate anche con un approccio di tipo top-down, che parte da una teoria coerente per l'unificazione delle interazioni fondamentali, inclusa la gravità, nell'ambito della quale le particelle elementari e i mediatori delle forze sono associati a diversi modi di vibrazione di oggetti estesi unidimensionali, detti stringhe. Saranno oggetto di studio le proprietà matematiche di tale teoria e delle possibili teorie di campo "effettive" nel limite di bassa energia. Le attività della CSN4 non si esauriranno nelle tematiche menzionate finora, ma proseguiranno anche gli studi degli aspetti più formali della teoria dei campi, della fisica matematica, della fisica statistica, come anche dei fondamenti della meccanica quantistica, dell'informazione e computazione quantistica e della fisica dei sistemi complessi.

### **CSN5 – Ricerca tecnologica**

Va premesso che la Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5) ogni anno esamina un numero di nuove proposte variabile fra 20 e 30 progetti, che vengono selezionati secondo un sistema di ranking ormai consolidato. In base a questo meccanismo la politica scientifica della Commissione è prevalentemente bottom-up, ovvero accoglie e supporta progetti e idee su argomenti di punta che di volta in volta vengono portati alla sua attenzione. Periodicamente la Commissione può decidere di impegnarsi su linee strategiche indicando dei bandi per progetti di ampio respiro (Call) che costituiscono un punto di aggregazione di gruppi legati all'ente per sviluppi di particolare rilevanza.

I progetti finanziati dalla CSN5 nel 2024 e approvati per il 2025 forniscono sicuramente una proiezione della linea scientifica della Commissione per i prossimi 3 anni ma non si esclude che i progetti approvati per il 2026 e 2027 possano introdurre delle novità di rilievo.

A valle di questa premessa, possiamo dire che la CSN5 si sta impegnando in una serie di attività strategiche per l'Ente: R&D di rivelatori per le alte energie inquadrati nella strategy europea della fisica delle particelle, tecnologie per nuovi acceleratori di particelle, tecniche di calcolo avanzate e loro applicazioni interdisciplinari, tecniche avanzate di terapia e diagnostica per la medicina, tecnologie quantistiche per il calcolo e la sensoristica.

Per quanto riguarda i rivelatori di particelle si stanno monitorando progetti per lo sviluppo di nuovi rivelatori in grado di rivelare tempo, traiettoria e carica delle particelle incidenti in grado di lavorare con flussi elevati, compatibili con gli acceleratori ad alte energie di prossima generazione. Sempre per fare fronte ai parametri dei futuri fasci di particelle sono in corso studi per lo sviluppo di sistemi integrati digitali e di analisi ML in grado di far fronte alle alte frequenze di eventi.

Nel settore delle tecnologie per gli acceleratori, la CSN5 è impegnata in progetti per tecniche innovative di accelerazione basate sull'interazione laser-plasma. Inoltre, una parte rilevante dei finanziamenti negli ultimi anni è stata dedicata allo sviluppo di sistemi superconduttivi per la realizzazione di campi magnetici elevati per acceleratori di nuova generazione. Infine, sono in corso studi sullo sviluppo di sistemi innovativi di accelerazione miniaturizzati e di target in grado di supportare flussi elevati.

La CSN5 al momento è anche l'unica Commissione scientifica dell'ente che supporta progetti interamente dedicati al calcolo avanzato (IA, Monte Carlo e ML) con particolare riferimento ad applicazioni sia nel settore della fisica di base che della fisica interdisciplinare. Nell'ultimo caso i progetti hanno messo insieme un'ampia comunità dedicata all'analisi di dati medicali a supporto della clinica.

Nella fisica interdisciplinare, la CSN5 è da sempre impegnata in attività di sviluppo per il trattamento con radiazioni di pazienti oncologici. In particolare, la CSN5 è stato il primo organo a finanziare attività sullo studio della adroterapia FLASH o con micro-fasci. A questi trattamenti si affiancano tecnologie avanzate per l'imaging, la diagnostica preventiva e lo sviluppo di radiofarmaci.

Stanno inoltre crescendo le attività dedicate alle tecnologie quantistiche. In questi anni è stato consolidato il know-how sullo sviluppo di sistemi superconduttivi quantistici per la rivelazione di micro-onde prodotte dall'interazione di assioni, nonché per la produzione di sistemi ottici integrati utilizzabili in processori quantistici. Per il futuro a queste attività si accompagneranno progetti per lo sviluppo di qubit ottici e superconduttivi, utilizzabili in simulazioni di processi fisici, progetti per lo sviluppo di sensori quantistici per le antenne gravitazionali e progetti di studio per l'interazione di qubit con la radiazione cosmica. Quest'ultimo aspetto è di particolare rilevanza per poter individuare il ruolo della radiazione cosmica nella ben nota perdita di coerenza dei qubit.

Concludendo, la ricca prospettiva scientifica qui presentata può essere considerata indicativa delle principali linee di ricerca della CSN5 nei prossimi anni, anche se lo sviluppo esponenziale che stanno avendo il calcolo e le tecnologie quantistiche non esclude l'introduzione di ulteriori novità.

### 5.3 Coordinamento Nazionale Calcolo

L'INFN ha un ruolo primario nel calcolo degli esperimenti di fisica delle alte energie, astroparticellare e nucleare e delle iniziative specifiche di fisica teorica garantendo potenza computazionale e storage avanzato nella sua infrastruttura di calcolo scientifico, parte dell'infrastruttura di calcolo scientifico europea coordinata da WLCG, composta dal Tier-1 al CNAF di Bologna e da 9 Tier-2 ai Laboratori Nazionali di Frascati e Legnaro e nelle sezioni di Bari, Catania, Milano, Napoli, Padova, Pisa, Roma1 e Torino.

Partecipa inoltre a diversi progetti legati all'iniziativa europea EOSC (European Open Science Cloud) e in EuroHPC (European High-Performance Computing Joint Undertaking) è partner principale, insieme al CINECA, del consorzio che nel 2022 ha portato in Italia al Tecnopolo di Bologna il supercomputer Leonardo cui, dal 2024, si affianca anche il Tier-1 del CNAF. Leonardo è uno dei 3 supercalcolatori pre-Exascale (250 PFlop) finanziato nel 2019, insieme a 8 sistemi Petascale, attraverso l'iniziativa EuroHPC JU.

L'INFN è capofila del Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing (ICSC), un'iniziativa strategica promossa dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) per potenziare la capacità dell'Italia nel campo del supercalcolo, dell'analisi dei dati su larga scala e della computazione quantistica. Il centro, che comprende oltre all'INFN, il CINECA e il GARR, numerose Università Italiane e alcune tra le più grandi imprese private nazionali, ha l'obiettivo di sviluppare tecnologie avanzate che possano supportare la ricerca scientifica, l'industria e le istituzioni nella gestione di problematiche complesse, fornendo strumenti innovativi per affrontare le sfide del futuro.

Il Centro Nazionale ICSC è organizzato secondo un modello a "Hub e Spoke". In questo schema, l'Hub centrale è responsabile della gestione e del coordinamento complessivo del Centro, lo Spoke 0 è dedicato all'implementazione, l'ottimizzazione e il potenziamento dell'infrastruttura di supercalcolo e cloud, mentre i 10 Spoke sono dedicati alla ricerca in specifiche aree tematiche affrontando temi di rilevanza strategica per il Paese. Questa struttura organizzativa permette al Centro di combinare efficacemente la gestione centralizzata con la specializzazione tematica, facilitando la collaborazione tra università, enti di ricerca e aziende distribuite su tutto il territorio nazionale.

Nel contesto di ICSC l'INFN ha potenziato tutti i centri di calcolo che rappresentano l'infrastruttura distribuita Big Data dell'INFN e sta sviluppando una cloud in grado di garantire l'accesso alle risorse in maniera trasparente ed efficace per tutti i partner. Inoltre, sono stati 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.

Inoltre, l'INFN è coinvolto in quattro dei dieci Spoke tematici: lo Spoke 2 dedicato alla ricerca fondamentale e alla Space Economy, lo Spoke 3 dedicato all'Astrofisica e all'osservazione del cosmo, lo Spoke 8 dedicato alla medicina in-silico e ai dati omici e infine lo Spoke 10 dedicato al Quantum Computing.

## **Prospettive**

Gli esperimenti di Fisica delle Alte Energie (HEP) e altri progetti scientifici nei settori della fisica nucleare e astrofisica, si prevede genereranno molti exabyte di dati nel prossimo decennio, superando di gran lunga le capacità fornite dall'attuale infrastruttura di calcolo scientifico. Pertanto, è diventato cruciale sviluppare modelli di calcolo e software avanzati, nonché nuove infrastrutture di calcolo per la raccolta, simulazione, distribuzione e analisi di questa enorme quantità di dati in modo rapido ed efficiente.

Finora, gli esperimenti HEP hanno utilizzato l'infrastruttura WLCG di calcolo distribuito ad alto throughput costituita da centinaia di data centres ospitati in laboratori di fisica o università (Tier-1 e Tier-2) e basata principalmente sul middleware di grid computing e spesso gestiti da personale degli esperimenti. Una tale infrastruttura di calcolo non è più economicamente sostenibile per cui si rende necessario l'uso di infrastrutture interdisciplinari condivise con altre discipline scientifiche basate su centri di calcolo ad alte prestazioni (HPC) che potranno garantire la potenza di calcolo necessaria prevista nell'era dell'HL-LHC e oltre.

Il calcolo ad alte prestazioni è un'area di grande interesse per l'Europa, in particolare nell'ambito della strategia per rafforzare la sovranità digitale, l'innovazione e la ricerca scientifica. L'Unione Europea ha avviato diversi progetti e iniziative nel settore HPC per sviluppare una nuova infrastruttura di supercalcolo distribuita, la più recente delle quali è la EuroHPC JU, un'iniziativa di punta volta a creare un'infrastruttura di supercalcolo di livello europeo dell'ordine dell'ExaFlops e post-ExaFlops.

In questo ambito si colloca il Centro Nazionale ICSC, che comprende anche il supercomputer pre-ExaFlops Leonardo e la sua evoluzione Lisa, che ha permesso di costituire un'infrastruttura unica nel panorama europeo per capacità di calcolo e di gestione ed analisi di dati sperimentali basata sul calcolo ad alte prestazioni. Il centro nasce con l'intento di sviluppare infrastrutture di calcolo estremamente potenti e l'High Performance Computing permette di elaborare in tempi rapidi informazioni di grande complessità, aprendo la strada a progressi significativi in ambiti come la fisica, l'ingegneria, la biomedicina e la meteorologia. L'applicazione dell'Intelligenza Artificiale e del Machine Learning su larga scala consente, grazie alla potenza di calcolo disponibile, di sviluppare modelli predittivi sempre più accurati, con impatti importanti sulla ricerca e sull'industria.

Un altro degli aspetti fondamentali del centro è la gestione dei Big Data, un elemento chiave per il progresso tecnologico. L'enorme quantità di informazioni prodotte quotidianamente in vari settori, dalla sanità alla finanza, dall'industria manifatturiera alle telecomunicazioni e ovviamente dalla ricerca, necessita di strumenti sempre più avanzati per essere analizzata e utilizzata in modo efficace. Il Centro ICSC lavora allo sviluppo di piattaforme e algoritmi innovativi per estrarre valore da questi dati, migliorando i processi decisionali, ottimizzando le risorse e favorendo una transizione verso modelli produttivi più efficienti e sostenibili. Il centro ICSC è quindi 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. In base a tale modello l'INFN garantisce la conservazione e la gestione dei dati scientifici nella sua infrastruttura di data centers e utilizza la potenza di calcolo fornita dai centri HPC per la loro elaborazione.

Il centro ICSC assumerà un ruolo sempre più rilevante a livello europeo in seguito alla recente selezione come uno dei 13 nodi iniziali della federazione EOSC (European Open Science Cloud). L'EOSC è un'iniziativa dell'Unione Europea che mira a creare un ambiente federato e aperto per la gestione dei dati scientifici per facilitare la condivisione, il riutilizzo e l'accesso ai dati della ricerca in Europa. All'interno dell'EOSC, i nodi sono infrastrutture nazionali o tematiche che forniscono servizi e risorse ai ricercatori e alle comunità scientifiche. ICSC gioca un ruolo chiave nella creazione di un ecosistema digitale per la scienza aperta in Italia, integrando le risorse di calcolo ad alte prestazioni e cloud computing con l'infrastruttura EOSC.

Per affrontare le sfide future, l'INFN ha partecipato e partecipa a varie attività sia di R&D che di definizione di strategie di rinnovamento del calcolo scientifico, in particolar modo attraverso progetti europei. L'INFN è inoltre pesantemente coinvolto negli studi per l'evoluzione di tecnologie altamente promettenti come l'Intelligenza Artificiale e il Quantum Computing.

### **Intelligenza Artificiale:**

L'intelligenza Artificiale (AI) sta assumendo un ruolo estremamente importante nella Fisica delle Particelle, delle Astroparticelle e Nucleare permettendo di analizzare e sfruttare appieno il potenziale fisico dei dati raccolti. L'INFN negli ultimi anni si è molto impegnato nella promozione e nello sviluppo dell'AI sia per le proprie attività istituzionali sia per contribuire all'innovazione e all'integrazione di queste tecnologie a beneficio della società.

L'INFN sostiene iniziative nazionali, europee e globali che incentivano lo sviluppo dell'AI, sia a livello fondazionale che applicativo, favorendo anche opportunità di formazione e crescita per il personale coinvolto. Inoltre, l'ente promuove collaborazioni con il settore industriale, ritenendo fondamentale il coinvolgimento di partner privati per accelerare il progresso tecnologico.

Nel novembre 2024, EuroHPC JU ha approvato il finanziamento per la creazione delle prime sette "AI Factories" in Europa. Queste strutture saranno distribuite in Finlandia, Germania, Grecia, Italia, Lussemburgo, Spagna e Svezia.

Le AI Factories sono concepite come hub interconnessi dedicati all'intelligenza artificiale, offrendo supporto completo a startup, piccole e medie imprese (PMI) e ricercatori. Questo supporto include l'accesso a risorse di calcolo ad alte prestazioni ottimizzate per l'AI, formazione e competenze tecniche. L'obiettivo principale è potenziare la capacità computazionale europea e promuovere l'innovazione in settori chiave come la sanità, l'energia e il clima.

In Italia, l'AI Factory denominata IT4LIA sarà ospitata presso il Tecnopolo di Bologna, gestito dal consorzio CINECA. Questo progetto coinvolge anche Austria e Slovenia e prevede l'installazione di un supercomputer avanzato ottimizzato per l'AI. L'infrastruttura mira a rafforzare l'ecosistema tecnologico nazionale, supportando settori strategici come l'agroalimentare, la cybersecurity, le scienze climatiche e il manifatturiero. Il progetto IT4LIA rappresenta un investimento complessivo di circa 430 milioni di euro, cofinanziato dall'Italia e dall'EuroHPC JU.

L'INFN contribuisce al progetto IT4LIA e in questo ambito ha elaborato una strategia nella quale uno dei punti centrali è la creazione di un'infrastruttura di AI avanzata e distribuita, sotto la guida dell'EuroHPC Joint Undertaking. Questa infrastruttura sarà progettata per soddisfare le esigenze di diversi settori tra cui la ricerca scientifica, il sistema produttivo e la società nel suo complesso. L'INFN propone inoltre la realizzazione di un Centro di Eccellenza tematico focalizzato sulla Fisica delle Particelle e Nucleare, dove l'esperienza maturata nel calcolo su larga scala e nell'intelligenza artificiale possa essere condivisa con altri ambiti di ricerca all'interno del programma EuroHPC.

Un altro elemento chiave della strategia è la creazione di un Istituto Virtuale Federato per l'AI, pensato per coordinare e aggregare le iniziative nazionali, evitando la necessità di istituire un unico centro fisico. L'INFN ritiene che questa soluzione permetta di organizzare più efficacemente il lavoro a livello globale, garantendo una gestione centralizzata delle attività e delle collaborazioni tra istituti e aziende di eccellenza, assicurando al tempo stesso un'ampia rappresentatività delle diverse discipline. L'istituto virtuale si occuperebbe anche di promuovere la formazione e la mobilità dei ricercatori, ritenute fondamentali per garantire la crescita delle competenze nel settore.

Per favorire il progresso dell'AI, l'INFN ritiene importanti finanziamenti mirati, attraverso progetti quadro o iniziative dell'European Research Council. Le opportunità di finanziamento dovrebbero coprire sia gli studi di base sull'AI, per esempio per discipline come la fisica dei sistemi complessi o la meccanica statistica, sia ricerche applicative nei settori chiave dell'INFN, come l'analisi di grandi datasets scientifici, la fisica applicata e l'intelligenza artificiale applicata alla fisica teorica. Inoltre, andrà prestata particolare attenzione a tecnologie emergenti e potenzialmente dirompenti, come il Quantum Machine Learning, che potrebbe rivoluzionare l'approccio all'AI nei prossimi anni.

In sintesi, la strategia dell'INFN punta a sviluppare un ecosistema europeo dell'AI che unisca infrastrutture avanzate, cooperazione istituzionale e finanziamenti mirati per promuovere l'innovazione e la crescita del settore. L'istituto si impegna a facilitare la collaborazione tra enti di ricerca e industria, promuovendo al contempo lo sviluppo di competenze e la diffusione delle tecnologie di intelligenza artificiale in diversi ambiti applicativi.

### **Quantum computing:**

Le tecnologie quantistiche sfruttano concetti della meccanica quantistica come la sovrapposizione, l'entanglement e l'interferenza, trovando applicazione in ambiti come il calcolo quantistico, le telecomunicazioni quantistiche, la crittografia quantistica e la sensoristica quantistica.

Il calcolo quantistico promette di risolvere problemi computazionalmente complessi, irrisolvibili con i computer classici. Un computer quantistico "perfetto" con  $N$  qubit può in linea di principio essere capace di descrivere  $2^N$  stati contemporaneamente. Con l'aumentare di  $N$ , la potenza di calcolo teorica aumenta esponenzialmente.

Tuttavia, non esistono ancora computer quantistici realmente fault-tolerant con un numero elevato di qubit privi di errori e con una memoria quantistica affidabile. Attualmente, grazie al coinvolgimento di grandi aziende come Google, IBM, Intel e Microsoft, nonché di numerosi spin-off da centri di ricerca e università in tutto il mondo, si sta producendo una rapida accelerazione verso enormi progressi tecnologici, sviluppando dispositivi NISQ (Noisy-Intermediate-Scale-Quantum), sistemi dotati di un centinaio di qubit o più, accessibili via modalità cloud che, sfruttando tecniche di correzione e mitigazione degli errori, rendono già possibile ottenere risultati migliori rispetto ai computer classici in alcuni ambiti specifici, anche se con limitazioni.

L'Europa ha deciso di scommettere sulle quantum technologies (un superset del quantum computing) come motore per lo sviluppo europeo, attraverso un progetto flagship multimilionario e pluriennale: 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 sfruttare le competenze tecnologiche esistenti per realizzare prototipi e contribuire alle attività di ricerca e sviluppo in questo campo. L'INFN intende inoltre 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 il quantum machine learning, 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 contribuisce al progetto grazie al suo know-how competitivo a livello mondiale in fisica teorica, nelle tecnologie superconduttive e criogeniche e nello sviluppo di rivelatori. L'INFN ha stipulato un accordo con il CERN per l'utilizzo della piattaforma di macchine quantistiche IBM, terminato nel maggio 2024, che ha garantito l'accesso all'hardware più recente fornendo capacità di calcolo ad alta priorità a una decina gruppi teorici e sperimentali.

L'INFN è partner della rete europea QuantERA e partecipa alle call in cui vengono svolti test per gli sviluppi delle tecnologie e degli algoritmi, per un totale di sette progetti finanziati. 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.

L'INFN consolida ulteriormente il proprio ruolo in quest'ambito, tramite la partecipazione al partenariato esteso QST e alle attività su quantum computing del Centro Nazionale ICSC, che fra l'altro acquisirà un acceleratore quantistico per il supercomputer Leonardo, coordinando il gruppo di lavoro sul software dello Spoke 10.

## 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.

La strategia dell'Ente è quella di sfruttare tutte le risorse straordinarie messe a disposizione in questo periodo per rinnovare i quattro laboratori nazionali e le principali infrastrutture di ricerca. In questo ambito si inquadrano la costruzione di EUPRAXIA ai Laboratori Nazionali di Frascati; gli interventi ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso volti a migliorare l'infrastruttura sotterranea per poter ospitare la prossima generazione di esperimenti sul neutrino e sulla ricerca della materia oscura; il commissioning di SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro e l'upgrade del ciclotrone superconduttore dei Laboratori Nazionali del Sud; ed infine gli interventi di modernizzazione di tutta l'infrastruttura di calcolo INFN che include il Tier-1, trasferito nel 2024 al tecnopolo di Bologna, e di tutti i Tier-2. Per quanto riguarda invece le infrastrutture di ricerca gli interventi sono stati principalmente finanziati sui fondi PNRR e riguardano tra gli altri Einstein Telescope, l'osservatorio di terza generazione per lo studio delle onde gravitazionali, KM3NeT, l'infrastruttura sottomarina per lo studio dei neutrini cosmici, IRIS e il LASA per potenziare gli studi sulla superconduttività. Il programma è di terminare questi interventi nei prossimi due anni per poter affrontare al meglio le sfide scientifiche dell'Ente.

### 6.1 I Laboratori Nazionali

I quattro laboratori nazionali dell'INFN sono laboratori di ricerca: dove, oltre a dare supporto alle attività sperimentali che i propri ricercatori svolgono in altri laboratori, si portano avanti importanti progetti di ricerca in loco.

#### LNF – Laboratori Nazionali di Frascati

I Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) sono stati i primi tra i Laboratori Nazionali dell'INFN e ancora oggi sono i più grandi per numero di dipendenti. Fin dalla fondazione, si dedicano a due attività principali: lo sviluppo, la costruzione e il funzionamento di acceleratori; la progettazione e la costruzione di rivelatori all'avanguardia per esperimenti di fisica delle particelle, nucleare e astroparticellare.

I LNF coprono un'area di circa 140.000 m<sup>2</sup>. Di questi, 59.000 sono coperti e includono uffici, laboratori e aree di servizio. I LNF ospitano le seguenti infrastrutture:

- DAΦNE, un collisore e+e- unico in Europa, che opera all'energia della massa del mesone  $\Phi$ , in grado di fornire luminosità istantanee di circa  $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;
- un laboratorio di luce di sincrotrone, DAΦNE-Light, che ospita sette linee di radiazione di sincrotrone, estratte dall'anello di elettroni di DAΦNE, con frequenze che vanno dal soft-X all'infrarosso;
- una Beam Test Facility (BTF), un'area attrezzata per test di rivelatori, diagnostica dei fasci e irraggiamento, che dispone di due linee di fascio (BTF1, BTF2) in grado di fornire elettroni, positroni e fotoni di intensità ed energia variabile fino a circa 700 MeV;
- SPARC\_LAB, un complesso che ospita un acceleratore lineare di elettroni in grado di alimentare un FEL (Free Electron Laser) e un laser con potenza di picco di circa 200 TW. SPARC\_LAB è un'infrastruttura per la ricerca e lo sviluppo di nuove tecniche di accelerazione e per studi interdisciplinari, inclusi esperimenti PWFA e LWFA, radiazione TeraHertz e una sorgente di radiazione Compton;

- SCF\_LAB, un laboratorio certificato per la progettazione, modellazione e caratterizzazione di apparecchiature di misurazione laser. Le procedure di laboratorio sono approvate dal International Laser Ranging Service;
- COLD, un laboratorio criogenico per lo sviluppo di rivelatori fotonici ad altissima sensibilità, dotato di un set completo di impianti criogenici per misurazioni a temperature fino ai mK;
- TEX, un banco di prova per strutture acceleranti in banda X (12 GHz) a gradienti fino a 100 MV/m. Recentemente è stato anche equipaggiato per testare componenti in banda C (5,7 GHz). È stato costruito in collaborazione con il CERN come parte del progetto LATINO finanziato dalla Regione Lazio. La struttura è principalmente destinata a test per aziende esterne che operano nel campo degli acceleratori lineari compatti, che può essere utilizzata, nel tempo rimanente, per testare le strutture acceleranti di CLIC, EuPRAXIA@SPARC\_LAB e dei futuri free-electron laser compatti;
- ampie sale di assemblaggio con diverse camere bianche (classe ISO 6-8 per una superficie totale di circa 480 m<sup>2</sup>) dotate di tutti gli strumenti necessari per progettare e costruire grandi apparecchiature sperimentali.

Inoltre, i LNF ospitano un'officina meccanica, servizi di elettronica, un laboratorio di plasma, un laboratorio avanzato di ultra-alto vuoto, un potente e moderno centro di calcolo e un servizio di fisica medica e radioprotezione unico all'interno dell'INFN. Grazie ai fondi del PNRR, entro la fine del 2025, i laboratori ospiteranno un nuovo centro dati HPC (High Performance Computing) per il calcolo scientifico.

Al 31 dicembre 2023, i LNF contavano 284 unità di personale permanente, 49 con contratto a termine e, includendo anche il gruppo collegato dell'Università di Cosenza, 179 collaboratori associati. Tra questi ultimi, ci sono studenti universitari e di dottorato, giovani post-doc e dipendenti di altre istituzioni scientifiche (università e altri enti di ricerca) provenienti dall'Italia e dall'estero.

Nel lungo periodo, la strategia scientifica dei laboratori si basa su tre pilastri: 1) orientare la transizione da DAΦNE a EuPRAXIA@SPARC\_LAB nel modo più efficace e scientificamente proficuo; 2) incoraggiare e sostenere alcune attività interne di ricerca fondamentale o applicata che possano avere un impatto nei rispettivi campi; 3) partecipare con contributi di alta qualità a iniziative internazionali di rilievo in altri laboratori, come ad esempio il CERN, il FERMILAB e i LNGS.

Un quarto obiettivo si aggiunge alla strategia a breve termine, ovvero il completamento dei progetti PNRR in cui il laboratorio è coinvolto.

DAΦNE, operativo da circa 25 anni, è principalmente una sorgente di kaoni disponibili per esperimenti di fisica delle particelle, fisica adronica e fisica nucleare. L'obiettivo di fornire una luminosità integrata di 800 pb<sup>-1</sup> all'esperimento SIDDHARTA-2 è stato raggiunto nell'estate del 2024. Il set di dati raccolti permetterà per la prima volta di misurare le transizioni del deuterio-kaonico.

EuPRAXIA@SPARC\_LAB è stato proposto come il pilastro dell'accelerazione al plasma "particle driven" (PWFA) nell'ambito del progetto europeo per rendere l'accelerazione al plasma disponibile per la realizzazione degli acceleratori futuri. Il governo italiano ha stanziato i fondi per la sua costruzione ed è chiaro che diventerà l'asset principale del laboratorio entro pochi anni.

Se e come operare DAΦNE nel periodo tra il 2024 e l'inizio dell'operazione di EuPRAXIA@SPARC\_LAB è stato, e rimane, oggetto di discussione, e dipenderà da una valutazione dettagliata dei costi e dei benefici delle attività proposte. A tale proposito è stato elaborato un piano di manutenzione per l'infrastruttura, che richiederebbe investimenti di circa 5 milioni di euro e circa 1-1,5 anni di lavori. Si sta valutando se questo sforzo possa essere

compatibile con altri impegni già presi dal laboratorio come, ad esempio, l'installazione di SSRIP a Magurele (Romania), che deve essere completato entro la fine del 2025, e la realizzazione della sorgente di betatrone del progetto PNRR EuAPS, da completare entro il 2026. Nell'ambito dell'Upgrade della Particle Physics European Strategy promossa dal CERN si sta anche valutando la possibilità di rendere DAΦNE disponibile come macchina di studio per le dinamiche di fascio per gli acceleratori futuri. Questo sarebbe compatibile con la realizzazione in parallelo di un programma per ulteriori studi degli atomi kaonici.

Il progetto PNRR EuAPS (EuPRAXIA Advanced Photon Sources) è guidato dai LNF in collaborazione con i LNS, l'Università di Tor Vergata e l'Istituto CNR-INO di Pisa. Il suo scopo è installare una "laser-driven betatron X-ray facility" presso SPARC\_LAB e promuovere lo sviluppo di sorgenti laser ad alta potenza (fino a 1 PW) e alta frequenza di ripetizione (fino a 100 Hz) nei siti dei partner, per offrire una piattaforma per sviluppi industriali avanzati basati su laser ultraveloci. Il progetto è stato finanziato con circa 22 milioni di euro, di cui circa 8 per i LNF.

Un secondo progetto importante, del valore di circa 5 milioni di euro, nell'ambito delle iniziative PNRR è ICSC che prevede la realizzazione di un nuovo Data Center che soddisferà le necessità computazionali di tutti i gruppi di ricerca del laboratorio, nonché supporto all'infrastruttura cloud dell'INFN. Il centro ospiterà un Tier2 aggiornato (44 server, 5 PB di spazio su disco) e un nuovo centro dati HPC da 1,2 MW, di 400 m<sup>2</sup>, con la possibilità di essere ulteriormente ampliato. Sarà situato nell'area nord recentemente acquisita del laboratorio che subirà importanti lavori infrastrutturali per un valore di circa 2,5 milioni di euro.

Nel complesso, i LNF partecipano a 7 iniziative PNRR, con un budget totale di circa 19 milioni di euro. Come già osservato, tutti i progetti PNRR devono essere completati entro 3 anni dalla loro data di avvio ufficiale, generalmente entro la fine del 2026.

I LNF sono sempre stati un importante hub per lo sviluppo di nuove tecniche di rilevazione di particelle, in particolare nei campi dei rivelatori a gas e dei calorimetri. Questa competenza si mantiene e si accresce nell'ambito delle collaborazioni internazionali in corso per realizzare i rivelatori che opereranno ai futuri acceleratori. Parallelamente, negli ultimi anni è iniziata una forte attività sullo sviluppo di rivelatori criogenici dedicati alla ricerca di assioni cosmici o particelle simili. Ciò consente al laboratorio di mantenere in sede attività di ricerca fondamentale di ampio interesse scientifico, attraverso l'esperimento QUAX, che recentemente ha pubblicato i suoi primi risultati scientifici, e il proposto FLASH in preparazione. L'alto valore di queste attività è attestato anche dall'assegnazione del progetto Synergy Grant denominato GravNet, finanziato dall'European Research Council con 10 milioni di euro, per creare una rete europea di rivelatori di assioni e di onde gravitazionali di alta frequenza che comprende le università di Bonn e Mainz in Germania, i LNF in Italia e l'Istituto di Fisica delle Alte Energie (IFAE) in Spagna.

Per quanto riguarda la partecipazione a esperimenti in laboratori esterni, ci sono al momento due grossi impegni presi dai gruppi dei LNF: 1) la partecipazione alla costruzione del tracker interno (ITK) del rivelatore ATLAS per la fase-2 dell'LHC del CERN; 2) la realizzazione di una parte del rivelatore "near" per l'esperimento DUNE del FERMILAB, che farà uso del magnete e del calorimetro che costituiscono il rivelatore KLOE. Per il primo impegno, una nuova grande camera pulita è in fase di completamento e il trasporto finale del rivelatore al CERN è previsto per il 2026. Per il secondo impegno, lo smontaggio del rivelatore KLOE sta procedendo velocemente e i vari componenti sono previsti essere spediti negli Stati Uniti già nel 2025.

Una panoramica completa di tutte le attività svolte ai LNF è disponibile nel [rapporto annuale 2023](#).

Segue un riassunto dei principali risultati scientifici e tecnici del periodo 2023-2024.

Nel campo degli acceleratori di particelle, cresce l'interesse per lo sviluppo di strutture acceleranti compatte in grado di superare le attuali limitazioni degli acceleratori convenzionali basati su impulsi RF. In questo contesto, si inserisce l'attività principale della Divisione acceleratori di ricerca orientata verso lo sviluppo di dispositivi basati sulla tecnologia al plasma, capaci di generare gradienti di accelerazione dell'ordine delle decine di GV/m, e che rappresentano un notevole incremento rispetto alle decine di MV/m raggiungibili con le tecniche convenzionali. Il progetto EuPRAXIA@SPARC\_LAB rappresenta la prima struttura per utenti basata su fasci accelerati tramite plasma, e offrirà sorgenti di luce di varia frequenza e tipologia.

