



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



**PIANO
TRIENNALE**

2024
2026

Sommario

Introduzione	I
1. L'Istituto	1
2. Le Risorse finanziarie	3
2.1 L'evoluzione storica del bilancio	3
2.2 Le risorse ordinarie	5
2.3 Il profilo triennale delle risorse disponibili e della spesa per il periodo 2024-2026	9
3. Le risorse di personale	13
3.1 Fabbisogno di personale	13
3.2 Parità, pari opportunità e benessere organizzativo	21
4. Gli obiettivi gestionali e organizzativi	23
5. Le attività di ricerca scientifica e tecnologica	25
5.1 Resoconto dell'attività svolta nel 2022	25
CSN1 – Fisica delle particelle.....	25
CSN2 – Fisica delle astroparticelle.....	27
CSN3 – Fisica nucleare.....	29
CSN4 – Fisica teorica.....	32
CSN5 – Ricerca tecnologica.....	35
5.2 Prospettive dell'attività di ricerca nelle CSN per il periodo 2023-2026	38
CSN1 – Fisica delle particelle.....	38
CSN2 – Fisica delle astroparticelle.....	39
CSN3 – Fisica nucleare.....	40
CSN4 – Fisica teorica.....	42
CSN5 – Ricerca tecnologica.....	42
5.3 Coordinamento Nazionale Calcolo	44
Calcolo ad alte prestazioni.....	45
Calcolo quantistico.....	45
6. Le Infrastrutture di ricerca	47
6.1 I Laboratori Nazionali	47
LNF – Laboratori Nazionali di Frascati.....	47
LNGS – Laboratori Nazionali del Gran Sasso.....	50
LNL – Laboratori Nazionali di Legnaro.....	54
LNS – Laboratori Nazionali del Sud.....	57
6.2 I Centri Nazionali	61
CNAF.....	61

GGI – Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics.....	63
TIFPA – Trento Institute for Fundamental Physics and Applications	65
6.3 Altre infrastrutture.....	66
LABEC – Laboratorio di tecniche nucleari per l’Ambiente e i BEni Culturali	66
LASA – Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata.....	67
EGO – European Gravitational Observatory.....	69
KM3NeT/ARCA - Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss.....	70
EuPRAXIA – European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications	71
ET – Einstein Telescope	72
7. I progetti con altri Enti e Università, progetti europei, ERIC e fondi esterni.....	75
7.1 Università ed altri enti	75
7.2 Progetti europei ed ERIC.....	76
7.3 Fondi esterni.....	77
8. I progetti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.....	79
8.1 I progetti a guida INFN	80
8.2 Altre attività.....	85
8.3 La Governance.....	85
9. La partecipazione a Consorzi, Società e Fondazioni.....	87
10. Le attività di terza missione e alta formazione.....	89
10.1 Comunicazione e Public Engagement.....	89
L’Ufficio Comunicazione e il Comitato di Coordinamento Terza Missione	89
Principali attività di comunicazione e public engagement	90
10.2 Progetti Nazionali di diffusione della cultura scientifica	94
10.3 L’INFN per l’innovazione tecnologica e la competitività industriale	95
10.4 Alta formazione	98
11. La valutazione dell’Ente.....	99
12. APPENDICE: CVI Report 2023	101

Introduzione

Il Piano Triennale di Attività 2024-2026 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni¹. 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 che da quest'anno ha un piccolo acceleratore), 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); JINR (Russia), 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 6 gruppi collegati all'interno dei dipartimenti di fisica delle principali università italiane. Il personale universitario

¹ 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.

Quello che si è appena concluso è stato l'anno di inizio delle attività del PNRR. Avviare i progetti del PNRR mantenendo l'operatività delle altre attività dell'Istituto è stata una sfida organizzativa formidabile – il PNRR ha portato incrementi di +100% di budget da spendere e +10% di personale da reclutare in poco più di un anno – che possiamo dire di avere vinto. Alla fine del 2023 abbiamo raggiunto il 90% sia del personale reclutato che delle gare bandite previsti dai progetti del PNRR.