Durante il 2023, la Beam Test Facility (BTF) ha aumentato significativamente la disponibilità di fascio, arrivando a circa 240 giorni/anno. Oltre 200 utenti hanno utilizzato i fasci disponibili, 78% italiani (INFN e Università) e 19% stranieri, con anche una piccola percentuale di aziende. Tra le altre, merita una menzione l'attività FLASHMOB che in poche ore di fascio ha testato con successo un nuovo metodo per produrre  $99\text{m-Tc}$  da una sottile lamina di Mo, sfruttando una reazione elettroneucleare. La BTF è anche partner nel progetto EUROLABS per l'accesso transnazionale e partecipa a progetti come il PNRR Rome Technopole e ASIF-2.

La collaborazione PADME sta completando l'analisi dei dati raccolti nel 2023 dedicati alla ricerca dell'ipotetica particella X17 suggerita da una serie di esperimenti di fisica nucleare condotti presso l'Istituto Atomki di Debrecen (Ungheria). Una nuova acquisizione dati, con statistica più elevata, è prevista per il 2025, utilizzando un apparato migliorato per rilevare i prodotti del decadimento dell'X17.

L'esperimento SIDDHARTA-2 ha acquisito, tra il 2023 e l'estate del 2024, più di  $800 \text{ pb}^{-1}$ . Il set di dati raccolti permetterà, per la prima volta, di misurare le transizioni del deuterio-kaonico per estrarre la lunghezza di scattering del neutrone e confrontarla con le precise misure teoriche.

Nel 2023, circa 25 gruppi sperimentali, provenienti da università italiane, istituzioni di ricerca e terzi, hanno avuto accesso al laboratorio DAΦNE-Light. Tra i vari progetti, molti dei quali PNRR, vale la pena menzionare ARTEMISIA (ARTificial intelligence Extended-Multispectral Imaging Scanner for In-situ Artwork Analysis) al quale il LNF ha dato importanti contributi. ARTEMISIA integra diverse tecniche di spettroscopia per indagini in situ, non invasive e non distruttive, che costituiscono uno strumento diagnostico integrato per supportare restauratori e storici dell'arte.

Nel luglio 2024 sono stati pubblicati i primi risultati scientifici delle misure effettuate al laboratorio COLD dal Haloscope QUAX, un'antenna criogenica progettata per rilevare segnali di assioni cosmici. Dai dati raccolti nel 2023, si è stimato il valore della costante di accoppiamento per ciascun valore della massa dell'assione nel range  $36.5241 - 36.5510 \mu\text{eV}$ , tradotto poi in limite di esclusione. Contemporaneamente, è iniziato il lavoro di ripristino del magnete del rivelatore FINUDA, che sarà utilizzato per costruire il rivelatore criogenico di assioni FLASH. Nel dicembre 2023, il solenoide SC di FINUDA è stato raffreddato ed energizzato fino al campo nominale.

I LNF hanno dato contributi fondamentali anche alla realizzazione delle camere New Small Wheels per il sistema muonico dell'esperimento ATLAS del CERN, e alla costruzione del rivelatore Ring Imaging Cherenkov per lo spettrometro CLAS12 al Jefferson Laboratory di Newport News, USA.

Il LNF è attivo anche in attività di Trasferimento Tecnologico. L'obiettivo è massimizzare l'impatto delle tecnologie sviluppate in ambito INFN sulla società e sull'industria, facilitando il flusso di conoscenze e l'applicazione delle nuove tecnologie dalla fisica fondamentale alla società.

Il gruppo di ricerca SCF\_Lab ha collaborato con l'Agenzia Spaziale Norvegese (NOSA) alla realizzazione di un microsatellite: il NorSat Technology Demonstrator (TD) lanciato in orbita il 15 aprile 2023. Il contratto principale è stato stipulato con lo Space Flight Laboratory (SFL) dell'UTIAS (University of Toronto, Institute for Aerospace Studies)

canadese. Il gruppo di SCF\_Lab ha disegnato e realizzato un riflettore laser miniaturizzato per tracciare il satellite da terra.

I ricercatori del LEMRAP (Laboratorio di Fisica Ambientale e Medica delle Radiazioni) hanno brevettato un UCD (Unbalanced Core Dosimeter) da utilizzare nella Radioterapia Flash. Questa apparecchiatura ha performance simili ai suoi diretti competitori, i dosimetri a diamante, ma è un ordine di grandezza circa più economica. Inoltre, il gruppo ha sviluppato ulteriormente un EPD (Electronic Personal Dosimeter) per neutroni. Questo EPD, a differenza dei concorrenti commerciali, è l'unico in grado di soddisfare i rigorosi criteri della norma IEC 61526.

Sfruttando le competenze dello SPARC\_LAB è stato fondato uno spin-off industriale denominato BeamX. BeamX progetta e realizza acceleratori lineari di elettroni a radiofrequenza per applicazioni industriali, mediche e di ricerca.

Le attività di Divulgazione Scientifica, che rappresentano un impegno importante della missione dei LNF, sono portate avanti dal Servizio di Educazione e Divulgazione Scientifica della Divisione Ricerca, sia in presenza che online tramite il canale YouTube dei LNF. La vasta gamma di attività proposte ha lo scopo di sensibilizzare, stimolare la curiosità e la passione per la scienza e le sue applicazioni, con particolare attenzione ai giovani.

Le principali attività realizzate durante l'anno 2023 includono:

- Attività in presenza per studenti dalle scuole primarie all'università (totale partecipanti 5.088);
- Attività online per studenti delle scuole (totale partecipanti 1.100);
- Attività online per il pubblico generale;
- Attività in presenza per insegnanti delle scuole medie e superiori (totale partecipanti 247);
- Visite guidate per il pubblico al Bruno Touschek Visitor Centre (totale partecipanti 200);
- Visita alle infrastrutture del laboratorio (OpenLabs) (totale partecipanti 2.200);
- European Researcher's Night progetto NET (totale di partecipanti 15.000);
- Eventi organizzati al di fuori delle strutture del laboratorio (Pint of Science, Lucca Comics, ecc.) (numero totale partecipanti 4.000).

Nel corso del 2023, i LNF con le proprie attività hanno raggiunto più di 27.500 persone.

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

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso 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 l'autostrada A24) e l'imponente schermatura di oltre 1400 m di roccia, oltre alla bassa radioattività intrinseca del sito, lo rendono un'infrastruttura di ricerca di riferimento a livello mondiale per la fisica "underground". Alle attività di ricerca dei LNGS partecipano centinaia di ricercatori provenienti dalle più importanti università e istituzioni di ricerca europee e internazionali: durante il 2024 oltre 1400 scienziati hanno preso parte agli esperimenti dei LNGS con oltre il 60% di questi provenienti da enti stranieri.

I laboratori esterni, ubicati in prossimità dell'ingresso del traforo autostradale del lato aquilano, comprendono: 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, le officine ed i laboratori per gli esperimenti. Queste strutture garantiscono il supporto tecnico e ingegneristico alla progettazione e realizzazione 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. Sono inoltre presenti avanzate infrastrutture tecnologiche:

- NOA (Nuova Officina Assergi) è una camera pulita di oltre 400 m<sup>2</sup> di superficie configurata per funzionare in assenza di radon nell'aria, attrezzata con strumentazione per manipolare, testare e realizzare componenti ottici al silicio e i relativi circuiti elettronici, oltre al packaging di fotorivelatori integrati basati su SiPM.
- L'officina 3D realizza componenti meccaniche con tecniche additive sviluppando materiali avanzati. "Atomizzando" materiali specifici si realizzano componenti meccanici avanzati per gli esperimenti e per applicazioni industriali.
- Il CED supporta l'acquisizione dati di tutti gli esperimenti, garantisce un sistema di storage sicuro e affidabile, distribuisce i dati raccolti in tutto il mondo. Dal 2023 è inoltre disponibile un'avanzata struttura di calcolo HPC utilizzata anche nello studio di eventi naturali in collaborazione con università e centri di ricerca.
- Il laboratorio di spettrometria di massa vanta strumentazione avanzatissima per analisi elementali e isotopiche. Uno spettrometro ad ablazione laser finanziato dal ministero della ricerca tedesco è attualmente in fase di test.
- Un nuovo laboratorio per trasferire le tecnologie sviluppate nella fisica underground allo spazio è appena stato avviato con un positivo impatto su questi due mondi.

Nell'area sotterranea vari laboratori avanzati sfruttano la schermatura offerta dalla montagna del Gran Sasso. Il laboratorio STELLA permette la misura di tracce infinitesimali di contaminanti radioattivi nei materiali tramite spettroscopia gamma con rivelatori al germanio iperpuro (HPGe). I LNGS sviluppano, in collaborazione con aziende, nuovi HPGe ad altissime prestazioni e sono internazionalmente considerati i laboratori di riferimento per la misura di elementi radioattivi in ultra-tracce.

La nuova Cryoplatfrom diverrà presto una facility dedicata allo sviluppo di rivelatori criogenici di particelle e per misure di quantum technologies. LNGS vantano una lunga tradizione e diversi esperimenti utilizzano queste tecnologie. Due nuovi refrigeratori a diluizione saranno a disposizione degli utenti del laboratorio per test su piccoli moduli, sviluppo di sensori e per testare prototipi criogenici. La facility consentirà alle collaborazioni scientifiche di accedere a strumentazioni avanzate con il supporto del servizio di criogenia del laboratorio.

Le tecnologie sviluppate dai LNGS generano importanti ricadute e in collaborazione con aziende altamente tecnologiche sono in corso attività mirate a trasferire le tecnologie sviluppate negli studi di fisica fondamentale al di fuori dei laboratori di ricerca.

I LNGS si sono caratterizzati fin dalla loro fondazione come attrattore per progetti scientifici internazionali di primissimo piano nelle più importanti ricerche della fisica astro-particellare, dell'astrofisica nucleare nonché negli studi degli effetti biologici delle radiazioni e nel monitoraggio geofisico/geologico. Su quest'ultimo punto una collaborazione con l'INGV ha permesso di realizzare un array sismico sotterraneo tra i più estesi al mondo.

Dalla fine degli anni '80 i LNGS hanno ospitato esperimenti sullo studio dei neutrini emessi dai nuclei stellari, investigando le proprietà e l'evoluzione delle stelle. Esperimenti come Gallex, GNO e Borexino hanno svolto un ruolo cruciale nella comprensione dei meccanismi di funzionamento del sole. Borexino, che ha concluso la presa dati nell'ottobre 2021, è stato in grado di ricostruire il completo ciclo dei processi nucleari del Sole e validare comportamenti specifici del neutrino che conducono alle oscillazioni di sapore. Borexino è stato l'unico esperimento mai realizzato in grado di analizzare tutte le reazioni che mantengono "acceso" il nostro Sole. Nel 2022 si è proceduto allo svuotamento dello scintillatore liquido mentre nel 2023 è stata rimossa l'acqua presente nell'apparato. Durante il 2025 verranno rimosse le infrastrutture che permettevano il funzionamento dell'esperimento e parzialmente saranno riutilizzate per nuovi progetti.

Esperimenti sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini, come CUORE e LEGEND200, e i loro successori nel prossimo futuro, CUPID e LEGEND1000, studiano approfonditamente le proprietà del neutrino per cercare di confermare, o smentire le ipotesi sulla sua natura formulate dal fisico italiano Ettore Majorana. Queste ricerche potrebbero spiegare la prevalenza della materia sull'antimateria nell'universo. I LNGS sono stati riconosciuti quale hub dove questi esperimenti potrebbero essere realizzati nei prossimi 5/7 anni. Si è definito che due (CUPID e LEGEND1000) dei tre esperimenti supportati da Europa e Nord America (Stati Uniti e Canada) verranno realizzati ai LNGS, a riprova della grande considerazione internazionale di cui godono i laboratori.

I LNGS sono il laboratorio leader internazionale nello studio della materia oscura, che ammonta a circa il 95% della massa totale dell'Universo. Esperimenti come XENONnT, CRESST, DAMA e DarkSide sono all'avanguardia in questa sfida che coinvolge moltissimi paesi in tutto il mondo. L'intenso programma di ricerca si arricchirà nei prossimi anni di ulteriori esperimenti quali CYGNO, SABRE e COSINUS giusto per citarne qualcuno.

I LNGS perseguono inoltre un'attività di ricerca nell'ambito dell'astrofisica nucleare. La "Enrico Bellotti Ion Beam Facility" è stata inaugurata nel 2023 e l'attività di ricerca del nuovo acceleratore da 3.5 MV è ormai a pieno regime. Questo nuovo acceleratore permette di studiare reazioni che avvengono all'interno dei nuclei stellari per comprendere l'origine degli elementi e l'evoluzione dell'Universo. In parallelo l'acceleratore da 400 kV continua a produrre risultati per processi a più bassa energia ed è in fase di studio una sua revisione e ammodernamento.

Accanto a queste grandi linee di ricerca il laboratorio si caratterizza sempre più come incubatore di scienza e tecnologia avanzata sviluppando prototipi per progetti futuri. Il progetto FARO2030, finanziato dal PON 2014-2020 con l'obiettivo di consolidare e rafforzare l'eccellenza dei LNGS, è terminato alla fine del 2024. Grazie a questo finanziamento e alle ricadute dirette sul laboratorio verrà realizzato un nuovo progetto per la ricerca di materia oscura: DarkSide-20k. Esperimento che permetterà di raggiungere nuove frontiere nella ricerca della massa oscura dell'universo.

Il centro di calcolo basato su un nuovo sistema HPC è in fase di completamento garantendo il potenziamento delle risorse di calcolo per gli esperimenti e supportando il consorzio HPC4DR (HPC for Disaster Resilience) per condurre simulazioni avanzate nell'ambito dei disastri naturali. La collaborazione dei LNGS con le Università del territorio sta portando ad una ridefinizione del centro di calcolo LNGS che diverrà un hub per il calcolo avanzato nelle regioni del centro Italia.

Il progetto PNRR presentato sulla linea delle Infrastrutture di Ricerca, "LNGS-Future", ha ottenuto una eccellente valutazione risultando al terzo posto tra i progetti proposti. È importante ricordare che LNGS risultano essere una delle poche infrastrutture di ricerca italiane classificate come di "Livello Globale". LNGS-Future punta ad ammodernare molte infrastrutture dei LNGS per renderle idonee ai futuri grandi progetti legati alla ricerca del doppio decadimento beta e della materia oscura. Sempre nell'ambito del PNRR, sulla linea connessa al Centro Nazionale sul calcolo avanzato, i LNGS sono chiamati a strutturare un nodo di calcolo avanzato per il Centro Italia in connessione con il Centro di Calcolo di Bologna.

In ambito locale/regionale sono stati finanziati due importanti progetti: Il progetto "LEGEND-1000: i primi passi - Cryo4Legend" permette il finanziamento dell'infrastruttura dell'esperimento LEGEND-1000 sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini; il progetto "MISTER" finanzierà invece la realizzazione di una nuova officina meccanica in sotterraneo e il potenziamento della "Enrico Bellotti Ion Beam Facility".

Nell'ambito dell'Additive Manufacturing il progetto PON MAD (Metamorfosi Additiva del Design) è attualmente operativo in collaborazione con università e grandi aziende del centro-sud Italia. I LNGS guidano il progetto MAD promuovendo sviluppi nella stampa 3D e l'utilizzo di materiali avanzati.

I LNGS sono inoltre direttamente coinvolti nello sviluppo di sistemi e infrastrutture per il calcolo quantistico grazie alle competenze in ambito criogenico e 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 - USA) e finanziato dal DoE (Department of Energy), studia gli aspetti connessi allo sviluppo dei computer quantistici. A LNGS è stato dimostrato che la presenza dei raggi cosmici e della radioattività ambientale può interferire con la stabilità di un singolo qbit aprendo nuove prospettive all'ottimizzazione dei tempi di latenza nei computer quantistici. Questi studi possono essere effettuati solo all'interno delle sale sotterranee dei LNGS, rendendo questa attività di ricerca e sviluppo particolarmente peculiare nell'ambito dell'evoluzione dei computer quantistici.

I LNGS sono entrati a far parte del "Centro internazionale per la ricerca sulle scienze e tecniche della ricostruzione fisica, economica e sociale – STRIC" finanziato attraverso il fondo post sisma 2016. Il centro avrà sede principale presso l'Università di Camerino e una sede secondaria decentrata proprio ai LNGS. Nell'ambito del centro si prevede il potenziamento delle infrastrutture di misura sismica oltre alla realizzazione di modelli sismici presso il centro di calcolo dei LNGS. Inoltre, la tecnologia dei Ring Laser utilizzata per studi di relatività generale verrà adattata a studi rotazionali della crosta terrestre con sensibilità mai raggiunte fino a oggi. Ciò porterà allo sviluppo di uno specifico monitoraggio ambientale gettando le basi per un nuovo approccio alle misure in ambito geofisico.

Nell'ambito del Trasferimento Tecnologico il progetto OPEN, finanziato dall'Agenzia della Coesione Territoriale, sta completando la prima fase di sviluppo gettando le basi per meglio trasferire le conoscenze acquisite all'interno dell'ente verso le aziende e più in generale verso la società. Il progetto ha base ai LNGS ma coinvolge tutte le strutture dell'INFN con l'obiettivo di migliorare e strutturare le metodologie di trasferimento tecnologico.

Diversi progetti di Trasferimento Tecnologico sono invece stati avviati in ambiti di competenza dei LNGS quali la meccanica additiva, le tecnologie aerospaziali, la chimica analitica avanzata, ecc. Sviluppi nelle applicazioni legate al Cultural Heritage sono stati implementati coinvolgendo attività di respiro sia nazionale che internazionale. Esistono inoltre alcune tecnologie sviluppate per esperimenti underground di specifico interesse nell'ambito spaziale e i LNGS stanno completando specifici laboratori per supportare le attività svolte in collaborazione con le aziende dell'aerospazio.

I LNGS hanno inoltre promosso vari eventi di outreach, in particolare il progetto SHARPER, finanziato dalla Commissione europea nel quadro del bando "HORIZON-MSCA-2022-CITIZEN" nell'ambito della "Notte europea dei ricercatori", ha realizzato un notevole programma di eventi focalizzati sul dialogo tra ricercatori e cittadini. A L'Aquila i LNGS organizzano l'evento con il sostegno di altri enti e istituzioni locali.

I LNGS hanno inoltre preso parte al ICD (International Cosmic Day) durante il quale studenti delle scuole superiori si confrontano con i grandi temi della fisica astroparticellare. Una cinquantina di studenti da diverse scuole d'Abruzzo hanno partecipato ad una campagna di misure e analisi utilizzando un rivelatore di raggi cosmici installato presso LNGS.

Per la promozione e la diffusione della cultura scientifica, i LNGS hanno partecipato e promosso diverse iniziative che hanno riscosso notevole interesse. Una menzione particolare va fatta per il Premio Asimov, dove oltre 10000 studenti provenienti da oltre 300 scuole superiori di tutta Italia hanno commentato e valutato libri di divulgazione scientifica fornendo una valutazione dei contenuti e individuando quale, tra i testi indicati, risultasse il più interessante e completo. Il Premio Asimov si arricchisce ogni anno di nuovi partecipanti divenendo così un potente strumento di collegamento tra la ricerca e la società e diffondendo in tal modo la cultura scientifica

## LNL – Laboratori Nazionali di Legnaro

I Laboratori Nazionali di Legnaro sono dedicati alla ricerca di base in fisica e astrofisica nucleare, assieme allo sviluppo di tecnologie avanzate per applicazioni in fisica nucleare e in altri campi. Tra i punti di forza dei LNL vi è indubbiamente lo sviluppo e l'innovazione nel campo degli acceleratori di particelle, rivelatori innovativi, scienza dei materiali, fisica ambientale e beni culturali. Ai LNL operano cinque macchine acceleratrici utilizzate con continuità dalla comunità scientifica nazionale e internazionale per studi di fisica nucleare e per ricerche interdisciplinari.

La strategia per l'immediato futuro del laboratorio è focalizzata sul progetto SPES, una infrastruttura in fase di completamento i cui obiettivi sono sia gli esperimenti di fisica nucleare dedicati allo studio della struttura di nuclei esotici (come quelli che si formano nelle ultime fasi di evoluzione delle stelle) utilizzando fasci di ioni instabili prodotti con la tecnica ISOL (Isotope Separation On-Line), sia attività di ricerca e sviluppo nel campo dei radioisotopi di interesse medico e la produzione degli stessi per soddisfare il fabbisogno ospedaliero.

Il cuore di questo progetto è il ciclotrone B70 ad alta intensità, installato e collaudato presso la nuova infrastruttura di ricerca, ad oggi in fase di completamento. Questo acceleratore fornirà fasci di protoni di energia compresa tra 35 e 70 MeV con una corrente massima di 750  $\mu\text{A}$  ed avrà la possibilità di lavorare con due punti di estrazione del fascio garantendo attività simultanee su entrambe le linee di uscita. Questa peculiarità consentirà sviluppi paralleli di fisica nucleare di base e attività di medicina nucleare.

Per giungere in modo più efficace al completamento dell'infrastruttura SPES ed ottimizzare le risorse umane ed economiche disponibili, nel corso del 2024 si è adottato un nuovo approccio suddiviso in 5 fasi:

- Fase 1: Manutenzione del ciclotrone, installazione della linea di fascio BL2 e ripartenza delle operazioni con fascio.
- Fase 2: Completamento della facility ISOL, e della sala sperimentale a bassa energia (40 keV).
- Fase 3: Completamento della facility ADIGE composta dal charge breeder e dell'iniettore RFQ.
- Fase 4: Allestimento della facility e dei bunker dedicati alla produzione di radioisotopi di interesse medico.
- Fase 5: Selezione, trasporto e post-accelerazione del fascio radioattivo tramite l'acceleratore ALPI.

Nel corso del 2024 la **Fase 1 è stata completata**. Dopo un periodo di upgrade e refurbishing di vari componenti del ciclotrone che include la sostituzione della sorgente ionica, la riparazione degli amplificatori RF e l'installazione della linea di fascio "BL2", i primi fasci di protoni sono stati prodotti ed utilizzati per un nuovo collaudo della macchina. Fasci di 35, 50 e 70 MeV di energia sono stati utilizzati per effettuare misure di sezione d'urto standard, dimostrando il corretto funzionamento della macchina e della stazione di irraggiamento sviluppata ai LNL per future misure di sezione d'urto. Tra i bersagli utilizzati in questo test vi è anche il  $^{nat}\text{Zn}$  la cui attivazione ha permesso l'osservazione del decadimento gamma del radionuclide teranostico  $^{67}\text{Cu}$ .

Sempre nel corso del 2024 si è provveduto, per la **Fase 2**, a terminare l'installazione e messa in opera all'interno del bunker ISOL del sistema Bersaglio-Sorgente (Target Ion Source Complex) per la produzione e la ionizzazione di fasci di ioni radioattivi per la fisica fondamentale e completare l'installazione della linea a bassa energia verso la tape station. Al termine del secondo semestre 2024 si è testata tutta l'infrastruttura producendo un primo fascio radioattivo di  $^{28}\text{P}$  che è stato estratto a 30 keV di energia e trasportato con successo all'esterno del bunker di produzione.

Per terminare la Fase 2 si prevede all'inizio del 2025:

- Collaudare la linea di fascio per il trasporto di fasci radioattivi di bassa energia.

- Trasporto di fasci radioattivi di bassa energia prodotti con la facility SPES, caratterizzazione su tape station e il rilascio all'utenza per la prima sperimentazione.

A seguire sono previste le seguenti attività inerenti alle ulteriori fasi del progetto SPES

**Fase 3:**

- il commissioning del charge breeder di ADIGE;
- il completamento dell'installazione e commissioning dell'iniettore RFQ verso ALPI;
- accelerazione e trasporto di un fascio stabile, prodotto da ADIGE, attraverso ALPI.

**Fase 4:**

Focalizzata alla produzione di radionuclidi di interesse medico, noti o innovativi, prevede la realizzazione di bunker dedicati e:

- l'installazione di una facility di irraggiamento;
- ricerca e sviluppo, attraverso misure di sezioni d'urto di radionuclidi innovativi;
- il potenziamento dell'infrastruttura di ricerca dedicata alla produzione di radioisotopi ad uso farmaceutico. I LNL hanno ottenuto partecipando nel 2023 un finanziamento dedicato da un bando Regione Veneto per il potenziamento delle infrastrutture di ricerca regionali.

**Fase 5:**

- installazione e commissioning della linea di fascio che collega la facility SPES a ADIGE;
- riaccelerazione e trasporto tramite ALPI dei primi fasci esotici prodotti da SPES e inizio della sperimentazione con gli apparati di rivelazione presenti ai LNL;
- sviluppo ed installazione del separatore di massa ad alta risoluzione (HRMS) per fornire all'utenza fasci con elevata purezza.

Stando alla situazione attuale si valuta che le rimanenti fasi (3-5) saranno portate a compimento tra la fine del 2027 e il primo semestre del 2028.

Oltre al completamento dell'infrastruttura dedicata a SPES e l'avvio delle attività con il ciclotrone B70, tra gli obiettivi degli LNL nel prossimo triennio vi sono:

- fornire all'utenza fasci stabili per esperimenti di fisica nucleare;
- sviluppo e il rilascio all'utenza di un fascio di  $^{238}\text{U}$  per esperimenti di fisica nucleare;
- la continuazione delle campagne di misura con fasci stabili con gli apparati sperimentali installati stabilmente ai LNL o itineranti, in particolare lo spettrometro a tracciamento per raggi gamma AGATA (accoppiato ad altri rivelatori complementari), lo spettrometro magnetico a grande accettazione PRISMA (sia come strumento standalone che accoppiato ad AGATA), gli apparati di rivelazione GARFIELD e PISOLO, e la facility EXOTIC per la produzione in-flight di fasci esotici leggeri;
- il completamento del DATA Center a supporto delle attività di presa e analisi dati di AGATA, dei sistemi di acquisizione dati dei nuovi apparati previsti nella sperimentazione con SPES, dei sistemi di controllo di SPES e, nell'ambito dei progetti di PNRR, l'upgrade del TIER-2;
- la conclusione del collaudo con fascio del DTL di ESS;

- la consegna al Policlinico Vanvitelli dell'acceleratore per terapia BNCT nell'ambito del Progetto PNRR ANTHEM;
- 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 - 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;
- la realizzazione della nuova piattaforma per tecnologie di accelerazione avanzate;
- l'accoppiamento del rivelatore per neutroni NEDA e altri rivelatori complementari ad AGATA;
- l'accoppiamento ad AGATA della facility EXOTIC che permetterà di utilizzare fasci di ioni leggeri radioattivi per studi di struttura nucleare.

Nel corso dei prossimi anni sono inoltre previsti, per quanto riguarda il potenziamento delle infrastrutture tecniche:

- il completamento della progettazione e il rifacimento delle infrastrutture elettriche e idrauliche della prima e della seconda sala sperimentale e del complesso di acceleratori Tandem-ALPI-PIAVE;
- lo studio per l'efficientamento energetico del laboratorio per affrontare problemi di sostenibilità;
- il progetto esecutivo dei sistemi antincendio (IRAI) di tutti gli immobili e l'avvio delle prime fasi di realizzazione dei nuovi impianti;
- il completamento degli impianti tecnologici del nuovo CED LNL e a seguire il cablaggio e l'installazione di tutte le apparecchiature elettroniche;
- gli interventi di monitoraggio e i lavori di messa in sicurezza dei Materiali Contendenti Amianto censiti in dettaglio nel 2024;
- la manutenzione straordinaria dell'impianto della Sottostazione GIS in alta tensione 132/20 kV in cui è prevista la verifica completa di tutte le guarnizioni di tenuta delle linee isolate in SF<sub>6</sub>, la revisione del trasformatore e la sostituzione del sistema SCADA di supervisione e monitoraggio dell'impianto;
- la verifica, l'aggiornamento e l'eventuale adeguamento normativo di tutta la rete di distribuzione di bassa tensione, la verifica delle cabine di Media Tensione e del sistema di protezione dalle scariche atmosferiche di tutti gli immobili;
- l'analisi e lo studio di fattibilità tecnico-economica della rete di Media Tensione in relazione allo stato attuale e alle necessità presenti e future dei Laboratori, ponendo attenzione ad alcune aspetti tecnici atti a migliorarne l'efficienza e la funzionalità e integrando la possibilità di realizzare un parco fotovoltaico della potenza di oltre 1 MWp;
- la riqualificazione energetica degli impianti di raffreddamento e trattamento aria sostituendo macchine a basso rendimento con macchine dimensionate per le attuali e future necessità e molto più efficienti dal punto di vista prestazionale e dei consumi.

I principali obiettivi prefissati per i prossimi anni (sia in termini di upgrade che di installazione di nuove strutture) riguardano il potenziamento delle infrastrutture acceleranti. Gli acceleratori operanti ai LNL rappresentano, infatti, le infrastrutture di ricerca intorno alle quali si svolgono la maggior parte delle attività sperimentali e alla fine del 2024, grazie al loro corretto funzionamento, il numero delle ore fascio fornite all'utenza raggiungerà valori notevoli.

Oltre all'affidabilità del complesso TAP si è ottenuto anche un miglioramento della performance in termini di energia massima raggiunta e massa di elementi accelerati. In particolare, l'accelerazione di fasci di <sup>208</sup>Pb ad energia superiore a 1.3 GeV è stato sicuramente uno dei risultati migliori dal punto di vista delle macchine acceleratrici. La sperimentazione con AGATA, in presa dati ai LNL dalla primavera del 2022, è quella che più ha beneficiato di questa condizione. Nel 2024 all'affidabilità e alla performance si è aggiunto l'incremento di trasmissione del LINAC ALPI che

ha raggiunto il 79% a fronte di una trasmissione nominale del 84% e a fronte di una trasmissione massima degli anni passati mai superiore al 36%.

Le attività sperimentali presso le piccole macchine (acceleratori CN e AN2000) Van de Graaff sono state focalizzate principalmente su: microanalisi elementali, usando tecniche nucleari di campioni archeologici e pigmenti; caratterizzazione di bersagli, test e caratterizzazione di rivelatori, quali scintillatori organici flessibili e sensibili ai neutroni termici, e microdosimetri per la Boron Neutron Capture Therapy (BNCT); studi sul danneggiamento da radiazioni di materiali e strumentazione; misure di astrofisica nucleare e di fisica dei neutroni; ricerca sperimentale del bosone X17.

I LNL, in collaborazione con l'Università di Padova, hanno sviluppato inoltre una nuova tecnologia per creare rivelatori al germanio iperpuro (HPGe) più stabili e resistenti alle radiazioni, consentendone l'utilizzo in ambienti estremi e aprendo la strada a nuove applicazioni in campo medico e nucleare. Questa innovazione permetterà inoltre di recuperare e riutilizzare rivelatori danneggiati e di sviluppare nuovi rivelatori più performanti per esperimenti futuri.

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 (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. 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 realizzato il DTL (Drift Tube Linac).

I primi quattro tank sono stati installati, condizionati e collaudati con fascio raggiungendo le performance nominali. Il quinto tank è stato installato e condizionato. Il collaudo con fascio è previsto per i primi mesi del 2025.

Nell'ambito del PNRR i Laboratori sono coinvolti in alcuni dei progetti INFN tra i quali:

- nell'ambito del Piano di Investimenti Complementari del PNRR, il progetto ANTHEM (Advanced Technologies for Human-centred Medicine) per la competenza nell'ambito dello sviluppo di acceleratori;
- all'interno del nuovo Centro Nazionale di HPC, Big Data e Quantum Computing (ICSC), il miglioramento del centro TIER2;
- nell'ambito dei partenariati estesi, il progetto NQSTI che si dedica alla ricerca e sviluppo, delle tecnologie quantistiche per applicazioni innovative.

Per quanto riguarda la Terza Missione i LNL hanno ormai una collaudata proposta di divulgazione scientifica che include un programma di stage per studenti delle scuole superiori Italiane, visite guidate e partecipazione al programma INFN Docenti, INFN Kids e partecipano a molti eventi tra cui "Notte Europea della Ricerca" e "Science4all" con stand dedicati.

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

Le attività di ricerca dei Laboratori Nazionali del Sud (LNS) sono principalmente orientate alla Fisica Nucleare, all'Astrofisica Nucleare e delle Particelle, alle Applicazioni della Fisica Nucleare in Medicina, alla Ricerca Ambientale

ed Energetica, al Patrimonio Culturale e allo sviluppo di sistemi di accelerazione e sorgenti di ioni. Il presente documento è una versione aggiornata rispetto a quanto pubblicato nell'ultimo rapporto triennale e, pertanto, non contiene la descrizione generale di LNS.

L'organigramma di LNS è disponibile all'indirizzo <https://www.lns.infn.it/en/about-us/organization-chart.html>. Il numero totale di membri del personale a novembre 2024 è di 139 (ricercatori, tecnologi, tecnici, amministrativi), oltre a 26 contratti a termine (quasi totalmente finanziati dal PNRR). Il numero complessivo di unità di personale associato (non personale INFN) è di 147.

Grazie ai fondi aggiuntivi del PNRR, sono aumentati tecnici e tecnologi, seppure ciò non consenta di sostenere il ricambio generazionale, che necessita di un turnover basato su posizioni permanenti con adeguata formazione specifica. Il budget nel 2024 ammonta a circa 6,5 MEuro per i costi operativi e 2,5 MEuro dalle CSN per la Ricerca, usufruendo di circa 60 MEuro di fondi esterni, principalmente legati ai progetti PNRR 2022-2025.

Il progetto di potenziamento in atto ai LNS rappresenta una grande opportunità di crescita scientifica dei Laboratori nel panorama internazionale. Il potenziamento dei LNS include la ristrutturazione/potenziamento del Ciclotrone Superconduttore (CS), l'installazione del nuovo separatore di frammenti FRAISE per la produzione di fasci di particelle radioattive in volo e l'aggiornamento dell'apparato sperimentale MAGNEX per l'esperimento NUMEN.

L'obiettivo del progetto è quello di accelerare e fornire fasci di ioni ad alta intensità con una potenza di fascio di diversi kW e un'intensità fino a 10<sup>14</sup> pps. Il nuovo separatore di frammenti FRAISE sarà in grado di gestire fasci primari intensi che produrranno fasci radioattivi intensi e di alta qualità. Lo spettrometro MAGNEX sarà in grado di operare con fasci stabili intensi, necessari per l'indagine di processi rari legati al doppio decadimento beta senza neutrini.

Il potenziamento dei LNS è stato finanziato come progetto POTLNS dal Ministero Italiano della Ricerca nell'ambito del PON Ricerca e Innovazione 2014-2020. Ha subito ritardi dovuti all'emergenza COVID e alle difficoltà riscontrate dalle aziende fornitrici, ma ormai le attrezzature e i lavori civili finanziati dal PON sono stati quasi del tutto completati e testati.

La parte più complessa del progetto ha riguardato l'acquisizione del nuovo magnete superconduttore (criostato comprensivo di bobine superconduttrici), destinato a sostituire il vecchio magnete incompatibile con l'estrazione mediante stripping. La consegna del nuovo magnete superconduttore è attualmente prevista per aprile 2025. Sono state effettuate misure magnetiche preliminari per verificare la qualità del campo ed apportare correzioni meccaniche. Sulla base della stima di consegna sopra menzionata, è disponibile una nuova pianificazione per l'estrazione del primo fascio ad aprile 2026 con il deflettore, e alcuni mesi dopo con l'estrazione tramite stripping saranno disponibili fasci di alta intensità.

In attesa della consegna del nuovo magnete del CS, il Tandem verrà messo in funzione per riprendere l'attività sperimentale con i fasci del Tandem. La data di completamento dei lavori è prevista per aprile 2025, ma la disponibilità per gli utenti è subordinata al completamento dell'iter autorizzativo già avviato, relativo alla radioprotezione ed all'attuazione della strategia antincendio. Per rendere i nuovi fasci accessibili a tutti gli utenti si sta sviluppando una linea di fascio con camera di scattering "multipurpose" nell'area attorno alla vecchia linea CICLOPE e la camera 0° per la fruizione di fasci sia stabili che radioattivi con intensità di oltre un ordine di grandezza superiore a quella precedente. I LNS stanno sviluppando diversi progetti di ricerca con implicazioni per la fisica nucleare fondamentale e le sue applicazioni. Le attività tecniche e scientifiche di KM3NeT uniscono diverse discipline scientifiche e promuovono la collaborazione tra esperti di astrofisica, fisica delle particelle, oceanografia, sismografia e altre scienze, consentendo una più ampia comprensione del nostro universo, insieme alla realizzazione di una strumentazione altamente innovativa per una migliore comprensione del mondo marino.

La disponibilità dei nuovi fasci aprirà la strada a significativi progressi scientifici a livello internazionale. Il progetto NUMEN è un'iniziativa ambiziosa volta a determinare gli elementi di matrice nucleare (NME) del doppio decadimento beta. Attraverso l'aumento dell'intensità del fascio di oltre un ordine di grandezza e l'aggiornamento dello spettrometro magnetico MAGNEX, i LNS saranno in grado di determinare gli NME mediante reazioni di doppio scambio di carica. Questo processo includerà anche lo studio degli NME relativi al  $^{76}\text{Ge}$ .

Per l'attività legata all'implementazione di MAGNEX, l'attenzione è rivolta a diversi aspetti, quali i test eseguiti con successo sui prototipi del tracciante a gas, sui telescopi SiC-CsI(Tl), sul rivelatore G-NUMEN, la produzione e il test sotto fascio intenso di bersagli isotopici depositati su substrati di grafite pirolitica altamente ordinata (HOPG).

Sono previste altre attività con i nuovi fasci, studi sull'Equazione di Stato (EoS) della materia nucleare e su fenomeni di clustering esotici, condotti dalla collaborazione CHIMERA (esperimento CHIRONE) e dal gruppo teorico dei LNS. È stato condotto uno studio importante per sviluppare sensori di diagnostica/etichettatura per i fasci di ioni radioattivi prodotti da FRAISE e per nuovi sistemi di rivelazione/caratterizzazione da utilizzare con le nuove intensità dei fasci.

L'aumento dell'intensità del fascio consentirà di accedere a nuove osservabili esclusive per la determinazione dell'EoS della materia nucleare ricca di neutroni. Queste ricerche contribuiranno a una migliore comprensione delle proprietà della materia nucleare in condizioni estreme e quindi dei nuclei esotici e delle loro caratteristiche di clustering vicino alla drip-line. Inoltre, il gruppo teorico LNS ha in programma ricerche sulla fisica delle stelle di neutroni, e in particolare sull'influenza della EoS, di cui sopra, sull'emissione delle onde gravitazionali, in vista dell'impegno sul progetto Einstein Telescope.

Il gruppo Asfin, leader nell'applicazione di metodi indiretti per l'astrofisica nucleare, trarrà vantaggio anche dalle maggiori intensità dei fasci esotici per lo studio delle reazioni nucleari di interesse per la comprensione di fenomeni estremi. L'attività sperimentale prevista presso i LNS sarà complementare a quella della struttura SPES-LNL. È in programma una campagna di misure coi fasci Tandem e, con fasci di specie radioattive a lunga vita prodotti in modalità batch, come il  $^{10}\text{Be}$ , il  $^{26}\text{Al}$  e il  $^{44}\text{Ti}$ , anche in collaborazione con altre istituzioni che forniranno gli isotopi. La tecnica è già stata testata con successo con il  $^{10}\text{Be}$ , raggiungendo un'intensità di 1010 pps, la più alta disponibile al mondo. Le reazioni che utilizzano questi fasci sono fondamentali per l'astrofisica multi-messaggero. Inoltre, in seguito a un recente risultato pubblicato su Nature Communications Physics riguardante la misurazione della lunghezza di scattering p-p "Coulomb-free" dalla sezione d'urto di scattering p-p off-shell, il gruppo Asfin ha in programma di condurre misure di scattering alfa-alfa e n-n, ampliando così il campo delle loro ricerche e contribuendo significativamente all'avanzamento della conoscenza in questo settore.

I LNS sono dotati di una linea di fascio multidisciplinare per cui le nuove intensità e i nuovi fasci RIB apriranno nuove prospettive per l'irradiazione di campioni in condizioni estreme, per misure ad alta dose-rate e per la simulazione di fasci accelerati da laser o fasci convenzionali pulsati ad alta potenza.

Il rivelatore KM3NeT-ARCA e le relative infrastrutture subacquee hanno fatto importanti progressi nel 2022-24. Grazie al finanziamento del progetto IDMAR, il nuovo sistema DCFO, composto da un cavo sottomarino lungo 100 km, attrezzature di alimentazione elettrica e una struttura di terminazione del cavo, fornisce energia elettrica e connessione in fibra ottica per consentire l'estensione del rivelatore ARCA alla dimensione finale che è programmata per oltre 200 unità di rilevamento (DU). Un sistema di software di allerta è in funzione per la rivelazione dei neutrini, insieme al nuovo modulo di ricostruzione degli "shower" e un trigger per la rivelazione dell'esplosione di una supernova.

Nel 2024 è stato rivelato un evento di neutrini di energia elevatissima (diverse decine di PeV) la cui origine è oggetto di intenso studio e quindi nel 2025-27 sarà possibile sviluppare la prima fase di ricerca attiva su astronomia dei neutrini.

Il progetto KM3NeT4RR-PNRR in completamento entro il 2025 prevede la costruzione e installazione di altre 50 DU e 5 "junction-boxes", da collegare all'IDMAR-DCFO.

Il rivelatore KM3NeT-ORCA è attualmente composto da 21 DU operativi e i primi risultati sull'accuratezza del puntamento del rivelatore e sulle oscillazioni dei neutrini sono stati pubblicati, confermando le specifiche di progetto.

Il progetto PANDORA mira a studiare il decadimento beta dei radioisotopi di interesse astrofisico in un ambiente di plasma per riprodurre, almeno in termini di temperatura, le condizioni sperimentali di decadimento in un ambiente stellare. La trappola magnetica è stata finanziata interamente da CSN3 e le procedure di gara sono state concluse a maggio 2024, in corso le procedure di contratto. Il sistema multidiagnostico è ora completo, grazie anche alla proficua sinergia con il SAMOTHRACE Innovation Ecosystem (PNRR).

È in discussione con GANIL e CNRS la possibilità di integrare nel sistema una nuova diagnostica per una caratterizzazione assoluta di densità e temperatura elettronica. Sono state effettuate presso LNL stime dettagliate delle quantità di isotopi iniettati nella trappola. Nell'ambito di EUROLABs è stata avviata una collaborazione con l'IPHC di Strasburgo per operare la riduzione dell'ossido di lutezio e verificare la fattibilità della produzione dell'ossido di  $^{94}\text{Nb}$ .

La collaborazione prevede di avviare l'installazione del setup sperimentale entro la fine del 2025, effettuare il commissioning e procedere con le misure di decadimento del  $^{134}\text{Cs}$  in prima priorità entro il 2026, ed a seguire  $^{176}\text{Lu}$  e  $^{94}\text{Nb}$ . Recentemente è stato sottomesso un proposal al PAC del GSI per una misura complementare in Storage Ring (ESR) del decadimento del  $^{134}\text{Cs}$  in configurazione "fully-stripped", consentendo di misurare separatamente il decadimento da singolo stato di carica rispetto a quello in-plasma.

Il laboratorio LANDIS (Laboratorio di Analisi Non Distruttive in Situ) è stato dotato di uno scanner per imaging XRF basato su un nuovo sistema di rilevamento multiplo (6SDD hodoscope) applicato allo scanner LANDIS-X per il patrimonio culturale e l'archeologia. Le due principali caratteristiche sono la caratterizzazione in tempo reale e una risoluzione molto elevata.

Il laboratorio LARA (Laboratorio di Radioattività Ambientale) è attualmente impegnato nello studio della spettrometria gamma su lave recenti e storiche emesse dal vulcano Etna. Questi studi sono anche funzionali alla modellizzazione del sistema di condotte magmatiche.

Ai LNS si sta avviando la realizzazione di una nuova facility per produzione di radiazione basata su un laser a impulsi ultra-corti che sarà il più potente (fino a 500 TW) mai installato in Italia. La facility, denominata I-LUCE (Laser inducEd aCcEleration), è stata finanziata da tre progetti PNRR: EuAPS, SAMOTHRACE e ANTHEM. I-LUCE, permetterà l'accelerazione di fasci di elettroni (fino a 3 GeV), protoni e ioni (fino a 60 AMeV), la produzione di radiazioni gamma, X e neutroni e lo studio di fenomeni fondamentali basati sul plasma. I-LUCE disporrà di due uscite laser: 45 TW/10 Hz e 500 TW/3 Hz) e due linee di fascio laser trasportate in camere di interazione diverse: una dedicata alla produzione di radiazioni e l'altra alla produzione di plasmi per fisica nucleare e della "warm dense matter" e alla interazione dello stesso plasma con fasci accelerati dal TANDEM e CS per studi di interazioni ioni-plasma, opportunità unica al mondo per questi regimi ed in regimi diversi oggi disponibile solo al GSI.

Nel 2023-24 sono state svolte le seguenti attività tecnologiche presso i LNS: NDA INFN\_LNS-KAIST, NDA INFN\_LNS-SourceLab, NDA INFN\_LNS-ELSE Nuclear e l'accordo di Ricerca Collaborativa (TTB\_24LNS\_007) tra LNS - INFN e UMAS Technology.

I LNS hanno organizzato un ampio numero di progetti sostenuti dalla CC3M e sono stati coinvolti nei progetti nazionali LAB2GO, Art&Science e HOP, ospitando anche progetti organizzati nell'ambito del programma PCTO per le scuole secondarie superiori. Da segnalare l'impegno con visite guidate al Visitor Centre che è entrato nella fase di piena attività e dal 2023 accoglie anche studenti delle scuole primarie con uno spazio INFN-Kids che ha visto più di 1000 visitatori. Prosegue l'evento annuale denominato "La primavera della scienza" che nel 2024 ha coinvolto oltre 2000 studenti e insegnanti delle scuole secondarie. Queste attività proseguiranno nel triennio 2025-27.

## **6.2 I Centri Nazionali**

### **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.

La principale infrastruttura gestita dal CNAF è il Tier1, il maggiore data center dell'INFN, che fornisce risorse e servizi di calcolo e storage ad oltre 60 collaborazioni scientifiche alle quali partecipa l'INFN. Il Tier1 al CNAF è uno dei 10 centri a livello mondiale del WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) per la gestione e l'analisi dei dati degli esperimenti a LHC. Attualmente il Tier1 mette a disposizione circa 86000 core organizzati in una farm di calcolo, una capacità di memorizzazione veloce (online su disco) di 60 PByte e un sistema di archiviazione a lungo termine (su nastro) di circa 150 PByte; è interconnesso agli altri data center INFN e a quelli WLCG con un link a 200 Gbps e con il CERN con un link ottico a 400 Gbps. Inoltre, è collegato con il CINECA (dove è installata parte della farm) con un link a 800 Gbps. La percentuale di risorse dedicate agli esperimenti a LHC assomma a circa il 70% del totale; la restante parte viene usata da altri esperimenti di fisica agli acceleratori (sia di alta energia che nucleari) e da collaborazioni di astro-particelle, tra le quali AMS, CTA, DARKSIDE, KM3NeT, EUCLID, esperimenti sui neutrini (es. JUNO, DUNE) ed esperimenti sulle onde gravitazionali come Virgo. Integrato completamente con il Tier1 è presente anche l'unico Tier2 italiano per l'esperimento LHCb.

A maggio 2024 è stato inaugurato il nuovo data center al Tecnopolo nella hall B5, contiguo alla hall C2 dove è operativo Leonardo, la macchina pre-exascale del CINECA. Leonardo viene utilizzato da luglio 2024 come estensione della farm di calcolo del Tier1.

Lo spostamento delle risorse (hardware, dati, servizi) dal CNAF, iniziato ad aprile 2024, terminerà entro gennaio 2025. Lo spostamento delle risorse è avvenuto sostanzialmente senza interruzione di servizio grazie ad un link ad alta velocità (1.2 Tbps) fra i due data center.

Il nuovo data center ha una superficie utile superiore a 2000 mq e può ospitare, allo stato attuale, risorse di calcolo per una potenza massima di 3 MW; il progetto prevede un adeguamento degli impianti che permetterà di salire, dal 2027, fino a 10 MW. Per confronto, il vecchio data center aveva una superficie di 800 mq e la potenza massima installabile era di 1.4 MW (il consumo effettivo è di ~900 kW).

Le stime di crescita delle risorse installate al Tier1 per gli esperimenti di fisica prevedono un aumento costante di 15-20% all'anno. Tale quantità è principalmente determinata dalle necessità degli esperimenti a LHC anche se si prevede che altre collaborazioni avranno necessità di grandi quantità di calcolo e spazio per la memorizzazione dei dati. Inoltre, al di fuori della nostra comunità scientifica di immediato riferimento, stiamo offrendo risorse a varie altre

collaborazioni. Infatti, al data center al Tecnopolo sono installate risorse per le comunità afferenti ai progetti PNRR (ICSC, Terabit, Ecosister, DARE) ed altre collaborazioni in corso. I più rilevanti sono i progetti biomedicali.

Nel corso degli ultimi anni il CNAF ha sviluppato, un'infrastruttura cloud "general purpose" (Cloud@CNAF) federata nella cloud nazionale INFN Datacloud ed un cloud certificato (EPIC). Datacloud è complementare al Tier1 (ed ai Tier2) offrendo servizi on demand ai ricercatori e coprendo così esigenze quali l'accesso interattivo e più in generale permettendo l'accesso a risorse di calcolo a collaborazioni che non abbiano (ancora) risorse finanziate.

Il CNAF partecipa al progetto europeo Spectrum che ha come obiettivo l'integrazione delle risorse di calcolo tra discipline in tutta Europa ed 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. All'interno dell'EOSC sono presenti, fin dal 2015, progetti di esplorazione e prototipazione, ai quali il CNAF partecipa (ad es. AI4EOSC e Skills4EOSC).

Oltre al cloud general purpose, al CNAF è attiva EPIC, un'istanza cloud certificata ISO 27001, 27017 e 27018 per la gestione di dati sensibili. Tramite EPIC, il CNAF partecipa a collaborazioni con istituzioni che operano nel settore biomedico, genomico e oncologico in particolare, come ACC (Alleanza Contro il Cancro), il progetto nazionale "Health Big Data", collaborazioni con singoli IRCCS come l'Azienda Ospedaliera Sant'Orsola, e di ospitare quindi nei propri sistemi di memorizzazione i loro database, garantendone la privacy e la protezione. Sono utenti di EPIC anche le comunità che partecipano ai progetti DARE, Health Big Data ed allo spoke 8 di ICSC.

Il CNAF gestisce l'infrastruttura di "business continuity" (distribuita tra CNAF e LNL) sulla quale sono istanziati i servizi informatici di carattere amministrativo e organizzativo dell'Istituto, gestiti rispettivamente dalla Direzione Sistemi informativi (una parte del personale è in organico al CNAF) e dai Servizi Nazionali (in organico al CNAF).

In generale, il finanziamento del CNAF deriva in parte dal FOE ed in parte dai progetti sia europei che nazionali. Nel 2024, come nel 2023, si è aggiunto il finanziamento derivante dai progetti PNRR (ICSC, Terabit, DARE, Ecosister).

Nel corso de 2025, oltre al normale supporto al calcolo degli esperimenti, continuerà l'impegno sui progetti PNRR (alcuni di questi si concluderanno a fine 2025, mentre uno, DARE, continuerà nel 2026). In modo sinergico con i progetti PNRR continuerà l'attività su Datacloud.

Datacloud, coordinato in seno al C3SN, ha come obiettivo l'evoluzione delle infrastrutture informatiche dell'ente (la struttura dei Tier e il cloud) facendole convergere in un datalake italiano della ricerca. Il CNAF sarà la componente INFN principale del datalake. Nel contesto del CNAF, uno degli obiettivi è anche "fattorizzare" l'accesso alle risorse di calcolo (incluse le GPU venute in dote con i progetti PNRR) in modo che siano utilizzabili in modo paritario anche per l'elaborazione di dati contenuti in EPIC.

Questo processo permetterà non solo di rendere più efficiente (sia da un punto di vista gestionale che di uso delle risorse) il sistema complessivo, ma anche di rispondere meglio alle esigenze strategiche dell'INFN.

Allo stesso tempo, il CNAF, insieme a Bari e Catania, realizzerà un cloud certificato "multisito", estendendo lo scope di EPIC. Anche questa attività verrà ricompresa nel framework di Datacloud.

La principale attività del CNAF per il 2025 sarà l'integrazione delle proprie risorse in una infrastruttura unica. Questa attività è, appunto, sinergica con i progetti PNRR: in particolare con ICSC e Terabit per la realizzazione di un'infrastruttura cloud per la ricerca, e con tutti per il supporto delle applicazioni (es. con DARE per il supporto dei

progetti biomedicali). Inoltre, Datacloud, tramite ICSC, permetterà l'accesso non solo alle risorse dell'infrastruttura INFN, ma anche a quelle del CINECA (Leonardo e, in futuro, alle macchine Quantum, AI ecc.).

Funzionale alla gestione del data center ed alla partecipazione ai progetti di ricerca e sviluppo sopra menzionati è l'attività di sviluppo e mantenimento di prodotti middleware. In particolare:

- StoRM per l'interfacciamento ai sistemi di storage usato dal Tier1 INFN e da vari altri siti;
- i sistemi di autorizzazione (VOMS, Argus e soprattutto IAM) in uso a varie comunità.

Nel corso del 2025 proseguirà l'evoluzione di IAM per rispondere ai requisiti per l'autorizzazione nei progetti biomedicali (il più importante è l'autenticazione con doppio fattore). Funzionale allo sviluppo di IAM è la partecipazione ai progetti AARC TREE e RI-SCALE che hanno, fra gli obiettivi, la definizione di strategie comuni per lo sviluppo di un'infrastruttura di Autorizzazione per la ricerca europea.

Oltre alle già citate collaborazioni in campo biomedico, personale del CNAF partecipa alla rete CHNET sui Beni Culturali (in particolare nel 2025 sarà attivo il progetto europeo Artemis). Inoltre, alcuni dipendenti del CNAF hanno incarichi di docenza per corsi universitari (laurea, master, dottorato). Nel corso del 2024 vi sono stati alcuni incontri con classi di scuole superiore con visita al data center: questa attività proseguirà anche nel 2025.

Nel 2025, una volta terminata la migrazione del data center al Tecnopolo, i locali del vecchio data center verranno restituiti all'Università e destinati ad altro uso. Sarà quindi necessario dismettere l'infrastruttura attuale, preservando però l'operatività del PoP del GARR, ospitato in uno dei locali. È in corso di preparazione, in collaborazione con il GARR, un progetto per realizzare una nuova infrastruttura.

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

Il GGI ([Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics](#)), Centro Nazionale di Studi Avanzati dell'INFN, nato in collaborazione con l'Università degli Studi di Firenze, è un punto di riferimento per la comunità scientifica internazionale in quanto centro dedicato alla ricerca di alto livello e alla formazione di giovani ricercatori italiani e stranieri.

Il successo del GGI si deve al particolare formato dei programmi di ricerca che organizza (*workshop* di 5-7 settimane e scuole di 2-3 settimane) che lascia ampio spazio a discussioni e collaborazioni tra i partecipanti, ed al contesto stimolante ed informale in cui i ricercatori si trovano immersi. Ad oggi si sono tenuti 54 [workshop](#) al GGI, con circa 500 partecipanti ogni anno.

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 (più di 1500, [INSPIREhep](#)) 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.

Nel corso del 2025 si terranno 4 *workshop* ([Foundations and Applications of Relativistic Hydrodynamics](#), [From Asymptotic Symmetries to Flat Holography: Theoretical Aspects and Observable Consequences](#), [Exploring the energy frontier with muon beams](#), [New Physics from Galaxy Clustering at GGI](#)), ognuno dei quali includerà una *focus week* su un particolare specifico argomento di punta, e/o una *training week* rivolta alla formazione dei giovani ricercatori e una conferenza a cui parteciperanno i maggiori esperti sull'argomento a livello internazionale.

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. Vengono selezionati circa 60 studenti per ogni scuola organizzata su 2-3 settimane di immersione totale. Oltre alle lezioni svolte in classe vengono infatti stimulate discussioni nelle sessioni di Q&A e organizzate sessioni di esercizi. In media, circa il 40% degli studenti provengono da università straniere e questo favorisce lo scambio culturale e scientifico necessario per la loro futura carriera. Un aspetto di fondamentale importanza delle scuole al GGI è dato dalla video-registrazione delle lezioni. Sul canale dedicato di [YouTube](#) sono raccolti i video di tutte le lezioni tenute alle scuole del GGI fino dalla loro nascita: 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.

Vista l'importanza dell'interazione tra la comunità teorica e quella sperimentale, nel 2023 il GGI ha proposto un'ulteriore scuola di PhD "[Theory meets Experiments](#)" con lo scopo di creare un terreno comune di conoscenza di base su argomenti che vengono scelti tra le varie proposte. La prima edizione su "[The high intensity frontier of Particle Physics](#)" è stata un vero successo. Gli studenti, sia teorici che sperimentali, hanno apprezzato molto il nuovo formato proposto. Questo ci ha spinto a proporre una seconda edizione della scuola. Nel 2024 l'argomento selezionato è stato "[Neutrinoless double beta decay](#)". Studenti, organizzatori e insegnanti ci hanno confermato l'importanza di una scuola che favorisca un collegamento tra la comunità teorica e quella sperimentale a livello di ricercatori ". Studenti, organizzatori e insegnanti ci hanno confermato l'importanza di una scuola che favorisca un collegamento tra la comunità teorica e quella sperimentale a livello di ricercatori *early stage*. Per questo motivo la sesta scuola del GGI verrà riproposta nei prossimi anni. Le *call for proposals* usciranno in Maggio. *stage*. Per questo motivo la sesta scuola del GGI verrà riproposta nei prossimi anni. Le *call for proposals* usciranno nel mese di maggio.

A testimonianza del suo valore, il GGI è risultato vincitore, per 2 volte, di un *grant* molto prestigioso della *SIMONS Foundation*. Grazie a questo contributo Il GGI ha dato inizio nel settembre 2015 ad un programma di [SIMONS Visiting Scientists](#) per sostenere la partecipazione di eminenti scienziati ai workshop. Il secondo *grant* triennale, iniziato a febbraio 2024, prevede anche il finanziamento di visite di lunga durata e un contributo per scienziati da paesi con fondi limitati. Questo permette al GGI di arricchirsi con la presenza costante di *visiting scientist* come staff di ricerca. Ciò rappresenta un forte riferimento per i post-doc del programma "[GGI BOOST](#)", nato nel 2021 e dedicato ai neo-dottori di ricerca in fisica teorica che completano al GGI la loro formazione per affrontare con maggior maturità un percorso post dottorale nel mondo della ricerca. Il loro percorso presso il GGI è scientificamente stimolante, come risulta dalle loro pubblicazioni, dai seminari, e dai risultati presentati ai [GGI Post-Doc Days](#). In aggiunta offrono un importante contributo allo svolgimento delle attività del Centro. Per il 2025, avremo altri 3 giovani post-doc al GGI. Il programma "GGI BOOST" è un importante riferimento per i giovani teorici, riceviamo sempre molte *application* e di ottimo livello, è quindi auspicabile che venga mantenuto e sperabilmente ampliato, visto il consolidamento di una attività di ricerca stabile grazie ai SIMONS visiting scientists.

Contestualmente alla formazione del Centro Nazionale di Studi Avanzati, l'INFN ha istituito nel 2018 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. La prima Medaglia Galileo Galilei è stata assegnata nel 2019 a J. M. Maldacena. L'edizione del 2021 ha visto vincitori A. Buonanno, T. Damour e F. Pretorius, mentre, la Galileo Galilei Medal 2023 è stata assegnata a Z. Bern, L. Dixon e D. Kosower. Sono state raccolte le *nomination* per l'edizione del 2025. I vincitori della prossima Medaglia Galileo saranno annunciati il 25 febbraio 2025, compleanno di Galileo Galilei.

Il [Comitato Scientifico del GGI](#) selezionerà i programmi di ricerca che si svolgeranno al GGI nei prossimi anni e le 6 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 2025 si svolgerà la seconda edizione del *workshop* [“Quantum Observables for Collider Physics”](#) che è stato riproposto (la [prima edizione](#) si è tenuta a novembre 2023) vista la importanza e l'attualità dei temi trattati.

*Outreach*: Lo scorso giugno 2024 si è concluso il progetto “GGPaths -Sulle tracce di Galileo Galilei: sentieri di scienza in Arcetri” (il GGI era risultato vincitore di un bando per progetti di alta formazione “Giovani Si” della Regione Toscana) a cui hanno lavorato 2 assegnisti di ricerca unendo le loro competenze artistico-museali e scientifiche, per progettare eventi collettivi, attività didattiche e incontri divulgativi. Attraverso il dialogo tra scienza, storia della scienza, arte contemporanea e società, il progetto si è composto di più fasi di offerta culturale. In particolare [“Grasping the Cosmos”](#), nato dalla residenza di artiste presso Villa Galileo, e la loro partecipazione alle scuole del GGI [“Theoretical Aspects of Astroparticle Physics, Cosmology and Gravitation”](#) (marzo 2023 e 2024), per stabilire un dialogo con i giovani scienziati. Come risultato dell'interazione, sono state prodotte ed esposte opere delle artiste a Villa Galileo che, con l'occasione, è stata aperta al pubblico che ha partecipato con successo alle attività didattiche e di divulgazione scientifica associate alle mostre. Questo ha permesso al GGI di assumere un ruolo attivo nella divulgazione della ricerca che qui si svolge. Questa attività avrà sperabilmente un seguito all'interno del “Progetto del Parco della Scienza in Arcetri” a cui il GGI partecipa insieme alla Sezione INFN di Firenze, l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR, l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri di INAF e il Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze.

A questo si aggiungono i seminari divulgativi che vengono richiesti ai partecipanti di ogni workshop al GGI. Ad esempio nell'ambito del workshop [“Neutrino Frontiers”](#) sono stati organizzati, all'interno delle [“Notti d'estate ad Arcetri”](#), il seminario [“Viaggio al centro del sole”](#) tenuto da Francesco Vissani, organizzatore del workshop stesso e, nell'ambito della training week del workshop [“BPS dynamics and Quantum Mathematics”](#), Fernando Rodriguez Villegas ha tenuto una *public lecture* su [“The Mathematics of the football”](#) a cui hanno partecipato studenti delle facoltà scientifiche dell'Università di Firenze.

### **TIFPA – Trento Institute for Fundamental Physics and Applications**

Il Centro Scientifico e Tecnologico Nazionale INFN-TIFPA (TIFPA) si basa su un accordo istituzionale tra quattro entità che operano nella zona di Trento: l'INFN, l'Università di Trento, la Fondazione Bruno Kessler (FBK) e l'Agenzia Sanitaria della Provincia di Trento. Dal punto di vista delle infrastrutture, il TIFPA ha la sua sede presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento. Parte degli spazi sono dedicati all'ospitare un piccolo laboratorio di elettronica, una macchina per l'irradiazione a raggi X (principalmente utilizzata per campioni biologici) e una camera pulita che ha recentemente visto alcuni lavori di ristrutturazione leggera. Il TIFPA gestisce anche l'accesso alla linea sperimentale situata presso il centro di protonterapia dell'Azienda Sanitaria Provinciale, di proprietà di IBA, dove è presente anche uno spazio di laboratorio per la preparazione dei campioni. La linea di protoni è accessibile a utenti esterni mediante la presentazione di proposte valutate da un Comitato Consultivo che incorpora soggetti locali e nazionali. Il supporto tecnico è finora stato garantito in modo coerente da un solo specialista tecnologo in servizio presso il TIFPA. Il personale tecnico e amministrativo è attualmente molto limitato in numero, anche se si è intrapreso finalmente un percorso per portare l'amministrazione a regime. Al momento TIFPA dispone di due unità con la qualifica di assistente amministrativo, ambedue a tempo indeterminato. Una terza unità dovrebbe essere assunta in un concorso che verrà espletato nel 2025. Inoltre, è stata assegnata in organico una posizione da funzionario di amministrazione che verrà coperta in futuro. Bisogna considerare che il numero di persone associate al centro è di circa 170, il che non è poco rispetto ad altre sezioni dell'INFN. Per quanto riguarda il personale tecnico, abbiamo perso in circostanze tragiche il collega Alberto Franzoi che svolgeva la sua attività presso FBK. Tuttavia, in ottobre abbiamo ricevuto il trasferimento di un tecnico elettronico dalla Sezione di Padova. Un'ulteriore unità ci è stata assegnata nel 2023. Su questa stiamo facendo dei ragionamenti interni per capire quale sia il profilo più adatto alle esigenze del Centro. Il personale di ricerca è anch'esso piuttosto limitato e non ha visto variazioni recenti. Gli studiosi di ricerca sono quattro, uno dei

quali è in congedo a lungo termine presso l'ANL negli Stati Uniti. Abbiamo anche 6 tecnologi, di cui 4 permanenti e 4 tecnologi senior (primo tecnologo). Uno dei tecnologi è completamente dedicato alla gestione delle infrastrutture informatiche del centro, e in questo senso è necessario l'affiancamento di un'altra unità, anche per essere in regola con le disposizioni generali sulla gestione della sicurezza.

Il finanziamento si basa in parte sulle disposizioni regolari dell'INFN ma può anche contare su fondi raccolti dai ricercatori (sovvenzioni PRIN, sovvenzioni CARITRO, ecc.). Alcuni esperimenti sono cofinanziati da agenzie esterne come l'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) e attraverso collaborazioni internazionali. Il TIFPA non partecipa direttamente a progetti PNRR.

La principale missione di TIFPA è quella di servire da ponte tra la ricerca fondamentale e quella applicata, con un forte focus sul trasferimento tecnologico. Questa missione è agevolata dalla presenza dei quattro partner, ognuno con un ruolo ben definito. L'Università è come nelle altre sezioni il partner naturale dell'INFN con il suo Dipartimento di Fisica. Tuttavia, il TIFPA ha un gran numero di collaboratori in altri dipartimenti, che vanno dal Dipartimento di Matematica a due Dipartimenti di Ingegneria, al Dipartimento di Informatica e al Dipartimento di Biologia. La Fondazione Bruno Kessler è un altro partner fondamentale che porta al TIFPA una forte competenza tecnologica (in particolare per lo sviluppo dei rivelatori), ma anche competenze nello sviluppo di sensori quantistici e dispositivi quantistici. Inoltre, FBK ospita l'ECT\*, l'unica infrastruttura teorica europea riconosciuta ufficialmente da NuPECC. L'Agenzia Sanitaria Provinciale collabora concretamente al funzionamento della linea di ricerca presso l'impianto di protonterapia, e sta aprendo il suo interesse anche verso altri aspetti della ricerca svolta nel Centro.

Questa varietà di collegamenti riflette la ricerca in corso nella Scienza basata sullo Spazio, nello sviluppo di sensori e rivelatori, nelle applicazioni mediche della fisica nucleare e nelle scienze e tecnologie quantistiche. Tutti questi argomenti si caratterizzano come ponti tra la ricerca fondamentale e quella applicata, rispondendo alla missione del centro. Il centro ospita anche ricerca sperimentale nello sviluppo di grandi esperimenti nel campo della rilevazione delle onde gravitazionali e della ricerca sull'antimateria. Il gruppo teorico operante presso il TIFPA è caratterizzato anche da un forte focus su metodi numerici, calcolo quantistico e simulazioni di sistemi di interesse biologico, che riflettono nuovamente la missione peculiare del TIFPA.

Nel corso del 2025 andranno completati e approvati sia l'accordo quadro che istituisce il TIFPA (scaduto a novembre 2024) che i relativi accordi attuativi. Questa è un'occasione per eventualmente rivedere e ridefinire il significato e le strategie del centro, sia da parte dell'INFN che da parte dei singoli partner. Le principali priorità del TIFPA così come si configura attualmente sono: a) Rafforzare il legame con l'Azienda Sanitaria, ampliando il focus per una possibile collaborazione sul lato clinico anche al di là della protonterapia. Ciò farebbe del TIFPA un esempio unico a livello nazionale di cooperazione tra la fisica fondamentale e la medicina. b) Supporto all'attività di fisica basata sullo spazio oltre alla tradizionale ricerca sull'antimateria e verso esperimenti avanzati focalizzati sulla fenomenologia del clima spaziale. c) Ottenere un coinvolgimento più diretto del TIFPA nella ricerca legata ai sensori quantistici (in stretta collaborazione con FBK e l'Università di Trento) e al calcolo quantistico, con una forte partecipazione di vari Dipartimenti dell'Università. d) Ampliare il campo della collaborazione con FBK nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale.

Negli scorsi anni il gruppo ATLAS di TIFPA ha guidato lo sviluppo di nuovi sensori a pixel 3D per il Layer0 di ITk in collaborazione con FBK. Il pieno successo dell'attività di R&D è testimoniato dal fatto che è stata affidata dal CERN a FBK la produzione di una importante parte dei sensori (oltre la metà della geometria 50x50 e l'intera geometria 25x100), che è in avanzato stato di produzione e che verrà completata nei prossimi mesi.

Presso TIFPA è stato completato l'allestimento del setup di misura per la caratterizzazione dei moduli di sensori 3D (tripletti) ed il sito si è qualificato come centro per le successive attività di QC/QA dei moduli.

Il TIFPA rimane alla frontiera della fisica delle astroparticelle e della gravitazione, combinando expertise sperimentali, tecnologici e teorici per spingere in avanti i confini dello sviluppo scientifico.

1. AMS-02: Il gruppo di Trento guida l'analisi dei flussi di antideuterio, critici per l'esplorazione dell'origine dei raggi cosmici e per i segnali di materia oscura. AMS02 continua a fornire misure di precisione della composizione dei raggi cosmici e delle loro componenti di antimateria, consolidando l'evidenza della presenza di nuove caratteristiche nei flussi di raggi cosmici.
2. LIMADOU: Il gruppo di Trento ha la sua punta di eccellenza nell'analisi dei transienti ionosferici, dinamica della cintura di radiazione e lampi gamma come parte della collaborazione CSES. Contributi significative includono lo sviluppo di ricostruzione di eventi avanzata e tool di monitoraggio dei dati per la futura missione HEPD-2 a bordo di CSES-02.
3. Sviluppi Tecnologici: Il TIFPA porta avanti sviluppi di frontiera, che includono sensori MAPS, radiatori Cherenkov ad alta efficienza e materiali superconduttivi per la rivelazione di raggi cosmici. Il gruppo guida anche l'innovazione nella geodesia attraverso lo sviluppo di sistemi di riferimento gravitazionali e sviluppa strumentazione per futuri esperimenti con raggi X.
4. VIRGO & Einstein Telescope (ET): I contributi a VIRGO includono metodi avanzati di localizzazione delle provenienze nell'astrofisica multi-messenger. Per ET il team gioca un ruolo guida nel ridurre il rumore ottico e termico, co-progettando il layout ottico e studiando nuove tecniche di shaping del rumore quantistico.
5. LISA: Con l'assunzione da parte di ESA di LISA come "Large Mission" nel gennaio 2024 il TIFPA gioca un ruolo chiave come team PI dell'ASI per il Gravitational Reference System (GRS). Il gruppo è essenziale per la progettazione hardware e i test a terra dei sensori capacitivi e del Sistema di Grabbing, Positioning and Releasing con il piano di verifica dell'engineering model stabilito per il 2025.
6. QUAX/FLASH: Questi programmi esplorano fenomeni quantistici e la rivelazione degli assioni per mezzo di sistemi avanzati di materia condensata. Lo sforzo include il raffinamento di processi per la manipolazione di stati quantistici, un passo importante per comprendere la materia oscura e la fisica fondamentale.
7. RELAQs: Il TIFPA ha realizzato una delle prime osservazioni di decadimento di falso vuoto per mezzo della formazione di bolle in superfluidi ferromagnetici, un risultato di grande portata pubblicato nel 2024 su Nature Physics.

L'attività di Linea Scientifica 3 presso TIFPA, durante il 2024, ha visto notevoli progressi riguardo alle attività legate all'antimateria a bassa energia, nel contesto della sigla LEA. Ricercatori di TIFPA associati alla sottolinea AEgIS al CERN hanno dimostrato la prima sorgente raffreddata via laser di atomi di positronio, un risultato atteso dalla comunità da una trentina d'anni. Questo risultato permetterà, fra l'altro, di realizzare sorgenti pulsate molto più intense di atomi di antidrogeno per misure gravitazionali con antimateria in assenza di campi esterni, ed inoltre di svolgere la misura accurata dei livelli energetici del positronio, mediante spettroscopia, ad un livello che consenta di verificare i calcoli teorici ad alti ordini perturbativi. Inoltre, ricercatori di TIFPA legati alla sottolinea PSICO, ospitata presso il laboratorio AML di UniTN e TIFPA, hanno conseguito gli importanti traguardi di mettere in opera i propri magneti, beamline di positroni e laser di pompa, avvicinandosi ai primi studi di spettroscopia di precisione su atomi di positronio polarizzati. Le altre attività di Linea 3 in cui i ricercatori di TIFPA sono coinvolti hanno riguardato la presa dati dell'esperimento ALICE al CERN, gli studi di frammentazione nucleare nel contesto della collaborazione FOOT ed il supporto teorico alla messa in opera dell'esperimento PANDORA ad LNS.

I risultati raggiunti nel 2024 dai membri della CSN4 spaziano dalla cosmologia multi-messaggera allo studio del segnale di ringdown di buchi neri in formazione, passando per predizioni dettagliate della dinamica di molecole complesse come il DNA o delle funzioni di risposta dei neutrini in teoria elettrodebole. Tutte queste attività sono accomunate dall'utilizzo di tecniche di calcolo avanzate, come (Bayesian) artificial neural networks o infrastrutture HPC. Progressi significativi sono stati raggiunti, inoltre, nella simulazione di teorie di gauge in regime non-perturbativo usando 21 qubits e 400 two-qubit gates su uno dei computer quantistici più avanzati al mondo (Google Quantum AI Early Access Program), con eccellente accordo con i risultati di simulazioni classiche. In ambito più formale è stata poi sviluppata una dimostrazione rigorosa del legame tra le transizioni di fase che avvengono in una teoria classica e nella sua versione quantistica. Questo lavoro ha anche portato all'introduzione di una nuova definizione dello stato di equilibrio per sistemi spazialmente infiniti, con importanti applicazioni allo studio delle transizioni di fase a temperatura finita.

Le attività di CSN5 a TIFPA in quest'ultimo anno hanno prodotto importanti risultati su diversi fronti. Nel campo Interdisciplinare, in particolare sulla radioterapia FLASH, le attività locali nell'ambito della Call FRIDA hanno permesso la realizzazione dei primi irraggiamenti in modalità ultra-high dose rate sia per studi dosimetrici che radiobiologici. Inoltre, è del gruppo TIFPA la realizzazione del primo modello radiobiologico multiscala in grado di spiegare tutti i principali esperimenti in vitro FLASH ad oggi presenti in letteratura. Inoltre, tutta l'attività della commissione nell'ambito della microdosimetria sperimentale e modellistica è stata riconosciuta dal premio "Jack Fowler Award" 2024 a Marta Missiaggia di TIFPA, probabilmente il più prestigioso al mondo in radiobiologia. Nel campo dei rivelatori, diversi importanti sviluppi tecnologici sono stati raggiunti, come ad esempio nell'esperimento 4DShare, dove è stato realizzato un contatto a zero-resistenza Al-Si fondamentale per la realizzazione del sensore. Sul lato del Quantum Sensing le attività di UNiDET (universal detector of quantum light) hanno permesso il completamento del design del rivelatore, realizzando già diversi elementi come le guida d'onda.

Il trasferimento tecnologico rimane uno degli obiettivi principali del TIFPA. Attualmente, ci sono essenzialmente due principali aree molto attive in questo settore. La prima riguarda ancora una volta la ricerca in fisica medica, che si sviluppa con l'obiettivo dichiarato di fornire protocolli che possono essere applicati sul lato clinico. Il recente aggiornamento della linea di fascio per fornire radiazioni FLASH, che promette un avanzamento nel trattamento di diversi tipi di tumori, è un chiaro esempio del ruolo che il TIFPA ha in questo contesto. Dovremmo anche menzionare che l'INFN e la FBK sono partner da lungo tempo nello sviluppo di rilevatori che hanno il potenziale per essere impiegati in altri contesti. In generale, la presenza di FBK garantisce un canale privilegiato per raggiungere l'industria locale e nazionale. Per quanto riguarda la divulgazione, nonostante la limitata disponibilità di personale che deve occuparsi di molteplici attività, il TIFPA è stato coinvolto in diverse iniziative (come la Master Class in fisica delle particelle, rivolta soprattutto ai giovani studenti, o il Premio Asimov, che è un concorso di letteratura scientifica che coinvolge attivamente gli studenti delle scuole superiori). Va citata nel contesto dell'outreach l'iniziativa della celebrazione del decennale della fondazione del centro svoltasi a febbraio 2024, che ha attratto attenzione nei confronti di questa realtà sia all'esterno che all'interno di INFN.

### **6.3 Altre infrastrutture**

#### **LABEC – Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali**

Il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente ed i Beni Culturali) è un laboratorio della Sezione INFN di Firenze, gestito in collaborazione con il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze (UniFi).

La missione di LABEC consiste nello sviluppo di tecnologie innovative basate sulla fisica nucleare per l'applicazione in contesti ambientali, archeologici, storico-artistici e nella scienza dei materiali. La principale strumentazione in dotazione al LABEC consiste in un acceleratore elettrostatico TANDEM da 3 MV, prodotto da un'azienda europea, dedicato a misure di Accelerator Mass Spectrometry (AMS), Ion Beam Analysis (IBA), a processi di impiantazione ionica e a irraggiamento di materiali. Le attività dell'acceleratore sono supportate da laboratori ausiliari, tra cui il laboratorio di preparazione campioni per AMS e quello per la preparazione della strumentazione da campo per l'analisi del particolato atmosferico.

Molte attività svolte al LABEC sono state integrate all'interno di INFN-CHNet, la rete dei laboratori INFN per i Beni Culturali, allo scopo di renderle più efficaci e fruibili. In questo ambito, ad esempio, è stata realizzata strumentazione portatile per l'analisi della composizione dei materiali tramite scanner XRF di grande area ed è stato istituito il "laboratorio digitale" DHLab.

Le attività del LABEC sono finanziate principalmente attraverso la Commissione Scientifica Nazionale 5, da programmi MUR, da progetti della Regione Toscana e dell'Unione Europea.

Attualmente il personale afferente al LABEC consta di circa 20 unità, sia INFN che UniFi e comprende ricercatori, tecnologi e tecnici INFN, docenti, ricercatori e un tecnico laureato UniFi, con personale a tempo determinato (circa il 30% del totale) sia INFN che UniFi.

Il LABEC fa parte di ACTRIS ERIC, l'infrastruttura di ricerca europea che coordina le osservazioni e la ricerca scientifica su aerosol, nuvole e gas in tracce di cui ospita il Centro Europeo di Calibrazione di Massa (EMC2). Accordi operativi tra ACTRIS ERIC e EMC2 sono in fase di finalizzazione.

Il laboratorio è la struttura di riferimento, anche amministrativo, di INFN-CHNet, di cui monitora e supporta i singoli nodi, gestendo anche le collaborazioni nazionali e internazionali della rete.

Il LABEC coordina il progetto europeo 4CH e ospita il nodo italiano 4CH.it. Lo scopo del progetto è stabilire il quadro metodologico, procedurale e organizzativo di un Centro di Competenza in grado di collaborare in modo sinergico con una rete di istituzioni culturali nazionali, regionali e locali, fornendo loro consulenza, supporto e servizi focalizzati sulla conservazione e salvaguardia di monumenti e siti storici.

L'infrastruttura sperimentale è centrale per tutti i progetti in corso e futuri legati al LABEC. Al fine di rendere sempre più accessibile ed affidabile il laboratorio, è stata elaborata una proposta di aggiornamento per superare alcune criticità dovute all'obsolescenza di parte dell'attrezzatura. Il progetto, presentato al Machine Advisory Committee dell'INFN, ha come punto centrale la separazione delle attività di AMS da quelle di IBA, mediante l'installazione di un nuovo acceleratore dedicato esclusivamente alle misurazioni AMS, riservando il TANDEM esistente al resto delle attività. Il sistema TANDEM esistente verrà in gran parte riutilizzato, rendendo il progetto vantaggioso dal punto di vista economico. Una parte del progetto PNRR ITINERIS prevede tra l'altro il rinnovo del sistema di controllo del TANDEM in vista dell'aggiornamento sopra descritto.

Nell'ambito del LABEC è stato progettato e realizzato un innovativo acceleratore di protoni da 2 MeV di piccole dimensioni (2.5x1.0 m<sup>2</sup>), di tipo HF-RFQ e con corrente media di alcuni nA, denominato "MACHINA", per effettuare misurazioni diagnostiche per i beni culturali nei laboratori di restauro e diagnostica dei grandi musei. Il primo prototipo verrà installato all'Opificio delle Pietre Dure. Attualmente è in fase di costruzione un secondo prototipo, "MACHINA2", da installarsi a L'Aquila per essere disponibile per musei e centri di ricerca abruzzesi.

Il LABEC svolge un'intensa e qualificata attività di formazione, divulgazione (3M) e trasferimento tecnologico (TT). Le attività di divulgazione vanno dalle visite al laboratorio alla partecipazione a fiere ed eventi. Le iniziative di formazione riguardano principalmente le International Masterclasses e progetti con le scuole locali. Le attività di TT sono ampie e diverse e includono contratti in conto terzi che assorbono una parte significativa sia del tempo del personale che del tempo macchina.

### **LASA – Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata**

Il Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata (LASA) di Segrate è un laboratorio della Sezione di Milano, gestito con il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano (UniMi), dedicato allo studio e sviluppo di acceleratori di particelle ed alle tecnologie per la superconduttività, la criogenia e la produzione di campi elettromagnetici statici e a radiofrequenza ad alta intensità.

Oltre all'applicazione della superconduttività per la guida dei fasci (magneti superconduttori) per macchine acceleratrici del CERN (FCC, Muon Collider) ed all'accelerazione (cavità RF) di macchine a elettroni/protoni, quali ESS e PIP-II, vengono studiati e sviluppati iniettori per elettroni ad alta brillantezza e nuovi acceleratori energeticamente sostenibili. Sono attivi, inoltre, studi di applicazioni in campo medico, mediante acceleratori convenzionali RF ad alta frequenza e tecniche di accelerazione laser, e studi di dosimetria e produzione di radionuclidi.

Le principali infrastrutture del LASA sono:

- Impianto di produzione di elio liquido con criostati verticali per test magneti e cavità.
- Laboratorio "alto campo magnetico" con vari solenoidi superconduttori.
- Sistemi per la caratterizzazione di cavi superconduttori (correnti fino a 2.5 kA).
- Laboratorio per radiofrequenza con sorgenti di potenza a 700 MHz, 1.3 e 3.9 GHz.
- Laboratorio per deposizione e caratterizzazione fotocatodi.
- Laboratorio di Radiochimica per la manipolazione di sorgenti radioattive.

Le attività del LASA sono finanziate attraverso progetti MUR, progetti PNRR ed UE, Commissioni Scientifiche Nazionali. Il personale afferente è composto da 53 unità, di cui 13 sono UniMi. Il personale è composto da ricercatori, tecnologi e tecnici, docenti ed amministrativi. Il personale a tempo determinato è circa il 36%.

Nel seguito sono descritte la strategia scientifica, le priorità e gli obiettivi del laboratorio:

Sistemi di accelerazione superconduttivi per elettroni e protoni: Il gruppo RF progetta, realizza e caratterizza sistemi acceleranti superconduttivi a radiofrequenza. È impegnato nel progetto Proton Improvement Plan-II (PIP-II) di Fermilab (USA), che si prefigge di raddoppiare l'energia dei fasci di particelle per i prossimi esperimenti al più grande laboratorio statunitense di fisica delle alte energie.

Magneti superconduttori: Il gruppo si occupa della progettazione, costruzione e test di magneti superconduttivi, con esperienze di design elettromagnetico, meccanico, criogenico, diagnostica, protezione dal quenching, ecc. È coinvolto in importanti programmi internazionali: High Luminosity LHC, Eucard2, EuroCirCol & Future Circular Collider (FCC).

Nel 2022 è iniziato il programma PNRR, denominato IRIS (Innovative Research Infrastructure on applied Superconductivity) che si propone di creare una infrastruttura di ricerca per soluzioni innovative per la scienza fondamentale e le applicazioni per la società, mirando alla "transizione verde" e la sostenibilità di grandi infrastrutture scientifiche.

Fotocatodi: Sviluppo e produzione di fotocatodi per sorgenti di fasci di elettroni ad altissima brillantezza per la produzione di radiazione X coerente. Questi fotocatodi sono usati a DESY, Fermilab e LBNL.

Acceleratori a recupero di energia: Il progetto BriXSino basato su un Energy Recovery Linac (ERL) è un dimostratore con 2 stazioni sperimentali con radiazione X coerente monocromatica (da 10 a 37 keV), radiazione THz di altissima potenza media (kW-class), ed una beam line con fasci di elettroni CW ad alta corrente media (mA-class) fino a 10 MeV per flash therapy. Un primo stadio di questo progetto, un iniettore ad alta corrente e brillantezza, è in fase di realizzazione (CALL di CSN5).

Sostenibilità nella progettazione di acceleratori di nuova generazione: Dal 2023 il LASA partecipa alla Call Europea iSAS (Innovate for Sustainable Accelerating Systems) dedicata allo studio e progettazione di elementi "specifici" per una sostenibilità energetica dei futuri acceleratori.

Muon Collider: Dal 2022 il LASA è WP leader per le cavità RF "normal conductive" e per la costruzione di una "cooling cell" prototipale del progetto Muon Collider. È responsabile dei magneti superconduttori, con riferimento all'R&D di nastri HTS e allo sviluppo di tuner per le cavità RF superconduttive della sezione ad alta energia del collider.

Acceleratori convenzionali e a plasma per finalità mediche: Studi di linac ad alta frequenza (3 GHz) per protoni e sviluppo di fasci di protoni generati da fasci laser di alta potenza. In collaborazione con il CNR di Pisa sono stati ottenuti fasci sino a 10 MeV con dose rate di 108 Gy/s, un risultato significativo anche per applicazioni di Flash Therapy.

Radionuclidi: Produzione di radionuclidi ad alta attività specifica per applicazioni mediche di diagnostica e di radioterapia metabolica e per applicazioni ambientali, in collaborazione con il centro di produzione di radioisotopi ARRONAX (Nantes, Francia).

Il LASA fornisce alle aziende competenze di progettazione, costruzione e test di magneti superconduttori e in tecnologie di superconduttività, criogenia e produzione di campi elettromagnetici statici e a radiofrequenza ad alta intensità. È attivo nella divulgazione scientifica su temi di radioattività (progetto Radiolab) ed è parte del progetto quadriennale EuroLABS, della Comunità Europea, per lo scambio di personale fra laboratori.

### ***EGO – European Gravitational Observatory***

L'Osservatorio Gravitazionale Europeo EGO è stato fondato nel 2000 congiuntamente dall'INFN e dal CNRS francese con lo scopo di costruire, mantenere, sviluppare e tenere in funzione il più grande interferometro per la rivelazione di onde gravitazionali d'Europa: Virgo. Virgo è uno dei tre maggiori interferometri nel mondo ed opera nella rete interferometrica mondiale insieme ai due strumenti americani LIGO.

La presente infrastruttura è costituita da due bracci, ciascuno lungo 3 km mantenuti sotto ultra-alto vuoto ( $P= 10^{-9}$  mbar risultando il più grande sistema di ultra-alto vuoto in Europa, il secondo nel mondo), due edifici terminali e un edificio centrale, dieci torri anch'esse sotto vuoto contenenti sofisticati sistemi di sospensione, specchi di elevatissima qualità (realizzati dal laboratorio LMA del CNRS/IN2P3 che realizza gli specchi per tutti i rivelatori delle onde gravitazionali del mondo), vari sistemi di laser, tra cui uno per realizzare luce-squeezed, elettronica di controllo, un centro di calcolo, e tutta la strumentazione necessaria a mantenere in funzione Virgo: numerose camere pulite fino alla classe 1, una serie di laboratori specializzati in ottica, elettronica, criogenia e vuoto, impianti per pulizia di componenti da inserire sotto vuoto, officine e servizi generali.

Negli anni 2018-19 è iniziata la preparazione del run O3 che è durato dal 19 aprile ad aprile 2020. Il run O3 insieme ai precedenti periodi osservativi (O1 e O2) ha portato a 90 rilevamenti di onde GW. Ad aprile 2020 è iniziata l'installazione degli upgrade. Purtroppo, la sensibilità aspettata dal progetto non è stata raggiunta e la collaborazione ha deciso di non unirsi al run O4 fin dall'inizio, che quindi è iniziato solo con LIGO. Nel 2024 Virgo si è unito al run O4b, iniziato il 10 aprile e che continuerà almeno fino al giugno 2025. Virgo ha operato con un ottimo duty cycle compreso tra 70% e 80%, con una sensibilità tra 50 e 55 Mpc BNS range, che anche se continua a essere relativamente bassa ha permesso di migliorare notevolmente la localizzazione degli eventi significativi osservati dai tre interferometri (circa il 90% su un totale di 89), in qualche caso anche di un fattore maggiore di 10. L'inizio del run O5 dipenderà dalla conclusione del run O4 e dai risultati ottenuti. È in discussione un importante upgrade dell'infrastruttura per modificare la configurazione ottica delle cavità in modo da renderle stabili. Se approvato, questo upgrade richiederà importanti modifiche anche al design delle sospensioni con conseguenti interventi sul vuoto e sugli edifici.

Il personale di EGO è rimasto sostanzialmente costante negli anni, con circa 65 dipendenti tra tecnici e tecnologi. Grazie all'aumento dei finanziamenti si prevede un incremento del personale nei prossimi anni che compenserà anche il turnover dovuto ad alcuni pensionamenti.

L'obiettivo principale di EGO è mantenere in funzione e migliorare l'interferometro Virgo. Per ottenere questo obiettivo, visto il personale di EGO, è necessario collaborare e mantenere rapporti scientifico-tecnici con altri laboratori europei e con i gruppi di Virgo che hanno competenze nella costruzione e nella ricerca e sviluppo di strumentazione per la rivelazione di Onde Gravitazionali. Tra i laboratori esteri un importante partner scientifico è il laboratorio LMA Laboratoire des Matériaux Avancés – CNRS/IN2P3 a Lione, dove vengono realizzati gli specchi e il coating per ADV+ e si studiano nuovi coating per il run O5. Queste tecnologie sono complementari a quelle sviluppate a EGO: vuoto, meccanica, ottica, controlli. I problemi che l'interferometro ha avuto nella fase I di ADV+ hanno portato la collaborazione Virgo a valutare la possibilità di modificare la configurazione ottica dell'interferometro per sostituire le attuali cavità ottiche marginalmente stabili con cavità stabili. Questo progetto richiederà importanti modifiche dell'infrastruttura e nuovi investimenti e, se approvato dalle agenzie finanziatrici, occuperà EGO per i prossimi anni, interessando tutti i dipartimenti, in particolare quello del vuoto e meccanica. EGO sta anche dando supporto alla progettazione di Einstein Telescope, l'interferometro gravitazionale di terza generazione, occupandosi delle tecnologie che possono essere sviluppate indipendentemente dal sito. EGO ha responsabilità importanti in IGWN, il comitato di coordinamento per la realizzazione e la standardizzazione del software e del computing di LIGO, Virgo e Kagra. Tra gli obiettivi scientifici dei prossimi anni il management di EGO intende avere una maggiore collaborazione con LIGO Lab, che gestisce, mantiene operativi e realizza gli upgrade dei due interferometri americani.

Dal punto di vista organizzativo e gestionale è in atto un importante processo di revisione della struttura organizzativa di EGO e dei rapporti tra EGO, i laboratori esterni e in generale la collaborazione Virgo, con lo scopo di rafforzare le competenze sperimentali più legate al funzionamento e allo sviluppo dell'interferometro. È in atto, inoltre, un importante processo di integrazione tra le collaborazioni LIGO Virgo e Kagra che porterà, se completato, alla costituzione di un'unica collaborazione internazionale con una governance unica che prende il nome di IGWN (International Gravitational-Wave Observatory Network).

Le attività di EGO e della Collaborazione Virgo sono state centrate sulla progettazione e costruzione delle nuove componenti che permettono il sensibile miglioramento di sospensioni antisismiche, specchi, banchi ottici, laser, elettronica e controlli, ultraalto vuoto. Per questo sono state sviluppate, anche in collaborazione con aziende italiane, specifiche tecnologie nei settori della meccanica, ottica ed elettronica. L'attività sui sensori ambientali ha offerto l'occasione di avere rapporti stretti di collaborazione con una molteplicità d'istituzioni nel campo della geologia, del clima e dell'ecologia (INGV/Italia, IPGP/Francia). La ricerca sulla fisica multimessaggera ha permesso di istituire

collaborazioni con varie istituzioni di ricerca italiane ed europee (APPEC - Astroparticle European Consortium). EGO sviluppa anche il software e l'infrastruttura di calcolo per il data processing on line.

L'alta concentrazione di competenze e infrastrutture tecnologiche disponibili permette ad EGO di avere un importante ruolo di alta formazione.

Nel corso del 2024 abbiamo avuto circa 10000 visitatori, di cui il 65% è rappresentato da studenti di scuole di ogni ordine e grado (comprese scuole elementari e medie) e delle università. Il 15% dei visitatori proviene da Paesi esteri. Le visite attualmente sono completamente prenotate fino a giugno 2025.

Negli ultimi anni sono stati organizzati in Italia e in Europa un gran numero di mostre, attività ed eventi per il pubblico, compreso nel 2024 un [evento internazionale a EGO](#) per i 20 anni di attività scientifica dell'esperimento. Si darà continuità a questa attività e alle relazioni con le principali istituzioni pubbliche, culturali e di ricerca del territorio.

Si è consolidata una struttura/metodo di comunicazione e una rete di relazioni con vari media a livello locale, nazionale e internazionale (<https://www.ego-gw.it/pressroom/>), in coordinamento sia con le Funding Agencies di EGO che con la collaborazione LVK (LIGO, Virgo, KAGRA)

### **KM3NeT/ARCA - *Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss***

ARCA è il telescopio sottomarino di neutrini di alta energia sito al largo di Capo Passero, nodo italiano del progetto internazionale KM3NeT. Il progetto prevede un secondo telescopio sottomarino, ORCA (Oscillation Research with Cosmics in the Abyss), situato al largo di Tolone in Francia e dedicato allo studio dei neutrini prodotti dall'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera.

ARCA 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-IT 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. Al 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 27 DUs (per un totale di oltre 13 mila fotomoltiplicatori): ARCA ha così ampiamente superato il volume fisico del predecessore ANTARES. Il secondo cavo, realizzato con il progetto IDMAR, finanziato dalla Regione Sicilia 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. L'installazione delle stringhe avviene con regolarità ed ogni anno sono previste operazioni marine con la possibilità di installare 25-35 stringhe per volta.

ARCA, pur in configurazione ridotta, è attiva ed in presa dati continua. Nel triennio 2025-27 sono attesi i primi importanti risultati di Fisica nel campo della astronomia multimessaggera. ARCA è inoltre inserita nella rete internazionale di generazione di alert di eventi cosmici di alta energia per poter permettere osservazioni congiunte con altri osservatori.

### **EuPRAXIA – European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications**

Il progetto EuPRAXIA@SPARC\_LAB rappresenta il pilastro basato sulla tecnica “particle driven plasma acceleration” (PWFA) del programma europeo EuPRAXIA finanziato dal programma quadro H2020 e inserito nella Roadmap Europea per le Infrastrutture di Ricerca ESFRI. Oltre ad uno dei due pilastri infrastrutturali, i LNF ospitano anche il quartier generale dell’intero progetto ed hanno pertanto assunto un ruolo di leadership nella collaborazione.

Il governo italiano ha stanziato 108 M€ per la costruzione di questa nuova infrastruttura nazionale, ma parallelamente sono attive ulteriori linee di finanziamento a livello regionale, nazionale ed europeo, come il progetto PACRI di Horizon Europe. Questo permetterà di sviluppare ai LNF capillari ad alta frequenza, fino al kHz e oltre, e un innovativo compressore di impulso RF in banda X (12 GHz).

Il progetto EuPRAXIA@SPARC\_LAB coinvolge ed assorbe una frazione significativa di risorse: 30 FTE nella Divisione Acceleratori e 6 FTE nella Divisione Tecnica. Altri servizi tecnici del Laboratorio sono coinvolti (i.e. il Servizio di Calcolo), così come i servizi dell’amministrazione. Un altro progetto ancillare che ha permesso soprattutto di reclutare nuovi giovani ricercatori è il progetto PNRR EuAPS (EuPRAXI Advanced Photon Sources). Questo, che vede la collaborazione di CNR e dell’università di Tor Vergata, prevede la costruzione di una “user facility” di raggi X presso SPARC\_LAB, lo sviluppo di laser di potenza elevata, fino a 1 PW, presso i LNS e di laser ad alta frequenza, fino a 100 Hz, presso il CNR Pisa.

Nel settore degli acceleratori di particelle è fondamentale lo sviluppo di sistemi di accelerazione compatti capaci di andare oltre i limiti di quelli convenzionali basati su impulsi di radiofrequenza. In questo contesto si inserisce lo sviluppo di moduli al plasma capaci di sostenere gradienti acceleranti di decine di GV/m.

EuPRAXIA@SPARC\_LAB sarà la prima facility per utenti basata su fasci accelerati con plasma in grado di produrre radiazione coerente mediante FEL (Laser ad Elettroni Liberi).

Prosegue la preparazione del Technical Design Report del progetto EuPRAXIA@SPARC\_LAB che sarà ultimato nel 2025.

Nel prossimo biennio saranno avviate le gare per la costruzione e l’acquisizione dei componenti dell’acceleratore, le più importanti delle quali riguarderanno gli impianti RF e gli ondulatori magnetici.

La facility TEX dei LNF, inaugurata nel 2021, rappresenta la stazione di test per le componenti RF di EuPRAXIA@SPARC\_LAB. Recentemente ampliata, ospita il prototipo della stazione di potenza RF in banda X (12 GHz) ed un’ulteriore stazione di potenza in banda C (5,7 GHz) per attività sperimentali rivolte agli sviluppi di fotoiniettori avanzati. Nel prossimo biennio ospiterà il test sperimentale di una sorgente di elettroni ad alta ripetizione (400 Hz), grazie al progetto FRINGE finanziato con fondi PNRR Rome Technopole.

Recenti risultati sperimentali ottenuti allo SPARC\_LAB hanno anche dimostrato che strutture al plasma, chiamate Lenti Attive al Plasma (APLs), possono essere usate per focalizzare fasci di alta energia. L’uso di tali dispositivi integrati all’interno di un unico modulo accelerante al plasma può soddisfare l’esigenza di raggiungere gradienti elevatissimi in strutture estremamente compatte.

Il trasferimento tecnologico, e più in generale le relazioni con l’industria, sono un argomento specifico della “Preparatory Phase” di EuPRAXIA.

Un’intensa attività di rete è in corso e nel 2023 è stato brevettato il primo “Dispositivo di accelerazione al plasma” e una seconda richiesta di brevetto è stata sottomessa di recente.

Le competenze progettuali e costruttive nel campo dei sistemi RF per acceleratori lineari presenti allo SPARC\_LAB sono state riversate anche in una importante iniziativa di trasferimento tecnologico con la creazione di uno spin-off

industriale denominato BeamX. La società, recentemente costituita, progetta e realizza acceleratori lineari di elettroni per applicazioni industriali, mediche e di ricerca.

Per quanto riguarda l'outreach diverse attività sono state completate:

- Siti web legati ad EuPRAXIA (principale [www.eupraxia-facility.org](http://www.eupraxia-facility.org));
- Pagina LinkedIn;
- Seminari presso Università e Centri di Ricerca;
- Organizzazione di workshop e scuole quali la "[EuPRAXIA Doctoral Network](#)" con la partecipazione del Premio Nobel Anne L'Huillier;
- Articoli divulgativi su riviste per il vasto pubblico, video promozionali in collaborazione con diversi canali televisivi.

È stata inoltre elaborata una strategia per massimizzare l'impatto su questi canali che comprende la produzione di gadget, banners e posters al fine di consolidare l'identità e la riconoscibilità del logo di EuPRAXIA.

Oltre alle sopracitate attività, EuPRAXIA è sempre presente negli altri programmi di outreach organizzati dai Laboratori (i.e. giornata Open\_Lab).

### **ET – Einstein Telescope**

*Einstein Telescope* (ET) è un progetto che ha l'obiettivo di realizzare il più grande e sensibile interferometro per la rilevazione delle onde gravitazionali. È stato incluso tra le grandi infrastrutture di ricerca da realizzare in Europa nella RoadMap 2021 di ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*) su proposta italiana e con l'appoggio di Belgio, Paesi Bassi, Polonia e Spagna.

L'esperienza nel campo della rivelazione delle onde gravitazionali, iniziata nella seconda metà degli anni '70 con gli esperimenti pionieristici di Edoardo Amaldi e Guido Pizzella e proseguita fino alla costruzione di VIRGO in Italia, grazie al contributo visionario di Adalberto Giazotto, candida naturalmente l'INFN a svolgere un ruolo di primo piano nella costruzione di ET.

Si tratta di un esperimento di terza generazione, successore di LIGO e VIRGO, che permetterà di rivelare onde gravitazionali generate dalla coalescenza di sistemi binari di buchi neri di massa intermedia e di stelle di neutroni, contribuendo in modo cruciale all'astronomia multimessaggera e mettendo alla prova la teoria della relatività generale nel regime di campo forte. Potrà rivelare segnali gravitazionali provenienti dallo spazio profondo consentendoci di studiare le prime fasi dell'universo, di estremo interesse cosmologico, non altrimenti accessibili.

In questa fase preliminare il progetto è governato da un *proto-council* informale che si articola in un *Board of Governmental Representatives* (BGR), i cui membri sono nominati dai governi delle nazioni interessate (Italia, Paesi Bassi, Belgio, Polonia, Regno Unito, Spagna, Croazia, Grecia e Francia, con Germania e Austria presenti come osservatori), che si occupa delle attività di indirizzo politico-amministrativo del progetto. Parallelamente, il Presidente dell'INFN e il Direttore del NIKHEF agiscono come ESFRI *coordinators*. Tra le questioni principali in discussione ci sono il finanziamento della fase preliminare per circa 15 M€, la natura dell'entità legale che gestirà l'infrastruttura, la configurazione dell'interferometro e la scelta del sito/i.

La Collaborazione scientifica di ET conta attualmente da più di 1700 scienziati provenienti da tutta Europa e da alcune unità di ricerca in nazioni extra-europee, come Corea, Taiwan, Israele, Brasile, Messico e Stati Uniti.

A seguito di uno studio pubblicato dalla Collaborazione scientifica si stanno attualmente confrontando due configurazioni per l'implementazione di ET: la *baseline* del progetto, che prevede la costruzione di un interferometro sotterraneo a tre bracci configurato come un triangolo equilatero di lato 10 km, e la configurazione "2L", con due interferometri a due bracci da 15 km, posti a grande distanza in Europa, che sembra avere una portata scientifica persino superiore e minori rischi tecnologici.

Il sito di ET verrà selezionato entro i prossimi 2 anni. Attualmente ci sono formalmente due candidature, quella italiana e quella olandese. L'Italia propone il sito sardo di Sos Enattos, vicino Lula in Sardegna, ideale per la sua conformazione geologica e il basso rumore sismico e antropico, a cui si contrappone il sito olandese posto nella regione di confine fra Belgio, Olanda e Germania (EMR). Una terza candidatura, che prevede la realizzazione di un sito di ET in Lusazia (Germania), si sta formalizzando, supportata dal governo regionale della Sassonia.

Il Governo italiano, attraverso la Presidenza del Consiglio, si è impegnato a finanziare la costruzione di ET in Italia con un finanziamento di 950 M€ in dieci anni a cui si aggiungono circa 350M€ promessi dalla Regione Autonoma della Sardegna. Il sito olandese dispone di un impegno di finanziamento simile, pari a circa 900 M€. È iniziata un'intensa attività scientifico-diplomatica, che vede l'Istituto coinvolto con grande determinazione, per portare ET in Italia, sia come unico sito o eventualmente, nel caso fosse selezionata la configurazione con i due interferometri a due bracci, utilizzando entrambi i siti. L'INFN fa parte del Comitato Tecnico Scientifico di ET istituito dal MUR e presieduto dal Premio Nobel Giorgio Parisi e partecipa al tavolo interistituzionale stabile presso il MUR per il supporto alla candidatura italiana ad ospitare ET, un'altra testimonianza del forte impegno istituzionale per questa candidatura, insieme alla Presidenza del Consiglio, MEF, MAECI, MLPS, MIMI, MIT, MASE, Regione Sardegna e INAF.

Sempre a supporto di ET e della candidatura italiana, l'INFN ha proposto il progetto ETIC che è stato finanziato con 50 M€ sui fondi del PNRR. ETIC è pensato da una parte per ampliare e rafforzare un'infrastruttura tecnologica distribuita sul territorio per sviluppare le tecnologie richieste da ET (criogenia, vuoto, laser, metallurgia), dall'altra per caratterizzare il sito di Sos Enattos attraverso uno studio ingegneristico dettagliato che fornisca la documentazione tecnica della futura infrastruttura di ricerca a supporto della candidatura.

La candidatura italiana è ora coordinata e preparata da un gruppo di lavoro (TETI, Team per ET in Italia), guidato dall'INFN e a cui partecipano INAF, INGV e le università sarde.



## 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, 5 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.

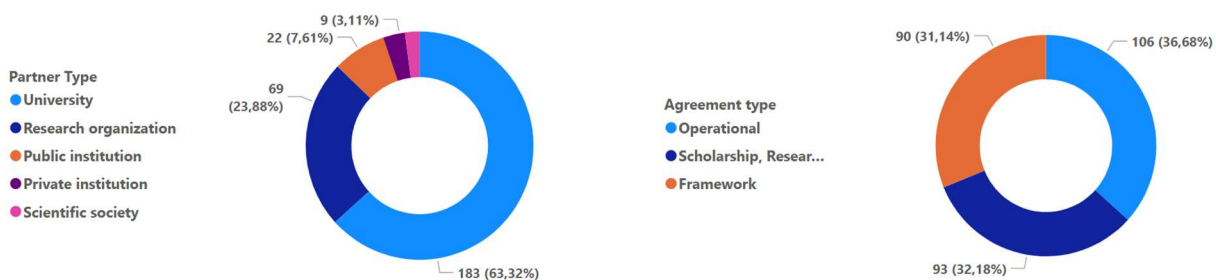


Figura 7.1 Analisi e report convenzioni con Università ed Enti di ricerca

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 (INAF, INGV, CNR, ENEA, ASI, Sincrotrone Trieste, Centro Fermi ed INRIM) e sono inoltre attive altre collaborazioni con il CNISM, con il CINECA, con lo IOV, il CNAO e diversi 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); IHEP (Cina); RIKEN e KEK (Giappone); 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), Stati Uniti (DOE, NSF). Viste le attuali condizioni internazionali, i rapporti di cooperazione e gli scambi scientifici con la Russia sono interrotti, mentre rimane aperto un canale di ascolto con il JINR di Dubna.

## 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. Ad oggi 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), 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) e KM3NeT (telescopio per neutrini di altissima energia localizzato nel Mediterraneo e che vedono i laboratori del Sud dell'INFN e la stazione a terra a Capo Passero 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).

Dal 2021, l'Italia, rappresentata da INFN e CNR, insieme a Repubblica Ceca, Ungheria e Lituania, è membro fondatore di ELI ERIC, con Germania e Bulgaria nel ruolo di "founding observers". L'INFN svolge un ruolo di rilievo nelle attività di ricerca dell'infrastruttura distribuita con i Laboratori Nazionali del Sud per la realizzazione della beamline ELIMED (ELI-Beamlines MEDical and Multidisciplinary applications) e con i Laboratori Nazionali di Frascati per la fornitura della sorgente gamma ad elevata brillantezza.

Il contenzioso del progetto ELI, che lo ha fermato dal 2016, si è concluso con un accordo transattivo tra l'istituto rumeno IFIN e il consorzio EuroGammaS, che vede il rimborso delle fidejussioni all'INFN e ai partners. Grazie a questo evento, INFN ed IFIN si sono accordati per installare a Magurele la prima parte dell'acceleratore ELI (Stage 1) che era stato già consegnato prima dell'inizio del contenzioso.

A dicembre 2024, l'INFN è entrata ufficialmente a far parte dell'infrastruttura di ricerca ACTRIS ERIC (Aerosols, Clouds and Trace Gases), un'iniziativa paneuropea inclusa già dal 2016 nella roadmap di ESFRI, che coordina le osservazioni e la ricerca scientifica europea su aerosol, nubi e gas in traccia. Scopo dell'infrastruttura è quello di fornire strumenti per affrontare le sfide socioeconomiche presenti e future legate alla qualità dell'aria, al cambiamento climatico e alla protezione dai rischi ambientali.

ACTRIS ERIC è costituita da otto Central Facilities e da una vasta rete di osservatori e piattaforme per la ricerca sull'atmosfera, dette National Facilities, distribuite in 22 paesi europei. L'INFN contribuisce ad ACTRIS ERIC

nell'ambito di una Central Facility, ovvero il Topical Centre for Aerosol In Situ measurements – European Centre for Aerosol Calibration (CAIS-ECAC), tramite il laboratorio LABEC della Sezione di Firenze, e con una National Facility corrispondente alla camera di simulazione atmosferica Chambre presso la Sezione di Genova.

Per quanto riguarda ESS, il progetto prevede di portare il fascio su targhetta entro la fine del 2025, in forte ritardo rispetto al progetto iniziale. Questa data è ormai stabile da oltre un anno e denota che l'organizzazione ha risolto notevoli carenze manageriali. La prima fisica con neutroni, utilizzando circa metà dei 15 strumenti previsti, avverrà a partire dal 2027. Le attività di macchina in carico all'INFN sono completamente concluse, senza sfioramento di budget o di tempistica. I primi fasci sono stati immessi nella parte iniziale del linac, di responsabilità INFN. Nel frattempo, l'INFN, come Representing Entity, si sta occupando di gestire le gare relative agli strumenti di responsabilità del CNR, T-REX e VESPA, la cui installazione ad oggi è prevista essere realizzata entro il 2027.

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.

Più recentemente l'ente, in partenariato con numerosi Istituti di ricerca europei, sta finalizzando i documenti fondativi di una associazione internazionale no-profit (AISBL) basata sulla legislazione belga per il progetto KM3NeT con sede legale a Bruxelles.

Analogamente, la costituzione di una AISBL è prevista per il progetto 4CH (Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage), un centro di competenza coordinato dall'INFN e lanciato nel 2021 a supporto di istituzioni e professionisti impegnati nella conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale europeo, che utilizza le tecnologie digitali più innovative attualmente disponibili mettendo a sistema le risorse di molti centri e istituti europei.

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, costituitosi nel 2014 in una società di diritto privato tedesco, è ufficialmente diventato un ERIC a gennaio 2025 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 l'ambito europeo, cui l'istituto sta rivolgendo l'attenzione con lo scopo di garantire una comoda sostenibilità in particolare alle infrastrutture di ricerca realizzate o potenziate attraverso i fondi del PNRR, è stato

riattivato l'ufficio di Bruxelles per advocacy e stretto dialogo e collaborazione con i responsabili degli uffici della Commissione e del Parlamento europeo e con le commissioni ed i parlamentari stessi. Per guidare e supervisionare quest'attività il Presidente ha incaricato due membri della Giunta Esecutiva e il Direttore generale e per supportare le attività, ha costituito un gruppo di lavoro composto in modo da coprire tutte le tematiche scientifiche di interesse.

La Direzione Servizi per la Ricerca ha inoltre realizzato e mantiene costantemente aggiornato un portale intranet (INFN Progetti) volto a dare informazione e supporto alla partecipazione ai principali bandi nazionali ed europei ed organizzato con diversi percorsi di lettura a seconda dell'utilizzatore in quel momento (ricercatore che intende partecipare ad un bando o che ha acquisito un finanziamento o ancora, che lo deve rendicontare).

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. La partecipazione dei ricercatori INFN alle call si è concentrata sugli Starting grant con un crescente numero di successi ma si segnala anche l'aggiudicazione di un Sinergy nel campo delle onde gravitazionali a testimoniare il crescente interesse e importanza di questo campo di ricerca per l'Istituto.

È da segnalare poi un'importante partecipazione ai bandi PRIN e quelli del Fondo Italiano per la scienza nelle loro diverse edizioni.

### INFN EU funded projects dashboard

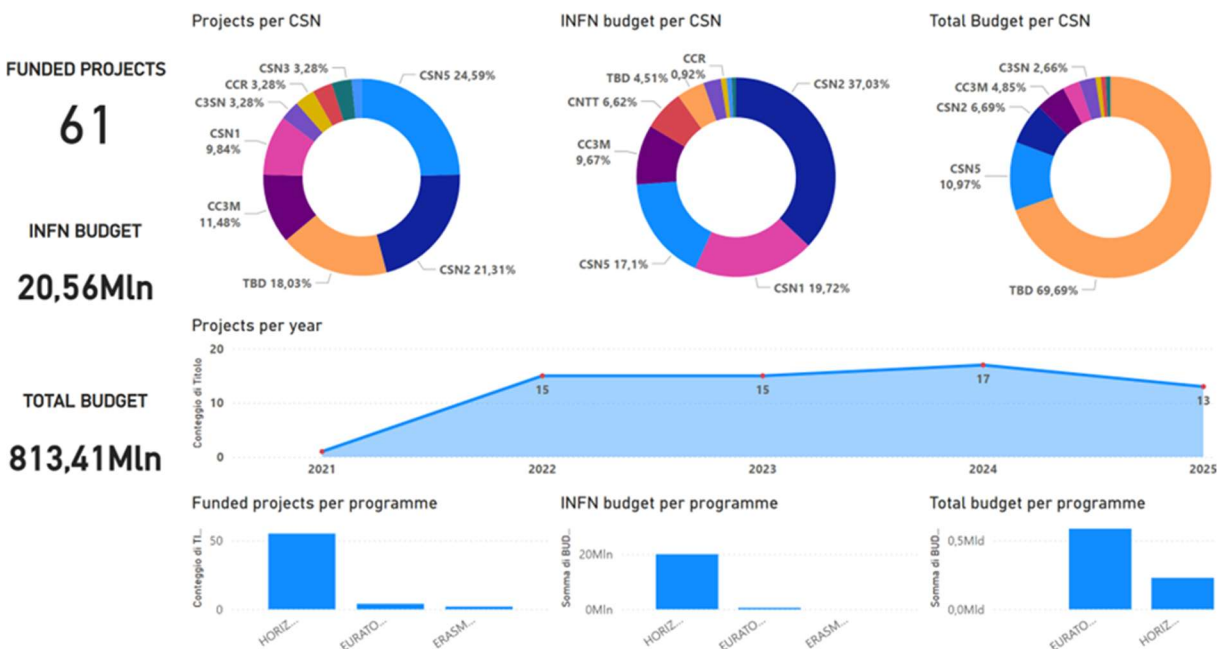


Figura 7.2 Distribuzione temporale dei progetti finanziati dalla Unione Europea

#### 7.4 INFN-E

Il progetto strategico INFN-E ha come fine lo sviluppo di competenze e strumentazioni nel settore delle applicazioni all'energia nucleare in senso ampio, promuovendo collaborazioni con soggetti esterni anche industriali e la partecipazione a progetti europei nel settore.

Si sono conclusi recentemente i progetti europei PREDIS e CLEANDEM per lo sviluppo di strumentazione dedicata al monitoraggio dei rifiuti radioattivi. La tecnologia sviluppata per CLEANDEM è stata poi estesa nell'ambito dell'Ecosistema dell'Innovazione RAISE con il sotto-progetto ROSSINI per la sorveglianza radiologica in ambito navale e portuale. Inoltre, è stato costituito il primo nucleo di sezioni pilota partecipanti all'iniziativa Eyerad per la creazione di una rete di monitoraggio ambientale delle radiazioni.

L'INFN è socio della Scarl DTT per la realizzazione a Frascati della macchina sperimentale per la fusione Divertor Tokamak Test, nell'ambito della quale vengono portate avanti varie attività di ricerca e sviluppo. Inoltre, l'INFN partecipa all'attività preparatoria del progetto DONES, finalizzato alla costruzione di una sorgente intensa di neutroni per i test di materiali fusionistici, per il quale l'INFN sviluppa importanti componenti dell'acceleratore. L'attività di ricerca e sviluppo per DONES è portata avanti dall'INFN anche nel Consorzio Eurofusion2, oltre ad attività sulle diagnostiche per DTT e misure nucleari relative alle schermature per DEMO, il successore di ITER.

Nel febbraio 2024 si è svolto ai LNS il convegno congiunto INFN-E/INFN-A "Transizione energetica e sviluppi tecnologici: a che punto siamo?", con la partecipazione di relatori da INFN, ENEA, RSE e Politecnico di Milano. Inoltre, l'INFN ha partecipazione alla Piattaforma Nazionale sul Nucleare Sostenibile lanciata dal MASE.

Infine, sono in corso interlocuzioni con ENI S.p.A. per la stesura di accordi di collaborazione in ambito fusione e tecnologie sottomarine.



## 8. I progetti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

### 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 sperimentali 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 superconduttività (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, ha come obiettivo il rafforzamento e il rinnovamento delle infrastrutture dei LNGS per consolidarne la competitività nello scenario internazionale nelle decadi a venire. Già oggi i LNGS rappresentano il più grande e più attrattivo laboratorio sotterraneo a livello mondiale. Il successo dei LNGS è cresciuto negli anni grazie alla capacità di offrire, oltre all'ambiente sotterraneo in una *location* facilmente accessibile e con spazi adatti a grandi installazioni sperimentali, un insieme di servizi, infrastrutture e supporto scientifico di eccellenza agli esperimenti (dalla meccanica, all'elettronica, alla selezione di materiali radiopuri, alla chimica analitica e al calcolo scientifico). Il progetto LNGS-FUTURE si innesta in questa tradizione puntando all'ammodernamento delle infrastrutture e all'innovazione scientifica e tecnologia ponendo le basi del nuovo Laboratorio di Criogenia Avanzata che garantirà un

supporto sempre più necessario alla nuova generazione di esperimenti ad altissima sensibilità, quali i più importanti esperimenti dedicati allo studio della natura del neutrino e alla ricerca della materia oscura.

Tutte le gare relative al progetto e necessarie per questi interventi sono state avviate, con l'obiettivo di arrivare all'affidamento della maggior parte di queste entro il 2023. La fase progettuale di tutti gli interventi infrastrutturali è completata e le maggiori forniture ad altissimo contenuto tecnologico (refrigeratori a diluizione, teste fredde tipo pulse tubes e liquefattore di elio) sono in fase di assegnazione a qualificati fornitori internazionali. Nel corso del 2024, una volta arrivati alla stipula dei contratti, si procederà con la realizzazione ed il completamento delle varie parti del progetto per poter usufruire quanto prima di tutte le nuove installazioni.

ETIC – Einstein Telescope Infrastructure Consortium. ETIC è lo strumento chiave per la candidatura italiana ad ospitare in Sardegna il futuro osservatorio di onde gravitazionali Einstein Telescope (ET). ET, grazie al suo disegno avanzato e alle tecnologie di frontiera che saranno utilizzate, permetterà di osservare la gran parte delle 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. ETIC è coordinato dall'INFN e vede la partecipazione di ASI, INAF e di 11 università italiane per un totale di 27 Unità Operative distribuite in tutta Italia.

ETIC ha due obiettivi principali, (1) la realizzazione dello studio di prefattibilità di ET in Sardegna, nell'area della miniera di Sos Enattos (NU), e (2) la realizzazione di una rete di infrastrutture per lo sviluppo delle tecnologie abilitanti di ET, ospitate nei laboratori dell'INFN e dei partners. Per il primo obiettivo, è in corso un contratto, dal valore di più di 12 M€, con un consorzio, risultato vincitore della gara di appalto, composto da aziende italiane, leader nella progettazione di complesse infrastrutture civili. Grazie a questo contratto sono in corso i sondaggi, gli studi geologici, geotecnici, ingegneristici, ambientali e autorizzativi per partecipare alla competizione internazionale per ospitare l'infrastruttura di ET. I risultati di questo studio saranno disponibili entro la fine del 2025 e saranno strutturati sotto forma di proposta da un gruppo (TETI-Team per ET in Italia) composto da ricercatori e tecnologi INFN, INAF, INGV e delle università italiane partecipanti

In questo contesto è in corso la progettazione di un laboratorio congiunto INFN-INAf e INGV da realizzarsi a Sos Enattos, pietra angolare della grande infrastruttura di ET.

Per il secondo obiettivo, i contratti assegnati per la realizzazione della rete di laboratori presso le sezioni INFN interessate sono tutti in corso e porteranno entro il 2025 al sostanziale completamento delle infrastrutture promesse.

EuAPS – EuPRAXIA Advanced Photon Sources. Il progetto EuAPS, di cui l'INFN è ente capofila, è guidato dai Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) in collaborazione con i Laboratori Nazionali del Sud (LNS), l'Università di Tor Vergata e l'Istituto CNR-INO di Pisa. Il suo scopo è installare una "laser-driven betatron X-ray facility" presso la facility SPARC\_LAB dei LNF, e promuovere lo sviluppo di sorgenti laser ad alta potenza (fino a 1 PW) e alta frequenza di ripetizione (fino a 100 Hz) nei siti dei partner, per offrire una piattaforma per sviluppi industriali avanzati basati su laser ultraveloci.

Il progetto è iniziato ufficialmente nel dicembre 2022 ed i fondi destinati alla strumentazione scientifica, costruzioni civili e contratti per il personale, per una frazione del 92% del totale è stato impegnato entro la fine del 2023. A partire dall'inizio del 2024 sono iniziate presso i LNF le installazioni della linea di betatrone il cui *commissioning* avverrà nel 2025.

KM3Net4RR – KM3 *Neutrino Telescope for Recovery and Resilience*. Il progetto KM3net4RR, di cui l'INFN è sia proponente sia capofila, ha finanziato 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 sta permettendo 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. L'INFN si sta così dotando di nuovi laboratori e del personale necessario all'ampliamento, costruzione e installazione della rete di fondo e dei sistemi di rivelazione sottomarini. Nel rispetto del programma temporale del progetto e delle stringenti regole dello stesso, KM3NeT4RR ha nel suo complesso già reclutato la totalità del personale previsto ed aggiudicato la totalità delle procedure amministrative, raggiungendo l'obiettivo del completo utilizzo del finanziamento assegnato.

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, per sviluppare le tecnologie superconduttive 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. Il progetto ha come centro operativo il laboratorio LASA (presso la sezione INFN di Milano) come infrastruttura di ricerca di interesse nazionale; gli altri poli INFN sono Genova, LNF e Salerno (sezione INFN di Napoli). Oltre all'INFN, il progetto prevede la partecipazione, delle Università di Milano, Genova, Napoli, Salerno e del Salento, oltre al CNR-SPIN (a Genova, Napoli e Salerno). 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. Presso il LASA verrà costruito un edificio che ospiterà il *Superconducting Magnet Laboratory*, per sostenere lo sviluppo di magneti ad alto campo e/o basso consumo energetico per Fisica fondamentale, Fisica medica e Energie sostenibili (Fusione, generatori eolici, ecc.)

Il progetto ha iniziato la sua attività a inizio 2023, occupandosi delle acquisizioni del contratto per il magnete superconduttore HTS cryogen-free (per il polo di Genova) e per la linea "verde" (quasi zero consumo) da 1 GW di potenza. Diverse altre apparecchiature nei vari laboratori sono state acquisite e sono in corso di installazione o collaudo. Le infrastrutture civili al LASA e Salerno sono in corso di costruzione. La formazione del personale assunto è a buon punto (con 150 person-day di corsi già effettuate) e si sta preparando il passaggio alla fase di operatività post-PNRR.

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 gestita dall'INFN su più siti sul territorio nazionale in grado di gestire risorse di calcolo ad alte prestazioni, big data e applicazioni di intelligenza artificiale.

Nel corso del 2024 tutte le gare previste sono state aggiudicate e sono in fase di completamento.

GARR ha completato le gare per i collegamenti in fibra o spettro ottico dedicato nelle isole sud e in particolare per la Sardegna, con capacità potenziali sino a vari Terabit per secondo. Il potenziamento è coerente con l'architettura di GARR-T a livello nazionale che include gli interventi finanziati da ICSC per la rete nel centro-sud e i fondi istituzionali di GARR per il centro-nord.

CINECA ha aggiudicato la gara per PRACE-Italy, per il potenziamento a Tier 1 del nodo ospitato al CINECA, sviluppando un'architettura ibrida e collegandolo agli altri centri Exascale di EuroHPC come Leonardo, parte di ICSC. Il materiale è in fase di consegna.

INFN ha completato le gare per il potenziamento di HPC-BD-AI con l'acquisizione di sistemi HPC ibridi fra CPU e GPU e FPGA e di potenza intermedia fra la macchina singola del ricercatore e PRACE-Italy. Tali sistemi sono in fase di configurazione e definiscono "bubble HPC", che possano essere distribuite, più vicina all'edge ed all'utente.

L'attività prevede inoltre di creare una più stretta federazione fra le infrastrutture e con ICSC, e un sistema d'accesso e un workflow che renderà più accessibile il calcolo HPC da parte di tutta la comunità della ricerca nazionale e con ricadute sul territorio e sull'industria. Le tecnologie per l'accesso, l'utilizzo e i servizi associati del sistema integrato di TeRABIT sono 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. Attualmente è in corso di avanzata realizzazione uno *use case* proposto da OGS sull'analisi in tempo reale dell'effetto di terremoti nella zona del Friuli Venezia-Giulia. Lo *use case* prevede di utilizzare sia nodi HPC delocalizzati e situati eventualmente vicino all'utenza, sia sistemi centrali ad alte prestazioni. Come PRACE-Italy.

In altri programmi relativi alle infrastrutture di ricerca, come ITINERIS e EBRAINS, c'è una forte collaborazione con il CNR, mentre in CTA+ la collaborazione è con l'INAF.

ITINERIS è il progetto di ricerca, che nell'ambito del PNRR, realizzerà l'"hub" Italiano per le Infrastrutture di Ricerca finalizzate all'osservazione e studio dei processi ambientali nell'atmosfera, nel dominio marino, nella biosfera terrestre e nella geosfera. ITINERIS fornirà accesso a dati e servizi e supportando il Paese nell'affrontare le sfide scientifiche connesse ai fenomeni ambientali. L'INFN partecipa ad ITINERIS con 4 Unità Operative partner delle infrastrutture ACTRIS/LABEC (Sezioni di Firenze e Genova, atmosfera), LIFEWATCH (Sezione di Bari, biosfera) e LNS (dominio marino).

Nel progetto EBRAINS-Italy PNRR, INFN guida lo sviluppo del sistema Cobrawap (Collaborative Brain Waves Analysis Pipeline), che sarà offerto dalla infrastruttura di ricerca europea integrata EBRAINS e, nel sinergico Spoke 10 del progetto PNRR FAIR (Future Artificial Intelligence Research), INFN guida lo sviluppo di reti neurali per intelligenza artificiale basati sui meccanismi in azione nel cervello, capaci di apprendimento e creatività grazie alle funzioni cognitive essenziali dei cicli sonno/veglia.

CTA+ è un programma finanziato dal Programma Nazionale di Resistenza e Resilienza (PNRR) volto a fornire un completamento alla più grande Infrastruttura di Ricerca dedicata allo studio del cielo ad altissime energie e tra le IR a più alta priorità nazionale: il Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO), l'Osservatorio per astronomia gamma da terra, attualmente in fase di costruzione. In particolare, CTA+ costruirà 2 Large-Size Telescope-LST e 5 Small-Size Telescope-SST da posizionare nel sito di CTA-Sud in Cile, per avvicinare l'attuale "Configurazione Alpha", approvata per motivi finanziari, alla configurazione originale prevista. CTA+ è coordinato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) in collaborazione con l'INFN, le Università degli Studi di Bologna, Bari, Siena e Palermo e con il Politecnico di Bari. L'INFN coordina l'attività di ricerca e sviluppo delle tecnologie da adottare negli upgrade futuri.

Tutti questi progetti dedicati alla realizzazione di infrastrutture, ad eccezione di EBRAINS, hanno richiesto ed ottenuto un prolungamento di 6 mesi.

Nome progetto	Tipo	Istituzione leader	Valore progetto (M€)	Budget gestito INFN (M€)	Budget INFN (M€)
ICSC	Centro Nazionale	Fondazione ICSC	320.0	320.0	56.5
KM3NeT4RR	Infrastruttura	INFN	67.2	67.2	59.3
IRIS	Infrastruttura	INFN	60.0	60.0	39.5
ETIC	Infrastruttura	INFN	50.0	50.0	33.9
TeRABIT	Infrastruttura	INFN	41.0	41.0	31.3
LNGS-FUTURE	Infrastruttura	INFN	20.1	20.1	19.6
EuAPS	Infrastruttura	INFN	22.3	22.3	14.9
CTA+	Infrastruttura	INAF	71.5	12.6	12.7
ITINERIS	Infrastruttura	CNR	155.2	5.1	5.1
EBRAINS-Italy	Infrastruttura	CNR	22.4	0.4	0.4
SAMOTHRACE	Ecosistema	SICILIA – Università degli studi di Catania	119.0	6.6	6.6
ROME TECHNOPOLE	Ecosistema	LAZIO – Università degli Studi di Roma La Sapienza	110.0	2.9	2.9
THE-TUSCANY HEALTH	Ecosistema	TOSCANA – Università degli Studi di Firenze	110.0	0.5	0.5
RAISE	Ecosistema	LIGURIA – Università degli Studi di Genova	110.0	0.4	0.4
ECOSISTER	Ecosistema	EMILIA-ROMAGNA – Università di	110.0	0.5	0.5
PE4-NQSTI	Partnership	Università degli Studi di Camerino	116.0	6.4	6.4
PE1-FAIR	Partnership	CNR	114.5	1.6	1.6

Anthem	MUR Salute	Università degli Studi di Milano-Bicocca	123.5	12.4	12.4
Dare	MUR Salute	Università di Bologna	124.0	3.5	3.5
<b>TOTALE</b>			<b>1866.7</b>	<b>633.5</b>	<b>308.0</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).

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).

Complessivamente, L'INFN gestisce fondi pari a 633.5 M€ negli anni 2023-2025, durata prevista ad oggi dei programmi del PNRR.

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

L'impegno INFN previsto dai progetti per le procedure di acquisto è pari a 248.0 M€, ad oggi (dicembre 2024) sono state aggiudicate gare per un importo pari all'88% dell'impegno previsto permettendo di rispettare le condizioni del PNRR

## 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.
- Portfolio 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.

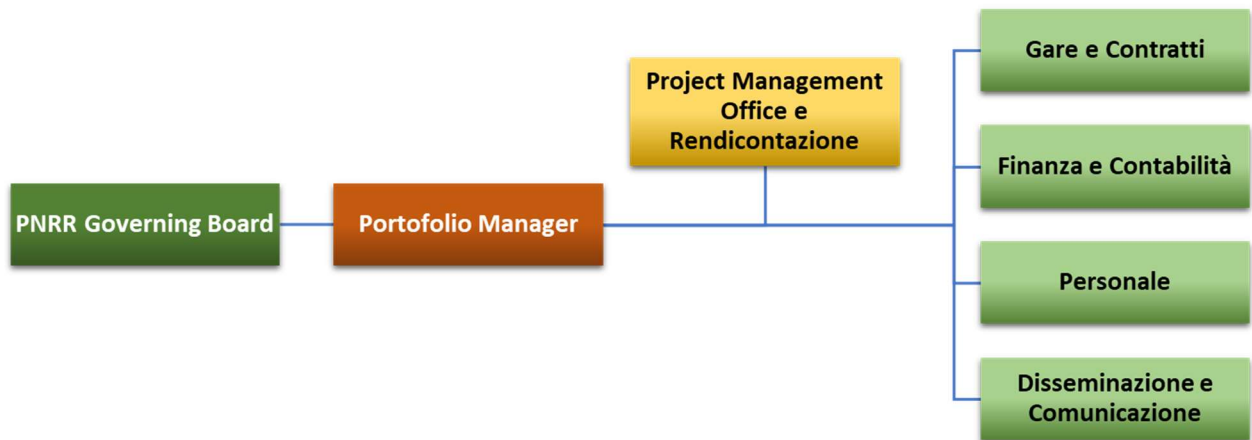


Figura 8.1 Struttura temporanea di governance dei progetti PNRR

L'INFN si è anche dotato di uno strumento informatico di pianificazione e di monitoraggio dello stato di avanzamento dei progetti PNRR, il quale, raccogliendo le informazioni dalle amministrazioni coinvolte nel progetto, fornisce uno stato aggiornato del progresso di spesa di tutte le attività dei progetti infrastrutturali, il raggiungimento delle milestones e dei deliverables. In Figura 8.2 è riportato il portale di ingresso con una sintesi delle attività di acquisto previste.

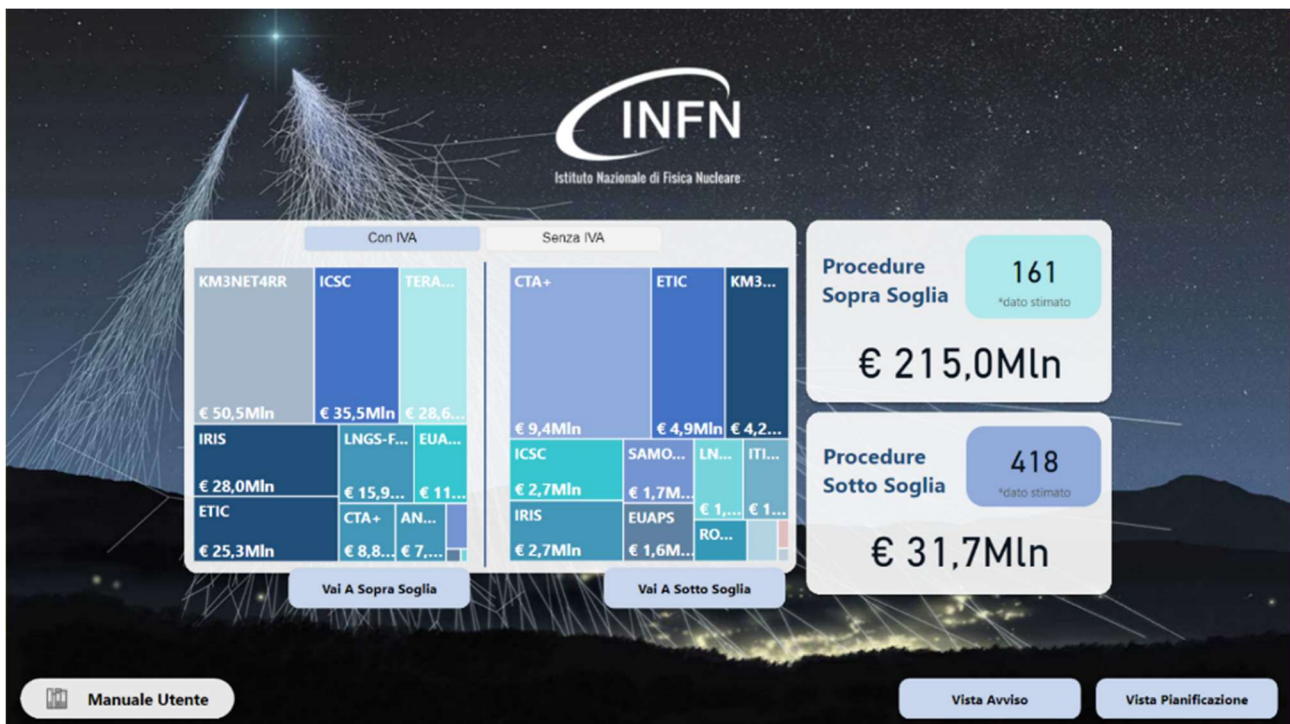


Figura 8.2 Portale di ingresso al monitoraggio delle gare PNRR



## 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 M€ 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 Istituti di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS) 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 Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, 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 i 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 consortili, tutte aventi il ruolo di HUB ovvero di soggetti attuatori dei vari progetti.

Nel mese di luglio 2023, l'INFN ha aderito alla società consortile National Quantum Science and Technology Institute – NQSTI scarl, quale soggetto attuatore sempre a valere su un progetto PNRR di interesse istituzionale per l'Istituto.

Di seguito una tabella riassuntiva recante l'elenco degli HUB a valere sui progetti PNRR 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.

Fondazioni (progetti PNRR)	Quota ingresso
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

Società consortili a resp. Limitata-scarl (progetti PNRR)	Quota ingresso
National Biodiversity Future Center NBFC scarl (Palermo)	8.000
Tuscany Health Ecosystem -THE scarl (Firenze)	10.000
National Quantum Science and Technology Institute – NQSTI scarl	10.000

In data 1° giugno 2024, l'INFN ha aderito alla costituzione della società consortile "SPACE IT UP" scarl, società senza scopo di lucro, con sede a Torino, a partecipazione pubblico-privata, avente la finalità di realizzare il Partenariato esteso a valere sul bando di finanziamento ASI relativo al Programma di ricerca e Innovazione "SPACE IT UP".

Sempre nel corso dell'anno 2024, l'INFN ha proceduto alla dismissione della propria partecipazione detenuta nella

società “DHITECH” scarl. L’operazione è consistita nell’alienazione della quota detenuta nel capitale sociale di “DHITECH” scarl , in parti frazionate, a tre soggetti giuridici diversi: la società Corvallis srl, l’Istituto Europeo di Oncologia srl (IEO) ed il Centro Cardiologico Monzino (MONZINO).



## 10. Le attività di terza missione e alta formazione

Le attività di ricerca di frontiera condotte dall'INFN hanno un impatto significativo sul progresso della conoscenza, sullo sviluppo tecnologico e sull'economia del Paese. L'Istituto, consapevole di questo ruolo e dell'importanza che le attività di valorizzazione economica e culturale del sapere hanno per la società, è sempre più impegnato nella Terza Missione (3M), ovvero il Trasferimento Tecnologico (TT), l'alta formazione, la diffusione della cultura scientifica e il Public Engagement (PE).

### 10.1 Comunicazione e Public Engagement

L'INFN svolge un ruolo importante nella comunicazione della fisica a livello internazionale, nazionale e locale, proponendosi come fonte di informazione affidabile, promuovendo la condivisione sui media delle proprie attività scientifiche e tecnologiche, e progettando e realizzando iniziative per la diffusione e la promozione della cultura scientifica, sia per il grande pubblico, sia per target specifici. L'INFN implementa e sperimenta nuove forme di coinvolgimento del pubblico, valorizzando il ruolo della ricerca scientifica nella produzione di cultura e il rapporto fondamentale tra la comunità di ricerca in fisica, la società nelle sue diverse componenti e le altre aree del sapere. L'Istituto contribuisce inoltre alla formazione degli studenti e delle studentesse delle scuole superiori attraverso borse di studio, stage, corsi di formazione per insegnanti e progetti scuola-lavoro.

La strategia di comunicazione dell'INFN è definita dal management (Presidente, Giunta Esecutiva e Consiglio Direttivo), in collaborazione con l'Ufficio Comunicazione (UC) che è l'attore centrale nella pianificazione, nel coordinamento e nella realizzazione delle iniziative di comunicazione e coinvolgimento pubblico a livello nazionale e internazionale.

La strategia di comunicazione per il coinvolgimento pubblico è poi condivisa e attuata in stretta collaborazione con il CC3M, il Comitato di Coordinamento della Terza Missione, che coordina, supporta e valorizza le attività nazionali promosse dalle strutture presenti sul territorio (Sezioni e Laboratori Nazionali). Le attività nazionali sono diffuse su tutto il territorio e possono essere suddivise in due categorie principali: formazione per insegnanti e progetti per studenti. Queste attività si basano su temi scientifici e vengono realizzate in collaborazione con università e centri scientifici.

L'UC rappresenta l'INFN nelle reti internazionali di comunicazione e gestisce la comunicazione istituzionale, le attività di ufficio stampa, la comunicazione social, la produzione di materiale grafico e video, i prodotti editoriali, la rivista istituzionale e la newsletter mensile, la formazione interna in materia di comunicazione, le attività centrali nazionali di coinvolgimento pubblico, come grandi mostre, eventi pubblici di rilievo, la cura dei rapporti con le realtà culturali sul territorio nazionale e con la scuola. L'UC offre inoltre supporto alle attività di comunicazione del CC3M e alle iniziative di comunicazione locali.

#### 10.1.1 Obiettivi per il triennio 2025-2027

La Terza Missione sta assumendo un ruolo sempre più centrale sia negli enti di ricerca sia nelle università e l'INFN ha quindi deciso di rafforzare questo settore per quanto riguarda sia la comunicazione istituzionale e verso i media, sia il public engagement.

Nell'ottica di perseguire una strategia sempre più orientata al public engagement, basata quindi sull'interazione multidirezionale tra il pubblico nelle sue diverse componenti e la comunità INFN, l'Ufficio Comunicazione e il Comitato

CC3M programmano iniziative capaci di coniugare gli obiettivi di comunicazione dell'immagine dell'INFN, che favorisca una percezione positiva della scienza e della ricerca, a un coinvolgimento sempre più attivo del pubblico. Questo processo prevede il rafforzamento delle relazioni e le sinergie interne alla comunità, tra comunicatori, ricercatori, tecnologi, tecnici e amministrativi impegnati in iniziative di valorizzazione della conoscenza, la messa in campo di un ampio spettro di iniziative collaborative con diversi partner e il coinvolgimento di un pubblico sempre più vasto e diversificato.

Gli obiettivi principali della strategia di comunicazione e public engagement per i prossimi tre anni (2025-2027) possono essere così riassunti:

- Promuovere la conoscenza di idee, storia, metodi e processi della ricerca e della scienza come strumento per favorire la formazione di senso critico tra i cittadini e le cittadine, e per contrastare la diffusione della disinformazione;
- Promuovere verso l'interno lo spirito di comunità INFN e verso l'esterno l'immagine pubblica dell'Istituto;
- Promuovere temi e progetti di punta dell'INFN, come la candidatura italiana per Einstein Telescope;
- Produrre occasioni di grande visibilità per l'ente e i contenuti della ricerca, attraverso iniziative di coinvolgimento attivo del pubblico, quali mostre, eventi su temi strategici, conferenze-spettacolo a carattere interdisciplinare e interculturale, per un pubblico ampio e diversificato;
- Condividere i contenuti prodotti (mostre, eventi, aggiornamento docenti, progetti studenti) attraverso campagne social e produzione editoriale sui siti web istituzionali;
- Incentivare l'offerta di iniziative di aggiornamento per i docenti;
- Approfondire la sperimentazione di metodologie educative in rapporto con le scuole (Debate, Inquiry-Based Learning (IBL), Big Ideas, Hands-On-Physics);
- Contribuire sempre più incisivamente al raggiungimento della parità di genere nelle materie STEM, con progetti che coinvolgano la scuola, a partire dalla primaria;
- Proporre e coordinare corsi di formazione interna dei dipendenti in materia di comunicazione e public engagement, con cadenza annuale.

### **Canali e strumenti di comunicazione e public engagement**

L'UC implementa una strategia di comunicazione incentrata sui valori e sulle specificità che qualificano l'INFN: la diversità e la cooperazione che caratterizzano la comunità di ricerca INFN, l'autorevolezza riconosciuta a livello nazionale e internazionale, la capacità di ottenere e mantenere ruoli manageriali di altissimo profilo, l'eccellenza nel promuovere e gestire efficacemente infrastrutture complesse e grandi progetti. L'INFN rappresenta inoltre un'importante risorsa per il Paese anche per la sua capacità di produrre innovazione tecnologica e per l'impatto economico della ricerca di base in fisica, uno dei settori di punta della cosiddetta big science. Il coinvolgimento di pubblici diversi avviene attraverso la diversificazione dei linguaggi, degli strumenti e dei canali di comunicazione e la realizzazione di progetti dedicati. Per quanto riguarda il tema dell'informazione, l'UC rappresenta ormai da anni una fonte affidabile e tempestiva per i media, tanto che l'INFN è diventato un punto di riferimento per le giornaliste e i giornalisti scientifici italiani. Ai canali istituzionali per la stampa e per il largo pubblico, si affiancano canali dedicati a pubblici specifici come il mondo della scuola, gli stakeholders politico-istituzionali, il pubblico declinato nelle sue diverse componenti e in un ampio spettro di interessi.

	Canali e strumenti	Pubblico	Focus 2024
1	Ufficio stampa e comunicazione istituzionale	Media/Stakeholders/ Comunità INFN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produzione e diffusione di notizie e comunicati stampa ai media attività, progetti, risultati INFN</li> <li>- Promozione candidatura italiana Einstein Telescope</li> <li>- Organizzazione e promozione conferenza MUR-INFN "G7 Conference on Large Research Infrastructures"</li> <li>- Organizzazione e promozione evento nuovo data center CNAF al Tecnopolo Bologna</li> </ul>
2	Sito istituzionale dell'INFN	Media/Stakeholders/Comunità INFN /Pubblico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Progettazione e produzione nuovo sito web istituzionale INFN e declinazioni locali (lancio sito nel 2025)</li> </ul>
3	Sito culturale "Collisioni"	Pubblico/Scuola/Comunità INFN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approfondimenti su meccanica quantistica, calcolo, 70 anni cern, virgo e onde gravitazionali, letteratura, arte e scienza</li> <li>- Schede eventi su meccanica quantistica, calcolo, 70 anni Cern, partecipazioni a Festival</li> <li>- Schede e news su progetti per la scuola</li> <li>- Programma di aggiornamento del sito e adeguamento al nuovo sito istituzionale INFN</li> </ul>
4	Social media	Pubblico/Scuola/Media/Comunità INFN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorizzazione comunicazione istituzionale (notizie/comunicati) e prodotti editoriali (Asimmetrie e Collisioni.Infn)</li> <li>- Produzione e diffusione di materiale multimediale</li> </ul>

			<p>relativo ad attività di interesse INFN (video e reel)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ideazione e partecipazione a campagne social per: mostra Quanto, eventi e festival, #CERN70, Einstein Telescope, #WomenInScience, Dark Matter Day</li> </ul>
5	Newsletter mensile	Comunità INFN/Stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Attualità</li> </ul>
6	Podcast e dirette streaming	Pubblico/Scuola	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podcast sugli eventi: 70 anni CERN e "Quanto è quantistico il cosmo".</li> <li>- n.4 eventi streaming su Meccanica Quantistica</li> </ul>
7	Rivista Asimmetrie, sito, app	Scuola/Pubblico/Comunità INFN (42000 copie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- n.2 monografie: Materia/Vuoto</li> <li>- Progetto di revisione sito web</li> </ul>
8	Mostre e installazioni	Pubblico/Scuola	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mostra sulla meccanica quantistica "Quanto. La rivoluzione in un salto", MUSE Trento (eventi coll.)</li> <li>- Realizzazione installazione itinerante "Dal sole all'atomo"</li> <li>- Contribuiti all'allestimento dell'area "onde gravitazionali" al museo InfiniTO di Torino</li> </ul>
9	Eventi	Pubblico/Scuola	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Focus su meccanica quantistica, calcolo e AI, 70 anni CERN, onde gravitazionali</li> </ul>
10	Progetti per/con la scuola	Scuola	<ul style="list-style-type: none"> <li>- n. 16 progetti CC3M; dirette streaming; laboratori didattici (complessità/ fisica delle particelle) per i festival di Genova e Roma; progetto HOP per docenti</li> </ul>

Tabella 10.1: Progetti, canali e strumenti di comunicazione e public engagement 2024

**Comunicazione istituzionale, media, social e visiva**

L'UC progetta, coordina e gestisce le attività di comunicazione istituzionale, di ufficio stampa e di relazione con i media dell'Istituto, a livello nazionale e internazionale, anche in collaborazione con altre istituzioni, politiche e scientifiche, italiane ed estere. In particolare, redige comunicati stampa, notizie, approfondimenti, monitora ed elabora la rassegna stampa quotidiana, pubblica la newsletter mensile, si occupa della redazione e della gestione del sito istituzionale dell'INFN [www.infn.it](http://www.infn.it). Gestisce gli account istituzionali dell'INFN sui canali Facebook, Instagram, LinkedIn, X, YouTube. L'UC cura, inoltre, la comunicazione visiva e l'immagine coordinata dell'Istituto, e realizza materiale grafico e multimediale per eventi, pubblicazioni, progetti editoriali e prodotti di comunicazione.

	Attività di Ufficio Stampa	Numeri
1	Comunicati stampa	63
2	News	71
3	Citazioni INFN su testate cartacee e online	6714
4	Citazioni INFN su testate radio e TV	212

Tabella 10.2: Attività di ufficio stampa 2024

	Social Media	Follower	Copertura	Post
1	Facebook	58.420	929.495	436
2	Instagram	21.441	273.206	221 post e 500 storie
3	Linkedin	30.878	1.285.497	290
4	YouTube	11.026	214.442	35
5	X	16.514	-	-

Tabella 10.3: Numero di follower e la copertura dei canali social INFN nel 2024

**Mostre, installazioni, eventi e spettacoli**

La sperimentazione di diversi linguaggi per comunicare la scienza ai diversi pubblici ha portato l'Ufficio Comunicazione a realizzare format innovativi per eventi pubblici, in cui le arti performative si intrecciano con la narrazione della scienza. L'INFN partecipa al comitato editoriale del Festival delle Scienze di Roma e del Festival della Scienza di Genova e, in sinergia tra UC e comunità CC3M, contribuisce a Festival e Fiere tematiche con progetti e presentazioni per la scuola e il largo pubblico.

Oltre all'intenso coinvolgimento nei festival scientifici, l'UC progetta e realizza eventi per il pubblico in connessione con tematiche strategiche per l'ente e di rilevanza nazionale e internazionale. Strategici per il 2024 sono stati i temi Meccanica Quantistica, Supercalcolo, Intelligenza Artificiale e Quantum Computing, i 70 anni di storia del CERN e il racconto dell'evoluzione del cosmo dedicato alle scuole.

L'impostazione narrativa è protagonista anche nella progettazione di mostre basate sull'immersività e l'interattività, grazie alla collaborazione con video artisti, designer ed esperti di comunicazione visiva. Tra il 2023 e il 2024 questa impostazione ha portato alla realizzazione di "Quanto. La rivoluzione in un salto", una mostra multimediale sulla meccanica quantistica, allestita su 400 metri quadrati al MUSE, il Museo delle Scienze di Trento, che tra il 7 dicembre 2023 al 15 giugno 2024 ha attirato oltre 100.000 persone. Progettata per il grande pubblico, "Quanto" è un percorso narrativo focalizzato sulle idee e percezioni che hanno portato gli scienziati a costruire la teoria che ha cambiato il paradigma con cui osserviamo atomi, particelle e l'intero universo. Ampio spazio è stato dato a elementi immersivi e interattivi per rappresentare concetti o passaggi cruciali, immergendo i visitatori in un ambiente evocativo ed esperienziale. Alcune delle installazioni della mostra hanno conosciuto una seconda vita nell'ambito di altri festival e manifestazioni.

Dal 2024 è iniziato un processo di valutazione d'impatto degli eventi, delle mostre e dei progetti, attraverso la somministrazione ai partecipanti di questionari di valutazione del gradimento e del raggiungimento degli obiettivi.

1	Quanto. La rivoluzione in un salto	Mostra	Trento	semestre	100.000
2	Colori e salti quantici	Exhibit interattivo	Wired Next Fest Rovereto	settimana	n.c.
3	Supercalcolo e Big Data	Conferenza-Spettacolo	Festival della Scienza di Genova	evento	200
4	Quanto è quantistico il Cosmo	Conferenza Spettacolo	Festival della Scienza di Genova	evento	400
5	A un passo dal Big Bang-70 anni CERN	Conferenza Spettacolo	Auditorium Parco della musica	evento	450
6	Scienza 4.0: ricerca e conoscenza nell'era dell'intelligenza artificiale e del QC (G7 ricerca Bologna)	Conferenza Spettacolo	Bologna P. Maggiore – G7 Ricerca	evento	3000
7	L'universo in un quanto	Conferenza Spettacolo	MUSE - Trento	evento	150
8	L'universo in un battito d'ali	Conferenza Spettacolo	Napoli, Art&Science/Festival delle Scienze di Roma	n.2 eventi	1200
9	Dal sole all'atomo (La rivoluzione in un quanto)	Exhibit interattivo multimediale	Festival della Scienza di Genova	settimana	2000

10	Festival Play Modena	Festival	Modena	3 giorni	500
11	Evento Pint of Science	Festival	Italia	7 giorni	1.000
12	Salone del Libro di Torino	Festival	Torino	4 giorni	10.000
13	Festival della Scienza di Genova	Festival	Genova	14 giorni	6.000
14	Festival delle Scienze di Roma	Festival	Roma	settimana	5.000
15	Fiera Didacta Firenze	Festival	Firenze	3 giorni	2.500

*Tabella 10.4: Festival, mostre, eventi e spettacoli dell'INFN (2023-2024). Sfondo bianco mostre, eventi e installazioni; sfondo verde la partecipazione a festival e fiere con laboratori e stand.*

### Progetti del Comitato di Coordinamento della terza missione

Il Comitato della Terza Missione dell'INFN (CC3M) è composto da cinque persone nominate dalla direzione dell'INFN e da una rete di 25 referenti locali (uno per ciascuna struttura INFN), per mantenere un forte legame tra il Comitato Nazionale e le attività locali. I quattro workshop nazionali periodici rappresentano sia un forum per lo scambio di esperienze sia un luogo per stabilire nuove iniziative nazionali o ampliare quelle esistenti. Per politica, il CC3M limita il suo supporto ad attività nazionali o multi-struttura, richiedendo che le proposte abbiano obiettivi chiari, siano legate alle strategie e ai temi di ricerca dell'INFN e affrontino gli obiettivi strategici del CC3M.

- Coinvolgere gli studenti delle scuole superiori nelle discipline STEM, ampliando le attività oltre i licei scientifici e classici.
- Migliorare l'equilibrio di genere nelle discipline STEM.
- Raggiungere gruppi minoritari e scuole rurali.
- Introdurre una valutazione delle attività supportate.
- Aumentare le attività di apprendimento permanente.

Da tempo si è osservata una crescente richiesta da parte del pubblico di avere un contatto diretto con i ricercatori. A tal fine, l'approccio tradizionale top-down alla divulgazione è obsoleto e deve essere sostituito da un dialogo bidirezionale tra il pubblico e la comunità scientifica. Un obiettivo generale del Comitato è sostenere e incoraggiare il coinvolgimento diretto del personale INFN nelle attività di trasferimento della conoscenza. Nel tempo, questo sforzo è riuscito a coinvolgere un gruppo più diversificato di ricercatori nelle azioni di divulgazione. Questo, a sua volta, consente all'Istituto di partecipare a un numero maggiore di attività, spesso in collaborazione con diversi partner, raggiungendo un pubblico più ampio e diversificato.

Ogni anno, le richieste di budget e le nuove proposte vengono presentate tra giugno e luglio; la loro approvazione e il finanziamento vengono discussi in una riunione nazionale all'inizio di ottobre, con rappresentanti, proponenti e revisori. I proponenti e i revisori sono stati istruiti sulle priorità strategiche dell'Istituto, con particolare enfasi sul coinvolgimento di diversi partner.

I progetti nazionali per il 2024-2025, proposti dai dipendenti ed associati INFN ed approvati dalla commissione

sono riportati nella tabella 5.

I progetti CC3M raggiungono un pubblico di circa 60.000 persone l'anno dove circa il 70% sono studenti e docenti mentre il restante 30% è costituito dal pubblico che partecipa ai festival della scienza e alle fiere di nostro interesse come il Salone del libro di Torino e la Fiera Didacta di Firenze.

11 progetti sono rivolti al mondo della scuola e sono finanziati con il 56% del budget annuale della CC3M. Il 16% è assegnato alla formazione di docenti e studenti ed il 21% alle attività svolte nei festival della scienza e nelle fiere. Il portale WEB Scienza per Tutti raggiunge un pubblico di circa 300.000 persone l'anno ed al suo concorso annuale partecipano circa 3.000 studenti.

	Progetto	Pubblico	Tipologia	Durata	Partecipanti
1	Art & Science	Scuola Sec. II°	studenti	biennale	7.000
2	Asimov	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	13.000
3	Dark	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	1.500
4	Game	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	300
5	HEPSCAPE	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	3.500
6	INFN Kids	Scuola Primaria	studenti	annuale	2.000
7	Lab2Go	Scuola Sec. II°	docenti	annuale	900
8	Masterclass	Scuola Sec. II°	studenti	evento	2.800
9	OCRA	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	1.500
10	RadioLab	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	989
11	Teatro	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	1.000
12	Portale ScienzaPerTutti	Pubblico		continua	1.100
13	Aggiornamenti	Scuola Sec. I°	docenti	annuale	130
14	PID	Scuola Sec. II°	docenti	settimanale	54
15	INSPYRE	Scuola Sec. II°	studenti	settimanale	80
16	Stage	Scuola Sec. II°	studenti	settimanale	1.100
17	Festival	Pubblico		eventi	20.000

Tabella 10.5 Progetti INFN di Public Engagement della CC3M (in bianco i progetti di public engagement per gli studenti e in verde quelli di formazione)

## 10.2 Reti nazionali e internazionali per la comunicazione e il public engagement

Il confronto con le realtà nazionali e internazionali impegnate nella comunicazione della fisica e nello sviluppo di progetti di public engagement nell'ambito di interesse per l'INFN e della scienza in generale avviene tramite il coinvolgimento dell'UC in reti di interlocutori nazionali e internazionali per la comunicazione e il public engagement.

	Reti e comitati di PE	Settore	Note
1	EPPCN (European Particle Physics Communication Network)	Ricerca e comunicazione	Network comunicazione istituzioni europee di fisica delle particelle
2	IPPOG (International Particle Physics Outreach Group)	Ricerca e comunicazione	Network per il public engagement istituzioni mondiali di fisica delle particelle
3	InterActions	Ricerca e comunicazione	Network comunicazione istituzioni mondiali di fisica delle particelle
4	Ecsite (The European Network of Science Centres & Museums)	Museale	Rete europea di scambio di buone pratiche per la comunicazione nei musei
5	APENet (Università e Centri di Ricerca per il Public Engagement)	Accademico	Rete di istituzioni accademiche e di ricerca per il public engagement
6	CERN Teachers and Students Forum	Ricerca e comunicazione	Forum internazionale per lo scambio di politiche e pratiche nel rapporto scuola-ricerca

Tabella 10.6 Reti nazionali e internazionali di comunicazione e progetti di coinvolgimento del pubblico

### Formazione su comunicazione e public engagement, aggiornamento docenti

#### Pubblico interno

I corsi fanno parte del Piano Nazionale di Formazione dell'INFN e hanno ottenuto ottimi risultati nei sondaggi di valutazione post-corso condotti lo scorso anno. Dopo un'analisi basata su un sondaggio online, l'UC ha sviluppato un programma di formazione coerente con le esigenze e le aspettative della comunità INFN. I risultati sono stati integrati nella pianificazione degli anni successivi. I corsi proposti e organizzati nel 2024 hanno riguardato in particolare:

- Programmazione e gestione di eventi per il pubblico
- Storytelling per eventi pubblici
- Public speaking e modulazione dei linguaggi

### **Aspiranti giornalisti, comunicatori**

L'UC, in collaborazione con i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN e con la rivista digitale Nature Italy, ha organizzato la scuola internazionale di giornalismo e comunicazione scientifica di Erice 2024, dedicata a "Underground science: Observing the Universe from below". La scuola ha offerto 20 borse di studio per giovani giornalisti e comunicatori scientifici provenienti da tutto il mondo.

### **Docenti scuole secondarie**

Ai progetti coordinati dal CC3M "Aggiornamenti" e "PID", destinati all'aggiornamento dei docenti delle scuole secondarie di primo e secondo grado, si è aggiunto dal 2023 (e fino al 2025) il progetto HOP (Hands On Physics) realizzato con il CERN e con Fondazione Agnelli, per l'aggiornamento dei docenti della scuola secondaria di primo grado attraverso l'uso di kit didattici per la didattica laboratoriale. Nel complesso, i docenti beneficiari di percorsi di aggiornamento INFN nel 2024 sono stati oltre 800.

## 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. Alle Commissioni Scientifiche Nazionali, che hanno i ruoli di valutazione scientifica e finanziaria oltre che di verifica e di valutazione dei risultati conseguiti in itinere e al termine dei singoli progetti, si aggiunge il Consiglio Tecnico Scientifico (CTS) che 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, e si occupa di valutare 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 Comitato di Valutazione Internazionale (CVI), che viene rinnovato ogni quattro anni ed è costituito da esperti internazionali nei campi nei quali l'Istituto conduce le proprie attività di ricerca sia e 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 svolta dall'INFN, nel quale fornisce anche indicazioni e raccomandazioni per migliorarne la performance globale. Tale rapporto è inviato dall'INFN al MUR allegato al Piano Triennale.

L'Ente è stato oggetto da parte dell'ANVUR di tre cicli di valutazione quinquennale della qualità della ricerca delle università e degli enti di ricerca. In particolare, nell'ultima VQR 2015-2019, 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.

È attualmente in corso la VQR 2020-2024, il cui bando è uscito a ottobre 2023. Il Gruppo di Lavoro della Valutazione INFN ha messo a punto le attività preparatorie coadiuvato da rinnovate piattaforme applicative per l'assegnazione delle pubblicazioni e dei prodotti, anche sperimentando l'integrazione di elementi di AI e Machine Learning per aiutare i processi di assegnazione prodotti semi supervisionati.

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 Sistema di Misurazione e Valutazione della Performance (SMVP) seguendo le linee guida dell'ANVUR e della Funzione Pubblica con le circolari pubblicate nel 2015, nel 2017 e nel 2019, adattandole alla specificità dell'Ente. Il SMVP 2024 è stato approvato con delibera del Consiglio Direttivo n.16858 del 24 novembre 2023.

Nel SMVP 2023 la valutazione individuale, già prevista per tutto il personale con incarico di responsabilità e per tutto il personale tecnico ed amministrativo dell'Istituto, ha incluso per la prima volta la valutazione della performance dei direttori delle strutture relativamente alla posizione di responsabilità gestionale e amministrativa ricoperta, utilizzando un campione di sedi che si sono rese disponibili su base volontaria. Con il SMVP 2024 la valutazione dei direttori delle strutture è stata estesa a tutte le sedi dell'Istituto. Nel SMVP 2024 è stata inoltre introdotta la valutazione partecipativa dell'Istituto e sono stati mappati con maggiore precisione gli stakeholder, sia interni che esterni. In ottica di promozione della cultura della valutazione della performance come occasione di miglioramento del funzionamento dell'amministrazione, sono stati previsti incontri differenziati specifici tra gli attori del processo di valutazione e programmi di formazione dedicati diretti al personale sia valutato che valutatore.

Il controllo e la verifica delle attività gestionali e amministrative e l'aderenza dei documenti programmatici dell'Istituto al dettato normativo sono affidati all'Organismo Indipendente di Valutazione (OIV), la cui nomina è stata rinnovata nel 2024. Sentito l'OIV, è stata presa la decisione di mantenere il SMVP 2024 anche nel 2025 in modo da

valorizzarne e consolidarne le risultanze e per approfondire le tematiche introdotte dagli aggiornamenti normativi intervenuti in materia.

Il Piano Integrato di Attività e Organizzazione (PIAO) 2024-26, elaborato secondo il D.L. n. 80/2021 art. 6, convertito con modificazioni nella L. n.113/2021 e definito nei contenuti dal DPCM 132/2022, è stato approvato con delibera del Consiglio Direttivo n. 16923 del 26 gennaio 2024 e adottato in accordo alla scala temporale prevista.

L'INFN utilizza un software per la gestione della performance organizzativa e di funzionamento complessiva dell'Istituto e per la gestione della performance individuale dei dipendenti. Nel 2022 il prodotto è stato interfacciato con le banche dati dell'Istituto ed è stato messo in produzione. A partire dal 2023, tutte le fasi del ciclo della performance, incluso la pubblicazione dei report con l'esito del processo, sono state gestite con questo software. L'esperienza maturata con l'uso del sistema automatico di gestione del ciclo della performance adottato dall'INFN è oggetto di attenta analisi per valutarne l'efficacia e i limiti eventuali, in modo da identificare gli ambiti di miglioramento necessari per un'efficiente automazione del processo della valutazione della performance.

L'Istituto ha sempre prestato molta attenzione alla programmazione dell'attuazione dei suoi progetti scientifici. Negli ultimi anni ha introdotto l'utilizzo di moderne tecniche di project management e quality assurance e si è perciò dotato di un Comitato Nazionale di Project Management (CNPM) per proporre metodologie, tool e interventi di formazione. Grazie alla sua azione sono stati implementati standard di quality assurance e ingegneria dei sistemi nella progettazione e pianificazione dei grandi progetti infrastrutturali ed è stato inoltre messo in atto un diffuso programma per l'implementazione di metodologie di project management e la costruzione di PMIS (Project Management Information System) attraverso l'integrazione dei programmi gestionali in uso all'Istituto. Questo sta consentendo l'elaborazione di reportistica dinamica e l'accesso diretto alle informazioni da parte dei molteplici stakeholder. Il programma è supportato da un piano formativo rivolto sia alle metodologie che alle piattaforme (Microsoft Project) ed è già stato frequentato da circa 150 unità, prevalentemente ricercatori e tecnologi.

L'obiettivo strategico di lungo periodo è lo sviluppo di un framework comune per i progetti che ne faciliti gestione e la rilevazione e lettura dei dati di avanzamento a tutto vantaggio di un più consapevole ed efficiente utilizzo delle risorse umane, scientifiche e finanziarie a disposizione.

**APPENDICE: CVI Report 2024**

# Annual Report to the President of the INFN

## Il Comitato di Valutazione Internazionale (CVI)

L. d'Agnese, CDP, Italy; M.J. Borge, CSIC, Madrid, Spain;  
A. Brandolini, Banca d'Italia, Italy; J. D'Hondt, Vrije Universiteit Brussel, Belgium (chair);  
B. Gavela, Universidad Autonoma de Madrid, Spain; W. Hofmann, MPI Heidelberg, Germany;  
N. Lockyer, Cornell Laboratory for Accelerator-based Sciences and Education, USA

October 2024

## Introduction

The 2024 annual CVI meeting was held at the Galileo Galilei Institute (GGI) in Florence from October 9<sup>th</sup> to October 11<sup>th</sup>. It gives us great pleasure to thank the INFN management and the GGI team for the outstanding hospitality and the fascinating visit of the laboratories of the *Opificio delle Pietre Dure*. Our charge was to evaluate the performance and quality of INFN's programs and management. In the sequence of biennial reviews of the four INFN national laboratories, this year's reviews focused on LNL and LNS.

---

## Executive Summary

**Perspective and Strategy** – In the global landscape of astroparticle, nuclear and particle physics, INFN is a beacon with a bold ambition to unlock new science territories and to develop the enabling technologies. Led by a sustained long-term vision, the INFN management is decisive and effective, and the CVI appreciated the openness of the presentations and the discussions. The additional resources from the PNRR have an impressive catalyzing effect on INFN's ability to prepare its research infrastructures to pursue its current and future ambitions.

**Central Administration** – INFN has continued the modernization effort of its Central Administration (CA). As noted last year, the management of PNRR projects has proven to be a powerful driver of change, fostering cooperation between administration and researchers. The implementation of the accrual accounting model, required by law, has been an additional driver of change. This effort should extend beyond the PNRR horizon, taking advantage of the lessons learned during its realization, in order to develop integrated project management. The progress in the CA performance should be regularly monitored and assessed against pre-set indicators, while the INFN leadership should make full use of the monitoring tools developed by administration (dashboards; analytical information stored in data warehouse).

**Directorate of Research Services** – The Directorate for Research Services (DSR) has achieved important results in supporting INFN researchers in applying for grants and managing PNRR projects. Assignment of grants to INFN has substantially improved in the last 3 years and PNRR is progressing very well. DSR systematic approach and expertise should be leveraged by INFN leadership in developing a plan on how to integrate grants and funds assigned on a competitive basis into INFN funding strategy. This is especially important for infrastructures, like ICSC for computing, that have been built with PNRR funds and will require new funding sources for continuing operations beyond 2026.

**Commissione Scientifica Nazionale 1 (CSN1, Fisica delle Particelle)** – CSN1 has well integrated the accelerator-based neutrino physics experiments from CSN2. An essential enabling aspect for the physics potential in CSN1 was the excellent performance of data collection with the LHC at CERN. The INFN research groups have an outstanding impact, clearly beyond their expected fair share, in the large international collaborations of the LHC experiments. The upgrades of the ATLAS and CMS experiments are in full progress, although with a risk to not deliver on schedule. Relying on the strong and experienced shoulders of the INFN groups in ATLAS and CMS will be a decisive element in successfully realizing these, by now global, projects.

**Commissione Scientifica Nazionale 2 (CSN2, Fisica delle Astroparticelle)** – CSN2 with its four research lines covers a well-balanced mix of small-scale and large-scale experiments, including a number of flagship experiments on international scale. The number of researchers in CSN2 is growing steadily. INFN researchers have high visibility in their collaborations, as evidenced by the number of leadership roles. CSN2, LNGS and astroparticle physics in general benefit strongly from the PNRR activities, whose implementation is progressing well. The future of flagship experiments searching for neutrinoless double beta decay, of Xenon-based Dark Matter searches and the role of LNGS in this context are open, to be addressed in international context.

**Commissione Scientifica Nazionale 3 (CSN3, Fisica Nucleare)** – CSN3 supports a wide range of experiments in nuclear physics performed in national and/or international facilities including CERN (ALICE, ELENA, ISOLDE, n\_ToF). The year 2023 has been characterized by a large increase (60%) of high-quality science output with an outstanding number of oral presentations across all the six research lines, as well as for several important events some of which are mentioned in the following. Strong involvement in the preparation and discussion of the Nuclear Long Range plan. The Italian gamma spectroscopy group has managed to keep AGATA at LNL until mid 2028. At the same time, the community is very concerned by the very reduced group of core scientists at LNL. Experiments are ongoing at the new Bellotti facility. The research groups in nuclear structure and astrophysics have launched an interesting initiative of collaboration with the FRIB facility at US (NUSDAF).

**Commissione Scientifica Nazionale 4 (CSN4, Fisica Teorica)** – The theoretical physics program of INFN keeps being strong, vibrant and provides international leadership. It exhibits a diversified and innovative portfolio. It is most urgent that theorists provide guidance now on the future accelerator choices, in common with experimentalists. The recruitment of permanent and tenure-track staff continuous at a healthy path. The postdoctoral program of ~15 positions/year should be (at least) maintained given the sustained abundance of high-level of applicants. The gender balance situation keeps being very unsatisfactory in this community: the groups should set their own concrete benchmark goals against which to assess progress, paired to an internationally proactive hiring search-strategy. A presentation on the interface of theory versus AI and quantum technologies developments will be welcome.

**Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5, Ricerca Tecnologica)** – CSN5 coordinates advanced technological research for INFN core experimental activities. They have a system of projects that they sponsor with 6,2 M€ budget per year. This program has been running since a decade, and a review of the outcome has been presented to the CVI. The number of publications as well as the number of master and thesis projects supervised within CSN5 are very high. The CSN5 dominates by far (72%) the number of patents of the INFN. In 2023, 29 projects have been finished and 23 approved under very strict evaluation criteria and with a success rate of 60%. With this scheme of 2-3-year projects it is difficult to accommodate accelerator projects as many of them involve long-term developments. An analysis of the impact of the grants for young researchers (GfYR) proposed by CVI last year has demonstrated the importance of this initiative not only to identify bright candidates for future positions but also as a seed for promoting new ideas and obtaining ERC and other EU

grants. We have learnt that, when averaged over the years, 85% of the winners have obtained a permanent or temporary position at INFN or at universities.

**The gravitational-wave program** – Gravitational wave (GW) research has a very strong base in INFN. The first entry in the field, VIRGO, currently does not match the Nobel-winning LIGO instruments in sensitivity, due to specific – in retrospect unfortunate but funding-driven – design choices. Appropriate measures are being taken by INFN and its partners to re-organize the management and technical leadership of VIRGO to enable a realistic upgrade plan into the future. In the Einstein Telescope (ET) project, aimed at constructing the next-generation GW observatory, Italy and INFN are providing outstanding leadership in driving the project. The Sardinia site proposed for ET is excellent, the Italian support for the project unequalled. INFN is promoting a configuration of two spatially separated double-arm interferometers, instead of the single-sited triangular configuration. For the success of the ET project, a strong partnership across Europe is crucial and the parties should make every attempt to enable a coordinated and consensual site proposal; the 2L configuration may indicate one possible path. It is also crucial that the ET Organization (ETO) is built, and empowered with adequate project management and engineering resources enabling it to exercise its decision authority.

**The DarkSide experiment under construction at LNGS** – With its high sensitivity and excellent background suppression, DarkSide is complementary to the xenon dark matter experiments and offers high discovery potential. In the last year, DarkSide made excellent progress in all areas, including the installation of the Urania facility for underground Argon extraction. Many of the remaining funding holes were addressed. The Forti committee is instrumental in helping the experiment converge towards a stable baseline and realistic schedule. With the baseline and installation plan not yet fully defined, some additional schedule slip and cost increases are anticipated. Key items to be addressed remain the installation schedule and its interaction with other activities in the underground hall, and the agreement regarding Urania operation. The construction MoU remains to be concluded, with an operations MoU as next step.

**Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL)** – The Legnaro National Laboratory (LNL) is a national facility offering a state-of-the-art research infrastructure to researchers in nuclear physics, nuclear astrophysics, accelerator technology R&D, and interdisciplinary fields of relevance to society. The lab is focused on completing accelerator upgrade projects to deliver ISOL rare isotope beams to users. Beam delivery for users is important because the lab is hosting the AGATA European multi-detector array. A new computing centre is underway in phases to support AGATA. There are emerging plans to further develop superconducting technologies, a historical strength. Plans for a new medical radioisotope facility are being developed and will have a positive impact on society.

**Laboratori Nazionali del Sud (LNS)** – The Laboratori Nazionali del Sud (LNS) research focuses on nuclear physics, astrophysics, and applications of nuclear physics along with development of acceleration systems. The POTLNS project has been the most ambitious initiative for LNS concerning infrastructural enhancements for nuclear physics research. The POTLNS is to be completed by June 2025. Science focus is on measuring matrix elements for neutrinoless double beta decay and producing rare isotope beams. There is a lot of new infrastructure as well as several ambitious equipment upgrades underway. The upgraded superconducting cyclotron will deliver much more intense beams. The new fragment separator FRAISE will handle the higher intensity and will deliver more intense rare isotope beams. Intense stable isotope beams will be delivered to the newly upgraded MAGNEX spectrometer for the neutrino-less double beta decay program. The KM3NeT-ARCA project is proceeding and will require the next 3-4 years to complete. The need for project management and increased staff is a top concern given the many projects.

**Laboratory of nuclear techniques for Environment and Cultural Heritage (LABEC)** – LABEC’s personnel is both from INFN and Univ. of Florence with a total of 21 FTEs nearly gender balanced. They are also committed to the development of portable instruments, such as a 2 MV proton accelerator developed in collaboration with CERN KT to be placed at the “Opificio delle Pietre Dure”. LABEC is an international reference in cultural heritage. They coordinate the 4CH project to create a center that gives advice, support and services to a network of cultural institutions on the preservation and conservation of historical monuments and sites. In addition, LABEC is a reference in environmental studies, it hosts the European mass calibration center for atmospheric dust. To remain highly competitive, they would like to have an upgrade of the laboratory and a document describing the proposed upgrade has been prepared.

**Environmental impact** – A first thorough study has been completed, restricted to the national laboratories. The energy consumption is dominated by electricity consumption, with LNF and next LNL as main consumers because they host accelerators. The dominant source of the CO<sub>2</sub> imprint is in the form of green-house gases (GHGs) and in particular from SF<sub>6</sub> emissions, with LNL exhibiting the largest carbon footprint. The CVI strongly supports the initiatives towards GHGs substitution, complemented with a protocol of containment-control to prevent further leakages. Overall, it is urgent to propose a clear set of quantitative targets and benchmarks for each type of environmental analysis, against which progress can be assessed.

**Computing Services and the National Centre CNAF** – CNAF is the national center of INFN dedicated to research and development on information and communication technologies. CNAF continues to play a leading role in computing and related technologies in Italy. The new data center, Tecnopolo, is up and running, allowing substantial new growth into the next decade. Data and infrastructure from the previous facility were transferred successfully without loss of time and new collaborations across many disciplines are emerging. High performance computing, quantum computing, big data and cloud applications are the focus. Primary concerns are for staffing in the future when PNRR funds conclude. The PNRR public-private ICSC national project is largely on track and INFN has an important role.

---

## Long report

### Perspectives and Strategy

Based on a strong ambition, INFN remains an impactful global leader for research in fundamental physics with unique research infrastructures. For example, its four national laboratories are not only crown jewels for Italy but are essential research infrastructures for the global research community. While INFN has been very proactive and effective to attract additional competitive funding, it was noticed that over the years INFN has been operating with a flat structural budget (after taking into account inflation). Regional funds in Italy are collected effectively by INFN on the basis of high-tech developments. The CVI congratulates the INFN leadership to keep personnel costs limited below 50% of the total budget. In addition, INFN is very successfully managing the complexity of the PNRR resources, especially by modernizing its administration. Overall, the INFN is satisfied with the quality of the hired technologists on the PNRR budget. The hired staff has a profile typically matching the long-term needs of the various sectors. In addition, the ongoing efforts for a transition to a green, digital and technology-driven society are very well aligned with the main objective of INFN in fundamental physics.

The Italian government has the ambition to reduce the time spent in postdoc and temporary positions. In response, a career path was developed in INFN equivalent in length with the typical tenure-track

procedure at universities, and importantly INFN has the financial resources to sustain this. In addition, actions are being taken to improve the gender balance on the long term.

The upcoming VQR evaluation will include an evaluation of research infrastructures. For INFN, LNGS will be reviewed, which is probably the leading low-background underground facility in the world. In particular, the CVI supports the INFN ambition to become the world-leading underground laboratory to host  $0\nu\beta\beta$  experiments at LNGS. The CVI appreciates the argument of INFN to connect the outcome of the VQR with future funding opportunities.

The CVI supports INFN in their proactive preparations for the period after PNRR, especially with respect to finalizing projects, maintenance of infrastructure and to ensure the necessary staff are maintained (in numbers and in competences). The CVI appreciates the organization to mobilize the community to develop the Italian input to the European Strategy for Particle Physics (ESPP), especially with the involvement early-career researchers. Following a charge and support received from the INFN leadership, the early career researchers established a network and organize meetings among them. Preparation meetings are being organized with experimentalists and theorists while researchers in astroparticle and nuclear physics are involved.

### ***Recommendations***

***GEN-1*** – *The CVI recommends developing flagship actions to attract women to STEM.*

***GEN-2*** – *The CVI recommends a timely convergence to a coherent and crisp Italian input for the ESPP.*

***GEN-3*** – *INFN should prepare for a strong and coherent contribution to the development and implementation of a future collider program at CERN.*

***GEN-4*** – *The CVI recommends the INFN to explore and foster mobility programs for researchers between INFN and universities.*

### ***Recommendations for the CVI meeting in 2025***

- *Plan for a dedicated Technology Transfer presentation.*
- *Plan for a dedicated presentation on Health, Safety, and Environment.*
- *Plan for a presentation on initiatives enhancing the work-life balance.*
- *Plan to present a report on HTS magnet developments at INFN, including thoughts on a distributed national center on the topic.*

## **Central Administration**

A complete overhaul of the INFN management model was a compelling need and was rightly given priority in the last years. The redesign process has been decisively boosted by two external factors: (a) the forced adoption of the accrual accounting model in line with Directive 85/2011/EU and PNRR Line 1.15; (b) the implementation of the PNRR-funded projects. The approach followed in redesigning CA has comprehensively tried to achieve impact on processes, information systems, and people. It is a continuous and sequential process, extending over multiple years and affecting all relevant areas: accounting, human resources, research and development, legal activities, archive management. New hires are seen to help implementation as well as cultural change.

The CVI takes note of several promising signals: (a) a progress in the integration of the different “cultures” of administrative and scientific communities; (b) the insistence on data literacy, and the related production of dashboards that allow monitoring progress in different areas; (c) the stress on achieving full digitalization and phasing-out of paper documents.

The CVI regards as extremely positive that the PNRR management is running on schedule, given the scale of the INFN involvement (and in comparison with other institutions, based on anecdotal evidence). According to the presentation “Transforming Central Administration processes”, 399 procurement procedures were contracted out for a total of €370,4 million; 266 people were hired (241 on fixed-term contracts, 9 on research grants, and 16 with scholarships). According to the presentation on “PNRR present status and next steps”, procurement procedures were completed for 82% of the assigned funds (€199 million out of €244 million); 87% were large procurements exceeding €140.000, and 13% were below that threshold. (Note that somewhat different figures are provided in the two presentations.)

The CVI observes, however, that little hard information has been provided on the progress of the CA reorganization, aside from PNRR implementation. In particular, the CA redesign lacks:

- indicators that allow to monitor the stages of its implementation, and to assess its progress against pre-set targets;
- measures of the extent to which changes are approved and internalized by the INFN community;
- information on how the pressure on IT systems is addressed.

The CVI welcomes the effort made in the implementation of the CA reorganization, and recommends the INFN to keep going!

### ***Recommendations:***

*CA-1 – Fix a set of indicators to regularly measure administration performance and set proper targets for each indicator. Examples of indicators are: number and complexity of steps required by back-office processes; length of hiring procedures; procurement times; extent of integration of different internal data sources; use of dashboards for strategic decisions.*

*CA-2 – Ensure proper program management in the organization of critical transversal projects, such as accrual accounting and digitalization.*

*CA-3 – INFN leadership should have a real-time view of all projects and use it in its decision making process (e.g. make extensive use of dashboards as well as of the analytical information stored in data warehouse).*

## **Directorate of Research Services**

The Directorate for Research Services (DSR) has been created recently to support INFN scientists in the application process for research grants and in the management of PNRR projects. On both accounts initial results have been very encouraging.

Participation and awarding of ERC grants to INFN researchers has grown significantly in the 2021-2024 period. Submitted proposals have increased by 24% (+15 proposals), projects invited to the final selection by 40% (+7) and grant awards by 130% (+4). In addition, DSR is involved in the support to INFN in several other categories of funded projects, at national level, like PRIN projects funded by the ministry of Research, or in European calls. Some of the calls involve projects promoted by

individual researchers, like ERC grants, other, like Horizon projects, have a broader scope. In the context of ordinary funding remaining approximately constant, additional funds dedicated to specific projects, often assigned on a competitive basis, are essential to sustain the growth of the institution.

PNRR progress has also been quite satisfactory. INFN is managing 149 projects for a total expense of € 319 million; so far, all targets set by the European Commission have been met, and a very high percentage of procurement procedures (900 procedures representing 80% of total value) has been already awarded. A total of 314 people (mostly technician and technologists for the buildout and startup of infrastructures) have been hired with fix term contracts and fellowships.

DSR has been instrumental in these two successes combining three actions:

- Collecting data on grant availability, on progress on PNRR projects and performance benchmarks with other institutions in the number of applications, and on success rate in grant awarding.
- Creating transparency on project performance and grant opportunities within INFN organization by creating dashboards on PNRR and a portal showing calls for applications.
- Fostering an effective cooperation between scientists and administrative personnel on processes for procurement, hiring and reporting by conducting idea generation workshops to identify opportunities to improve processes.

The CVI thinks that the prosecution of this activity, and especially the systematic performance measurement and benchmarking with other institutions, will be key to understand the improvement potential and the necessary actions to achieve it.

We noticed, however, that work remains to be done in two areas where DRS and PNRR project leadership cannot progress without strong input and guidance from INFN leadership, which were included in recommendations of the last two years:

- Define overall targets and strategy for grant acquisition, including the role of grants vs structural funds in supporting different research areas. In that respect an opportunity for expanding the role of DRS exists, since its support in grant applications has been mostly leveraged by individual researchers applying for funding, like those obtaining ERC grants. The structured approach and skills of professionals in DRS could be leveraged also for more ambitious efforts to acquire funds in large European and national programs (e.g. Horizon).
- Ensure that PNRR projects and infrastructure receive sufficient funding and resources for their maintenance and operation beyond the PNRR horizon. This need is particularly acute for infrastructures, such as the new computing infrastructure of ICSC, requiring almost continuous investments in technological upgrade. A specific effort was recommended to provide this investment with an appropriate funding plan, leveraging opportunities to provide computing services to other public and private users. While important initiatives, like the participation to the European Call for proposals for AI factories, are already underway, a comprehensive plan is still to be finalized.

## ***Recommendations***

***DSR-1*** – *Develop programs, supported by INFN leadership and groups in charge of individual PNRR infrastructures, to acquire funds necessary to their continuous operation after the expiration of PNRR funds. As a part of this effort INFN should develop a plan to generate revenues for the computing infrastructure from the provision of services outside the scientific community.*

***DSR-2*** – *Pursue a systematic effort to integrate processes with other Central Administration directorates: appoint a program management leadership to guide this effort.*

***DSR-3** – INFN leadership should promote and drive a process, supported by DSR, to define ambitions and targets for fund raising through competitive projects (European and national). INFN leadership should leverage skills and support of DSR to help INFN senior scientists to capture an important, and possibly growing, share of funds for bigger programs.*

## **CSN1**

The accelerator-based neutrino physics projects have been well transferred from CSN2 to CSN1. After correcting for the recent inclusion of the accelerator-based neutrino experiments, the growth in FTE numbers for CSN1 continues and the number of publications is back at the level it was before the 2022 interruption due to the war in Ukraine. Continuously new physics results emerge from the LHC program, unlocking additional rare processes for which their measurements can be confronted with theoretical predictions. The impact of INFN in the performance indicators for the international LHC experiments is clearly above its expected fair share.

The 2023 data taking at the LHC was interrupted to allow specific interventions following a technical incident in the summer. The luminosity collection at the LHC for 2024 is outstanding, projecting now 500/fb to be collected by the end of Run3. In 2024, an impressive improvement in the data collection of LHCb is noted, both in quantity and quality, significantly enhancing the potential of the physics program. In contrast, the reduced luminosity forecast for SuperKEKb (and the unexpected backgrounds) with no clear solutions would be an argument to consider the LHCb Upgrade 2; however, a concrete commitment might depend on the outcome of the ESPP update. While postponing the start of the HL-LHC operations by one year (now June 2030) has put the upgrades of the experiments back on schedule, the upgrade projects have very limited contingency to deliver on schedule.

The INFN detector R&D activities are now well integrated in the new DRDs towards experiments at future colliders. The ongoing accelerator and detector R&D at INFN follows the European roadmaps on the topic.

Also in 2023, CSN1 has been involved in an impactful portfolio of accelerator-based experiments in the USA, Japan, China and Europe.

Based on the current success of SND@LHC, it is a good moment to consider an upgrade towards SND@HL-LHC with potentially solid-state detector technologies (replacing emulsions).

### ***Recommendations***

***CSN1-1** – The CVI considers it is important to allocate an additional budget to cover the 25% cost increase for the ATLAS and CMS upgrades.*

***CSN1-2** – The CVI recommends reviewing the commitments of INFN to SAND (Near Detector at DUNE) on the basis of its upcoming TDR in Spring 2025 and to develop a new implementation plan (incl. resources).*

***CSN1-3** – With the preparations for the SHiP experiment now being endorsed by CERN, and considering the synergies with SND@(HL-)LHC, the CVI recommends INFN to develop a vision for a potential participation in SHiP.*

## CSN2

The four research lines (Dark Universe, Radiation from the Universe, Neutrino properties, General Relativity (GR) and Quantum Physics) cover a very wide range of topics. Almost all experiments are conducted in international collaboration. In CSN2 experiments, 1624 persons are active, with a total of 1040 FTE; the different lines have similar constituencies. The number of researchers shows a steady growth of about 5% per year; the number of students (Bachelor, Master, Ph.D.) grows significantly faster. About 250 persons are in leadership roles in their collaborations. The fraction of female researchers is about 25%, slowly improving over time by maybe 0.5% per year. The share of females in leadership roles and among conference speakers is slightly larger. In particular for the experiments with large Italian construction contributions, CSN2 provides only part of the funding, the bulk usually coming from direct project funding.

In the reporting year, a number of experiments reported highlight results, respectively major progress towards implementation. Maybe the most striking result was the detection of a  $O(100 \text{ PeV})$  cosmic neutrino in KM3Net, by far the highest-energy neutrino detected so far.

### *Comments*

The CVI congratulates INFN on the PNRR strategy and the success in acquiring funding. The PNRR activities provide an enormous boost in particular to astroparticle activities. The timely implementation is very challenging but looks well on track, e.g. for the additional KM3Net detector modules or the refurbishment of LNGS infrastructure.

The CNS2 portfolio contains a number of flagship experiments of international scale. INFN researchers are highly visible in their experiments; about 15% of researchers are in leadership roles in their collaborations. The visibility and impact of INFN researches goes well beyond the numerical INFN share in projects. The CSN2 portfolio – combining a mix of small-scale and large experiments, and of experiments delivering a steady stream of observational results, and high-impact searches for rare phenomena – looks well balanced and well-managed.

On DAMA: With the end of 2024, the DAMA story will come to an end; even after almost two decades of operation it remains unclear if the DAMA periodicity is a Nobel-level effect or ununderstood systematics. The refusal of DAMA to open their data emphasizes need for open-data guidelines imposed when approving experiments. It is evident that the DAMA crystals should be kept intact and underground. With SABRE, for the first time a collaboration is able to produce crystals of DAMA quality, able to check the DAMA signal under identical conditions. However, the foreseen size of the SABRE detector is marginal – it should double in size else the results may well be inconclusive.

Regarding future flagship experiments, the perspectives for CNS2 experiments at LNGS seemed excellent last year but are suddenly more uncertain: the DOE support for LEGEND1000 at LNGS is again open, and the decision delayed; for the next-generation xenon experiment, there is strong competition by UK/Boulby and also from SURF.

International competition is also increasing through state-of-the-art astroparticle experiments in China: faster decision lines, large single-agency funding, and growing high-tech industry support allows relatively rapid implementation of experiments. For example, the Chinese teams are now pushing towards a neutrino detector of about ten times the scale of KM3Net, in the South China Sea, on time scale that may not be so much longer than that of the full KM3Net. An INFN strategy how to deal with the China challenge was not discussed at the meeting; INFN was forced to withdraw from HERD but there is fruitful collaboration in other experiments (JUNO, LIMADOU).

## **Recommendations**

*The recommendations go beyond the immediate CSN2 context and also concern LNGS, which is intimately connected with CSN2.*

*CSN2-1 – Despite the uncertainties in the planning of  $0\nu\beta\beta$  experiments, INFN is in a unique position to enable the start of CUPID construction. CUPID is very competitive in science reach with LEGEND1000 and nEXO. INFN funding of CUPID Phase I should be decided in a timely manner.*

*CSN2-2 – XENON is a flagship Dark Matter project and was worldwide leading the DM search, but is in danger of falling behind. INFN and LNGS should work towards a strategy regarding the mid-term future of XENON – whether to try further increasing the xenon mass at LNGS, or rather wait for the XLZD experiment that aims at combining European efforts in this area. XENON also claims to suffer from a lack of compute resources; given the compute facilities of INFN, this should be relatively easy to resolve.*

*CSN2-3 – In view of increased availability of underground lab space in the UK and the US, and the resulting competition for experiments, INFN and LNGS should continue and intensify the efforts for coordination among underground labs, and should continue to explore and encourage new (non-astroparticle) applications of underground labs.*

## **CSN3**

CSN3 continues to provide a high science output across all six 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 has a moderate but persistence increase (~507 FTE) although the overall number of people has slightly decreased to 787, highlighting the interest in this section. The percentage of women is high, on average 29% of the FTE and the fraction is even higher reaching 50% at the level of master theses defended (25 female versus the 54 in total). However, this number drops for the PhD theses defended (7 female out of 28).

CSN3 supports an interesting and appropriate mix of large, mid-scale, and small experiments, and of “safe” and highly innovative / high risk / high impact experiments. The portfolio of a bit more than twenty experiments is well managed by CSN3, with clear procedures and detailed attention to critical cases when the number of participants in certain experiments is too low. Excellent science is being done in CSN3 with a very large number of publications and oral presentations that exceed one per FTE working in the section. Only some selected highlights will be listed in the following.

Highlights from Quark and Hadron Dynamics include the first ever measurement of the kaonic deuterium X-ray transitions to the ground state done at KAONNIS. The INFN group is largely involved in the definition of the characteristics of ePIC detector of EIC, INFN leads the R&D/TDR preparation of  $\mu$ vertex, end-cap disk trackers and forward dRich. These R&D efforts are largely coordinated with the LHC and FCC groups. In the line of Phase Transition in Hadronic Matter, ALICE is in full swing with extraordinary statistics with the Pb+Pb beams. In addition, an intense data analysis and paper production activity has continued throughout 2023, with a record number of 54 papers submitted to journals over the year. Experiment NA60+ submitted a letter of intend to SPSC that was well received and SPSC will start examining the proposal in 2024.

In the area of Nuclear Structure and Reactions, large efforts have been done to contribute to the topical collection on AGATA with guest editors from Italy. Among the results from the AGATA detector is worth to mention the determination of lifetime measurements of  $^{20}\text{O}$  (PRL) and in  $^{34}\text{Mg}$  with impact in astrophysics scenarios (Nature Com). The review article, highlighting the contribution of results in double charge exchange reactions, has been published in Prog. in Part. and Nucl. Phys. (MAGNEX). Further, it is important to mention the new results of LEA on the first measurement of the anti-hydrogen behavior on the Earth gravitational field published in Nature. Nuclear astrophysics studies require measurements in extreme conditions different from those on Earth laboratories, with this aim the Pandora experiment, that starts at the end of 2025, will measure the beta strength modifications in presence of a plasma. N\_ToF has determined the capture cross section of  $^{140}\text{Ce}$  and its implications in the chemical evolution of the Universe and LUNA has achieved the first measurement of the 64.5 keV resonance in  $^{18}\text{F}$ , lowest energy resonance ever directly measured. Since 2023 the Bellotti facility is ready to provide beamtime to the users.

In the line of Symmetries and Fundamental Interactions one should mention the spectroscopic determination of the hyperfine splitting of muonic atoms (FAMU @RAL), and the R&D efforts that has allowed the FAMU collaboration to achieve the highest energy ever with the laser at 6788.9 nm. The VIP (violation of the Pauli Principle) experiment at LNGS is under finalization. In the line of Applications and Societal benefits it is important to mention the new infrastructure at SPES aiming to find new production methods of isotopes for theranostics medical studies, SPESMED, and the FOOT dedicate to determine fragmentation cross sections of interest for particle therapy.

### **Recommendations**

*CSN3-1 – The CVI would like to hear more details on the ALICE upgrades, Italian involvement, and commitments in the next meeting.*

*CSN3-2 – CVI commends the new initiative of the scientists of ASFIN planning experiments in several facilities to mitigate the effect of delays of the accelerators at LNS, including coordinated efforts with other groups of CSN3 and CSN4 in signing an MoU on NUSDAF-FRIB. The CVI recommend the support of INFN to the NUSDAF initiative.*

*CSN3-3 – The CVI recommends to further explore interdisciplinary links of nuclear energy and medicine with CSN5.*

*CSN3-4 – The coming years are crucial for the upgrade of accelerators at LNS and the start of SPES. It is a great news that AGATA will stay until mid-2028 to be able to profit from beams of SPES. At the same time the core of physicists at LNL is reducing to alarming numbers, the CVI recommends INFN to address this point.*

## **CSN4**

The Italian program of theoretical physics pursued by the INFN continues to be one of the most successful in Europe, with strong international impact. Several scientific highlights have been accomplished in the last year. A healthy diversified portfolio is expanding including gravitational, axion and dark sector physics.

A significant part of the work is being developed in close contact with and is providing good service to the experimental efforts. Furthermore, in the last years the quantum-physics activities have increased in relative FTE percentage.

The recruitment of permanent or tenure-track staff, crucial to theory, continues at a reasonable path to sustain a healthy community. The training activities for early career researchers remains of high quality and very active. New initiatives include the “theory meets experiment” GGI school and the gender-balance targeted actions. The participation of INFN theoretical researchers in workshops, conferences and schools appears to be recovering to pre-pandemic levels.

### **Comments**

The CVI looks forward to the continuation of the INFN lattice theory efforts towards the next release of results relative to the muon  $g-2$  anomaly. The same applies to the theoretical effort on precision accelerator physics, including perturbative and non-perturbative physics.

The situation regarding gender balance in CSN4 remains unsatisfactory, and well under the average 25-30% gender rate for INFN researchers, in particular on the more theoretical and high-energy arena. This is about mirrored by the low percentage of INFN female researchers giving talks at conferences. Some new initiatives such as the special prizes for young female students could have a positive impact and are to be monitored.

While in general theoretical work does not require specific associated technical personnel, PhDs and postdoctoral fellows are crucial to the theorists’ work. The present INFN support in this realm may be insufficient for optimal results.

The CVI stresses the huge potential of INFN to bring together and seed interactions among different theory groups and between theorists and experiments.

### **Recommendations**

*CSN4-1 – It is urgent that INFN theorists deepen their efforts to provide scientific guidance on the choice of a future high-energy accelerator. In order to have a real impact on the European Strategy, the effort should intensify now and the vision should be developed in common with experimentalists.*

*CSN4-2 – In order to reach at least the average INFN gender rate for researchers in CSN4 and enable concrete steps, the theory groups should set their own quantitative benchmark goals against which to assess progress, in compliance with the EDI guideline of the EPSHEP board. A proactive hiring search-strategy could be useful in the national and international arena.*

*CSN4-3 – The CVI strongly recommends that INFN (at least) maintains the postdoctoral program of ~15 theoretical postdoctoral positions per year, given the theorists’ needs and the sustained-in-time wealth of many very high-level applicants.*

*CSN4-4 – In view of further assessing the impact of technological innovation on the theoretical efforts (and vice versa) a targeted analysis of two aspects of their interface would be profitable: i) the impact and use in theoretical work of AI/machine-learning developments; ii) the developments related to quantum computing and quantum technologies. The CVI looks forward to a presentation in the next meeting.*

## **CSN5**

CSN5 coordinates advanced technological research for core experimental activities of INFN and promotes the development of instruments, methods and techniques for fundamental physics and their

applications in other fields. Its activities involve about 585 FTEs and have a significant social and economic impact. The gender balance is good at the level of 30 % of the FTEs.

CSN5 has three research lines dedicated to accelerators (including superconducting systems, cavities and coating), detectors, electronics and computing (including detectors, quantum sensing, AI) and interdisciplinary physics (including dosimetry, hadron therapy, AI in medical applications). Funding for projects is distributed among the three categories; in parenthesis the number of running projects in 2023: standard projects (64), 2-4 years receiving up to 100K€/y, calls for proposals (10), 3-4 years receiving up to a total of 1M€, and grants for young researchers (12). The share between the three lines of research was 16 projects for accelerators, 37 projects for detectors, electronics and DAQ, and 33 projects for the interdisciplinary physics line. This year, 29 projects have been finished and 23 new have been approved, resulting in a reduction of the number of active projects due to delays caused by COVID in running projects.

Standard projects 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. There are also the so-called calls for proposals. The aim is to select exceptional and very challenging projects involving a high number of researchers. The grants for young researchers (GfYR) last two years and cover both the salary and the research activity. The GfYR projects have in many cases been the seed for future initiatives and projects. It is important to notice that the GfYR have proven to be a good stepping stone to obtain EU-resources, as it is very selective, and the successful candidates acquire very soon the leadership mindset suitable for the challenges related to the high-risk/high-gain character of EU projects.

The CSN5 emphasis on fostering interdisciplinary activities is highly appreciated. The competitive assignment of internal funds after rigorous evaluation, as well as the follow up at different stages of the projects is remarkable. Following last year's request of the CVI regarding the impact of grants for young researchers, it is found that grant winners demonstrated to be able to realize a successful career as researchers and developed new research projects. The GfYR winners stay in 85% of the cases in academia, either at INFN or at universities. One can conclude that this is a good tool for identifying promising researchers or technologists, improve their motivation and fostering their independence and leadership.

The CSN5 has also reviewed the call for proposals. Their study reveals that the investment since 2014 has been approximately 15 M€. These investments have helped to attract funds from other sources than INFN of the order of 29 M€. In addition, during this decade 96 PhD students have defended and 11 patents have been registered. One can conclude that the calls for proposals have proven to foster R&D activities for the advancement of the technological and applied research in INFN. The financial returns in terms of new projects (also European) and collaborations are large. The CVI thanks CSN5 for the study presented on the results achieved by the GfYR and call for proposals.

### ***Recommendations***

***CSN5-1*** – *The CVI recommends INFN to consider enlarging the number of GfYR per year with the idea of using the developments proposed in the grants as a proof-of-principle to enhance the application for ERC grants and other EU projects.*

***CSN5-2*** – *The CVI would like to learn more about the involvement of foreign partners in the call for projects.*

## The Gravitational-wave program<sup>1</sup>

INFN is participating in three major gravitational wave detectors: VIRGO, which is in operation, the Einstein Telescope as the European next-generation gravitational wave (GW) facility, and the planned space-based LISA interferometer. The Einstein Telescope will provide a huge improvement in sensitivity compared to the current instruments LIGO, VIRGO and KAGRA. Very low frequency GWs cannot be detected from the ground, due to overwhelming background noise. The space-based LISA instrument will address this frequency range.

VIRGO: VIRGO joined O4 GW run late; this run will continue until Mid-2025, followed by a two-year shutdown for upgrades. With a current range of 55 Mpc for neutron star merger detection, VIRGO is inferior to the US LIGO instruments with their 180-190 Mpc range, and is performing below its performance target. Significant effort went into the investigation of the VIRGO performance limitations. The marginally stable cavities and interaction with the signal recycling cavities were identified as a likely cause. The EGO organization formally responsible for operating VIRGO and the VIRGO Consortium were so far unable to appropriately address these problems. Since this was perceived at least partly due to deficits in the organization, the EGO Council, with INFN as a main party, set up a management review by a high-level external committee, as well as a technical review committee to review the planned fixes and upgrades towards the O5 run, once a TDR is available. The management review recommended to re-organize VIRGO/EGO to create a rigorous project management structure, strengthening the role of the resulting “VIRGO-lab” and creating a well-defined line of command.

Einstein Telescope (ET): The design initially proposed for ET consists of three 10 km long double-arm interferometers, arranged in a single large triangle. There is outstanding Italian support for the project, covering a significant fraction of project costs if realized in Sardinia, well exceeding the support offered for other sites. Also, very important large resources (via the PNRR ETIC projects and other sources) are provided for further characterization of the Sardinia site, for the preparation of a site bid book, and for instrument R&D. The Sardinia site is excellent as far as seismic noise and geology is concerned. INFN has been investigating and promoting an alternative 2L configuration. Two widely separated “L”-shaped detectors with 15 km arm length, rotated by 45 degrees relative to each other, provide performance exceeding that of a 10 km triangle configuration for most science cases except for high-frequency primordial GW. The 2L interferometers are less complex than a triangle, reducing technological risk. ET is in the process of getting organized, with the ET Organization (ETO) providing the formal structure and legal entity, and the ET Consortium (ETC). INFN has implemented the TETI team in charge of preparing the bid book for the Sardinia site proposal, and has initiated an external review of TETI and of its interaction with ETC/ETO. The review considered TETI understaffed and indicated that coordination and in particular decision lines between EGO, ETC and TETI need to be redefined, to enable an efficient and cost-effective design of this extremely complex project.

International Gravitational Wave Network (IGWN): While GW instruments already coordinate their data taking and share their data, the LIGO organization has proposed the creation of a more formalized IGWN, coordinating the individual observatories and their evolution. While such a network could indeed have a very positive impact, its exact role and its powers (if any) remain to be sorted out.

LISA: The INFN team working on LISA is relatively small, but it made key contributions towards developing LISA technology and successfully demonstrating these technologies with the LISA pathfinder. With the mission adoption by ESA, for launch in 2035, LISA has taken a big step in 2024.

---

<sup>1</sup> As director-elect of Nikhef, Jorgen D’Hondt will soon be co-coordinator with Antonio Zoccoli (INFN President) of the Einstein Telescope ESFRI project, and therefore he did observe a passive role during the discussions on the topic of Gravitational Waves.

VIRGO, ET and LISA share features of technology and address the same science. Workshops to enhance communication between GW projects in Italy will be organized.

### **Comments**

VIRGO: Acting upon the key recommendations of the management review, the EGO Council and INFN have taken appropriate steps towards addressing the problem and re-organizing the project. The goal is to have the new structure in place by the end of 2024, providing a much higher degree of control to the management of a future “VIRGO-lab”, and equipping it with sufficient project management resources and engineering resources, towards preparing a TDR for the O5 upgrade. This will require increased engagement and resources by all parties.

Einstein Telescope: Italy and INFN are providing outstanding leadership in driving the project. At this time – late 2024 – the project is in a complex situation, and many key decisions are open and intertwined: (i) two or potentially three sites are offered; (ii) the choice of a single-sited instrument in triangle configuration, or a double-sited instrument with an “L” configuration at each of the sites; (iii) the legal form of the Einstein Telescope Observatory (ETO) and the responsibilities of ETO and its interaction with the Einstein Telescope Collaboration (ETC). Current funding commitments – while of very large scale – are insufficient for any of the options; costs are driven by the tunnel infrastructure, with significant uncertainties. Finally, with Cosmic Explorer a similar project is proposed in the US, and decisions may interact. The INFN-initiated review of ETO + ETC + TETI indicated that the current organization may face similar issues than EGO/VIRGO, lacking strong central authority. Furthermore, the decision process towards an ET baseline design appears not yet well-defined.

### **Recommendations**

**GW-1 – VIRGO**: *The EGO Council and INFN should continue the forceful and timely implementation of key recommendations of organization review. Once a technical solution and upgrade plan towards O5 is in hand and documented in a TDR, the already established technical review panel will review the plans for O5. Based on the result of this review, the EGO Council should address the longer-term evolution and sustained potential of the observatory.*

**GW-2 – Einstein Telescope (ET)**: *A strong partnership across Europe is crucial for the success of the ET project. The parties involved, and in particular INFN, should make every attempt to enable a coordinated and consensual site proposal. This also includes:*

- (i) Strengthening ETO and empowering with adequate project management and engineering resources to overview design and implementation;*
- (ii) Deciding on and implementing the ETO legal entity as early as feasible;*
- (iii) Defining and agreeing on the decision process, milestones and timeline towards baseline design;*
- (iv) Clearly defining the respective roles of ETO and ETC, and their interfaces.*

## **DarkSide**

DarkSide (DS) aims at detecting Dark Matter recoils using prompt scintillation and delayed electroluminescence from ionization electrons. Pulse shape discrimination is used to discriminate against electron recoil. DS provides excellent background suppression and hence discovery potential; it is complementary to the Xe-based experiments. A crucial ingredient of the experiment is the use of

Underground Argon (UAr, depleted of  $^{39}\text{Ar}$ ) as target material. The UAr is extracted in the US using the Urania plant and purified in Sardinia using the ARIA facility.

DS construction and installation at LNGS has made excellent progress during the last year. The cryostat has been closed, the cryogenic infrastructure for atmospheric Argon is being installed. The components of the Urania plant have been installed at the Kinder-Morgan site in Cortez, CO, with few months of work remaining for piping and connections; an in-depth safety review of Urania is starting soon. In summer 2024, the UAr project underwent a thorough international review, resulting in many detailed recommendations but not finding any showstoppers. The refurbishment of the ARIA Castello has been concluded. Regarding detector construction, the NOA clean-room facility at LNGS is fully operational, and 2/3 of the light sensor wafers have undergone cryoprobng, with an excellent 94% yield. Preproduction of TPC photodetectors in NOA is ongoing. Also, the production of veto tiles in the UK is 40% complete, with good yield.

A concern was and is that the experiment has a “reference” baseline but not yet a real baseline. While already under construction, and with a significant fraction of funding spent, there were many non-trivial design changes in the last two years, concerning e.g. the neutron shield of the TPC, the decision to assemble the TPC in-situ in the hall rather than in the NOA clean-room facility, the transport of underground Argon in liquid rather than gaseous form, and others. The Forti committee appointed by INFN, with its continued engagement and insistence, contributed crucially to guiding the experiment towards a real baseline. With the decision to use normal PMMA rather than Gd-loaded PMMA for the TPC wall, a major open design decision was taken. While neutron background increases by a factor 3, the background remains – at least in the fiducial volume of the TPC – uncritical. The complex installation procedure for the TPC remains to be detailed, and may require design adaptations.

Compared to the January 2023 schedule, there is a schedule slip of about 35 weeks. Most of the funding holes still present a year ago appear to be closed, through additional funding and release of contingency. The text of the construction MoU is largely agreed; work on the annexes detailing the contributions of the various parties is ongoing. The agreement with DOE regarding Urania operation is still open.

### ***Comments***

The CVI congratulates DarkSide (DS) on the excellent progress in all areas; it is impressive to see this huge and highly complex project with its many components – Urania, ARIA, the cryostat, the TPC – being mastered. The CVI acknowledges the enormous and continued effort by the Forti committee; the interaction with and the constructive support by the committee interaction greatly benefits DS. The interaction and communication of DS with LNGS as the host lab improved significantly, but the support of DS will remain a large load and a challenge for the lab.

Regarding detector design, the decision to go for a pure PMMA neutron shield of the TPC – as opposed to Gd-loaded PMMA – settles a big remaining open issue. The many in-depth reviews of DS did not reveal showstoppers, but evidently major challenges remain, such as the installation planning for the TPC that is to be assembled in-situ, and bringing Urania + ARIA into stable operation. Since the project still does not have a stable baseline, further schedule slips and cost increases are to be expected, but hopefully at a modest level. But while the aim of DS clearly is to be first in probing lowest Dark-Matter cross-sections, the value of the experiment is equally in its ultimate reach, its powerful background suppression and its complementarity with other techniques.

### ***Recommendations***

**DS-1** – Given that the basic design of the TPC is now fixed, DarkSide must establish a realistic resource-loaded schedule for the installation and commissioning.

**DS-2** – Darkside should establish with LNGS the interaction between the hall refurbishment schedule and the installation schedule, to foresee and prevent any logistical or safety issues. The planned works in the road tunnel may impose additional constraints.

**DS-3** – The Urania final safety review, and the timely startup and commissioning of Urania are of vital importance for DarkSide and require utmost care and attention.

**DS-4** – The still-open agreement with DOE regarding Urania operation is time-critical and must be addressed.

**DS-5** – DarkSide should prepare in a timely fashion the MoU covering the operation of the experiment, defining the sharing of responsibility and of cost.

## **LNL**

The Legnaro National Laboratory (LNL) is a national facility offering a state-of-the-art research infrastructure to researchers in nuclear physics and in interdisciplinary fields. The researchers are involved in accelerator-based science and applications and in R&D in particle accelerator technology. The LNL counted 157 employees, of which 137 with permanent positions and 20 with temporary positions, 100 associates, and about 500 users per year.

The new Director Faical Azaiez has reorganized the upgrade projects from a work package approach to a multi-phase (5 phases) approach to account for limited human resources with a well-defined schedule. The highest priority is completing the long standing SPES (Selective Production of Exotic Species) accelerator complex and radioisotope production facility. The five phases are: Phase 1: SPES Superconducting cyclotron and beamlines complete with beam to experiments 2024. Phase 2: ISOL Target ion source and vault complete, and beamlines to experimental hall. Phase 3: Complete Adige new Injector & RFQ for SPES post accelerator. Phase 4: Plans for radioisotope facility will start from in 2025. Phase 5: Commissioning of post-accelerated Radioactive Ion Beams: mid 2027.

The new data center (CED) building construction was completed March 2024. The European Spallation Source (ESS) Drift Tube Linac (DTL) has been completed. The refurbishment of the Auriga building has been completed to house Superconducting RF facilities for future projects.

### **Comments**

Congratulations to the new Director for implementing a phased approach to completing projects. It is important to continue to host the AGATA multi-detector array and provide adequate support for the user community, as well as to continue operating the accelerator complex and attract users back and identify the scientific niche. In addition, it is important to build off the historical strength in superconducting RF to get engaged in new projects and to determine the future of the three aged electrostatic accelerators: the TANDEM accelerator (43 years), the AN2000 accelerator (53 years) and the CN accelerator (63 years).

### **Recommendations**

**LNL-1** – Focus on completing accelerator upgrade projects and deliver ISOL RIB beams to user community.

*LNL-2 – Develop the Advanced Technology and Innovation platform (ATIP) for Superconducting RF capabilities for use with future projects like CERN's FCC-ee and industrial applications.*

*LNL-3 – Once accelerator complex upgrades are well advanced begin a new radioisotope facility for medical purposes.*

*LNL-4 – Develop a plan to attract high-level researchers.*

*LNL-5 – Make a sustainability plan to reduce SF6 leakage.*

*LNL-6 – Review the motivation for a continued tandem operation.*

## **LNS**

The Laboratori Nazionali del Sud (LNS) very broad research program focuses on nuclear physics, astrophysics, theoretical physics, applications of nuclear physics along with development of acceleration systems and ion sources. The LNS total number of staff members at the end of 2023 was 164 (researchers, technologists, technicians, administrative) and 26 fixed terms contracts. The overall number of associated personnel units (not INFN staff) was about 130. LNS is very active on many projects. Only some are mentioned below.

LNS has as a priority focus on the ambitious KM3NeT-ARCA upgrades, the seafloor network which will require 3-4 years to complete. The KM3NeT-ARCA detector is currently operating a 28-string configuration. An additional 15 strings are to be deployed by the end of October 2024. The KM3NeT4RR-PNRR project is a large expansion of infrastructure and 50 Detection Units and should complete at the end of 2025.

The POTLNS project is the most ambitious initiative for LNS concerning infrastructural enhancements for nuclear physics research, with focus on neutrino-less double beta decay matrix elements. The POTLNS is to be complete by June 2025. There are other experiments preparing for the high intensity isotope running such as CHIRONE that will use the upgraded high granularity Chimera detector. In nuclear astrophysics, PANDORA is a new astrophysics experiment to study beta decays in magnetized plasmas. The future MAGNEX spectrometer configuration will allow handling higher rates from upgraded cyclotron with the NUMEN project, which is essential for neutrino-less double beta decay matrix elements.

The overall accelerator complex is undergoing several upgrades. There are two accelerators, a 15 MeV Tandem Van De Graaff and a K800 superconducting cyclotron, capable of producing stable and radioactive beams. The Tandem accelerator upgrade is complete, and testing will begin in the spring of 2025. The Superconducting cyclotron assembly is underway after nonconformities, causing two years in delay and 20% cost increase. The plan is to commission the hardware in 2026, and low intensity commissioning of the beam by the end of 2026 and high intensity commissioning in 2027. The fragmentation separator facility FRAISE is progressing well. FRAISE will be able to handle intense primary beams that will produce intense and high-quality radioactive beams. Further upgrades or replacement of the ECR ion sources will eventually be needed for high intensity operation.

I-LUCE (INFN-Laser indUCEd particle acceleration) will be a new facility for laser plasma acceleration dedicated to producing protons, ions, electrons, neutrons and gammas. The laser arrives at the end of 2025 and is high-power (up to 1 PW) producing ultra-short (down to 25 fs) laser pulses. Funding has been secured.

For FRIDA, the FLASH therapy program, tests are underway.

LNS is successfully managing bid package for Einstein Telescope feasibility in Sardinia.

### ***Comments***

The Laboratory is very busy with many projects and upgrading infrastructure. The team is to be congratulated on impressive KM3NeT progress. There is an ambitious plan for measuring neutrino-less double beta decay matrix elements, which is a scientifically important program. The MAGNEX spectrometer upgrade will allow handling higher rates from the upgraded superconducting cyclotron with the NUMEN project, which is essential for neutrino-less double beta decay matrix elements.

In addition, once completed, the inflight fragmentation RIB facility will provide an active experimental program for the next 30 years. New radiation protection licenses are needed due to the increased beam currents.

LNS staff is to be complemented on the multiple outreach activities.

There are many projects underway, and many rely on an operating superconducting cyclotron. The dire need for project management across the laboratory and insufficient technical staff throughout the complex has led to delays and increased costs of the accelerator complex and detectors. Prioritizing of work by project management is necessary. This situation needs to be remedied by INFN with increased resources for more staff or continued slippage and increased costs will occur.

### ***Recommendations***

*LNS-1 – Effective project management with increased support from INFN is needed to successfully complete upgrades and successfully commission the accelerators, beamlines, and detectors.*

*LNS-2 – Continue with KM3NeT and start the Einstein Telescope work as a priority.*

*LNS-3 – I-LUCE potential is significant and once PNR equipment is commissioned a review is appropriate to establish the scale of facility.*

## **Laboratory of nuclear techniques for Environment and Cultural Heritage (LABEC)**

LABEC is a laboratory of nuclear techniques for environmental and cultural heritage. Its staff is both from INFN and Univ of Florence, with a total of 21 FTEs nearly gender balanced. They are articulated in three lines of research: cultural heritage and construction of instruments, environment and material modification. In addition, they have a group dedicated to digitalization and the tandem support staff. All lines are very active with several research grants. The facility has a 3 MV tandem dedicated to Atomic Mass Spectrometry (AMS) and Ion Beam Analysis (IBA), and ancillary laboratories for sample preparation.

LABEC's mission is to develop innovative techniques and technologies in nuclear physics for applications in material science, environment, archeological and historic-artistic context. On the part of development of instruments, one has to mention two initiatives: the development of portable instrumentation for X-ray material composition analysis within INFN-CHNET and, together with

CERN-KT, the development of a 2 MV proton accelerator called MACHINA that will be placed next spring at the “Opificio delle Pietre Dure”.

LABEC is an international reference for cultural heritage with national and international projects and high visibility. It coordinates the Italian network, CHNet, for joint efforts on cultural heritage of INFN centers, Italian universities and national and regional restorations centers with the mission of defining common R&D lines and activities. It addresses the needs of the Italian cultural heritage institutions and promotes technology transfer, knowledge exchange, and internationalization. Furthermore, LABEC coordinates the EU project 4CH (2021-2024) to set up the methodological and organizational framework of a Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage that gives advice, support and services to a network of cultural institutions on the preservation and conservation of historical monument and sites.

LABEC hosts a European mass calibration center for atmospheric dust. In addition, the project GAIA (PIN 2022, PNRR funds) develops advanced instrumentation for aerosol characterization with the aim to understand how these aerosols reach the Arctic and to learn about their climate impact.

To remain highly competitive, they have prepared a document for an upgrade of the laboratory, with the aim of installing a low voltage tandem for AMS only and to reconfigure the existing tandem for IBA measurements and irradiations with controlled doses.

### ***Recommendations***

*LABEC-1 – The CVI is impressed by the LABEC research projects, but is concerned about the impact that the refurbished tandem infrastructure can have on current projects. Thus, the CVI supports the upgrades needed to remain at the forefront position and at the same time recommends careful planning in order to mitigate the impact on the present research activities. CVI recommends INFN to continue their commitment and support to LABEC’s program.*

## **Environmental impact**

A first thorough study has been performed covering five aspects: energy consumption, CO<sub>2</sub> imprint, water imprint, waste management and ionization radiation. The analysis has been restricted to the national laboratories, because of data availability. The energy consumption is dominated by electricity consumption, with LNF and next LNL as main consumers because they host accelerators, and LNGS comes next as consumer.

Two main points stressed are the carbon footprint and the waste management. The CO<sub>2</sub> imprint results from direct (scope 1) and from indirect contributions. Direct contributions are the dominant ones, in the form of green-house gases (GHGs) and in particular from SF<sub>6</sub> emissions, resulting from the maintenance of the Tandem electrostatic particle accelerator, and the decommissioning of facilities. As a result, LNL has nowadays the largest carbon footprint. The indirect contributions considered (scope 2) include purchased electricity, while scope 3 includes other sources which are not yet analyzed.

### ***Comments***

The CVI praises the authors of the report for their excellent work and thoroughness. The CVI looks forward to the first quantitative analysis of the scope 3 indirect carbon footprint next year. It is appropriate that all new INFN constructions are informed and monitored by this group, in view of

minimizing their environmental impact. It is commendable that some imprint-reducing actions have been already implemented.

The CVI praises the initiative of establishing a working group that is already devising how to reduce SF6 emissions, via the replacement of the GHGs used with other gases exhibiting a lower environmental impact. The same applies to the energy-saving working group.

### ***Recommendations***

*EI-1 – It is necessary to propose –for next year– a first clear set of quantitative targets and benchmarks, against which progress can be assessed.*

*EI-2 – Measures to prevent further leakages should be implemented, together with a protocol of containment-control measurements, in order to complement the substitution program for green-house gas emission.*

*EI-3 – The CVI strongly recommends to strengthen the collaboration on environmental-impact issues with international bodies, and in particular with CERN.*

*EI-4 – For illustration and communication purposes, a comparison with the environmental impact of other facilities (e.g. hospitals, some industry) would be most welcome for next year.*

## **Computing Services and the National Centre CNAF**

CNAF is the national center of INFN dedicated to research and development on information and communication technologies. The current staff number is 65 with 23% female. CNAF manages the Tier-1 center for the WLCG (World-wide LHC Computing Grid, led by CERN), the main computing facility for INFN. The Tier-1 center has 60 collaborations, dominated by the large CERN experiments ATLAS and CMS. A main pillar of CNAF is the Data Cloud which is an INFN initiative to merge data centers, together with all Tier-1, Tier-2 and Tier-3 centers into a common national data-lake. The facility is also reaching out to other users of big data such as the medical community. CNAF has established collaborations with institutions operating in the bio-medical, genomic and oncological sectors.

Substantial investment in computing has been realized. Tecnopolo, a new modern data center located in Bologna, is a joint initiative by INFN and CINECA, for both the INFN Tier-1 center and the European supercomputer Leonardo. The center was inaugurated May 10, 2024. The new data center currently allows the use of up to 3 MW of power (up from 1.5 MW) and will reach 10 MW of power in 2027, adequate for HL-LHC needs and beyond. CNAF data has been migrated to Tecnopolo with no losses. The computing farms and disk storage were moved and a new tape storage facility installed. The G7 Ministers for Research and Innovation meeting was successfully hosted at the center.

The PNRR public-private national ICSC project is largely on track. There is a hub and spoke model with INFN focusing on High Performance (#1) and Quantum Computing (#10) being two of the 11 spokes, with spoke (#0) being cloud infrastructure. A new Director has been appointed for the ICSC: Daniela Gabellini. INFN has plans to purchase three quantum computers, two neutral atom and one superconducting.

### ***Comments***

The new facility is heavily subscribed but not oversubscribed. The effort to work with SMEs and startups is interesting. There are 12 proposals received. INFN and CNAF have several strategic objectives, including coordination of an INFN wide cloud in the context of the new ICSC national center funded by PNRR. However, there are concerns that long term financial sustainability is not evident. The team is concerned about losing the 30% staff funded through PNRR and yet the need of resources to operate the new facilities is clear. On the issue of cyber security, the team is taking advantage of the national team.

### ***Recommendations***

***CS-1*** – Given the extreme importance and visibility of the new data center Tecnopolo, INFN should carefully analyze the number of PNRR temporary staff that need to become permanent.

***CS-2*** – INFN should continue to focus effort on quantum computing.

***CS-3*** – Consider a 3<sup>rd</sup> party cyber security review of business and scientific data.