Ha pagato la scelta di presentare progetti solidamente basati sulle nostre attività e sulle nostre competenze: ICSC, il Centro Nazionale di Ricerca in *High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing* di cui siamo stati promotori, punta a creare un'infrastruttura nazionale distribuita per il calcolo di tutta la comunità scientifica nazionale che può essere considerata il naturale sviluppo della nostra infrastruttura per il calcolo delle grandi collaborazioni sperimentali in fisica delle alte energie, che sta traslocando quest'anno al Tecnopolo di Bologna. A parte il progetto TeRABIT, che si propone di potenziare l'infrastruttura di rete per la ricerca in sinergia con le attività di ICSC ed è condotto in collaborazione con OGS e GARR, i progetti infrastrutturali di cui siamo responsabili espandono e accelerano attività già presenti o previste nei nostri laboratori: ETIC potenzia un'infrastruttura distribuita di ricerca e sviluppo delle tecnologie necessarie per costruire l'interferometro europeo per la rivelazione di onde gravitazionali di prossima generazione, *Einstein Telescope*, e si occupa della fase preparatoria alla candidatura del sito italiano in Sardegna; EuAPS è un progetto di ricerca funzionale alle attività dell'acceleratore EuPRAXIA in costruzione ai Laboratori Nazionali di Frascati; IRIS si propone di sviluppare applicazioni delle tecnologie superconduttive che studiamo al LASA di Milano e in altri laboratori delle nostre sezioni; KM3NeT4RR potenzia il sito italiano dell'osservatorio di neutrini sottomarino KM3NeT, consentendo di completare gran parte dell'installazione finale in tempi rapidi; LNGS-FUTURE rafforza le infrastrutture di ricerca dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, preparandoli per la prossima generazione di esperimenti *underground*.

Anche nei progetti PNRR nei quali non siamo capofila, nei partenariati estesi e negli ecosistemi per l'innovazione contribuiamo su temi propri delle nostre ricerche, dall'intelligenza artificiale alla fisica medica, utilizzando le consolidate competenze dell'Istituto non solo in campo tecnico-scientifico ma anche amministrativo e gestionale. Con tutto questo, è stato fondamentale, per riuscire a far fronte nei tempi previsti al forte incremento dei carichi di lavoro amministrativo-gestionale senza incidere eccessivamente sullo svolgimento delle altre attività dell'Istituto, costituire una struttura temporanea di missione PNRR, con una cabina di regia guidata da ricercatori di grande esperienza scientifica e manageriale, che affianca la struttura amministrativa e gestionale ordinaria negli ambiti del reclutamento, del *procurement*, della rendicontazione e del *project management*, avvalendosi anche del supporto di una società di consulenza esterna. Questa struttura, ramificata nelle diverse Direzioni, ha operato in sinergia con l'Amministrazione Centrale per raggiungere gli obiettivi relativi a reclutamento e procurement nei tempi previsti. La cabina di regia ha operato con grande regolarità ed efficacia, interfacciandosi con successo con il MUR, monitorando lo stato delle attività, individuando le criticità, proponendo soluzioni ed elaborando, in collaborazione con la società di consulenza, nuovi modelli e tool di gestione di progetto che si sono rivelati efficaci e che quindi contiamo di estendere in futuro a tutte le nostre attività. Naturalmente il compito della cabina non è concluso: i progetti devono essere accompagnati nella fase di esecuzione con un supporto per tutte le attività di monitoraggio e rendicontazione.

Anche in questa fase, per avere successo, sarà fondamentale la chiarezza delle regole, la semplificazione delle procedure amministrative e la collaborazione a tutti i livelli istituzionali.

L'impegno straordinario per i progetti del PNRR non ha rallentato 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. L'esperimento Muon $g-2$ a Fermilab (USA) ha presentato nel 2023 l'aggiornamento della misura del momento magnetico anomalo del muone, confermando la tensione con la predizione del Modello Standard, ma nuovi risultati teorici mettono in dubbio la solidità di questa predizione. 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.

La discussione sulle future direzioni della fisica dei collider ha avuto un'accelerazione in questi ultimi mesi. Anche se LHC ha di fronte altri quindici anni di attività con il passaggio alla fase di alta luminosità (HL-LHC), sta prendendo sempre più spazio la discussione sulla prossima generazione di *collider* di alta energia, in vista dell'aggiornamento della Strategia Europea della Fisica delle Particelle (ESPP) e della situazione internazionale, che vede le posizioni di grandi paesi come la Cina e gli USA evolversi rapidamente. Il CERN sta proponendo con maggiore risolutezza il progetto del *Future Circular Collider* (FCC), un anello di circa 90 Km in cui attualmente 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 da realizzare in Cina e dell'interesse statunitense a contribuire ad un progetto all'estero mentre in casa puntano a ospitare un innovativo collider a muoni, superando la sfida di dimostrarne la fattibilità. L'INFN ha avviato un programma di ricerca e sviluppo sulla fisica e sulle tecnologie di FCC e del *muon collider* con una serie di workshop dedicati e si sta preparando a dare il proprio contributo all'aggiornamento della ESPP.

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. Infatti, mentre l'osservazione di un candidato sarebbe la prima evidenza diretta della materia oscura e costituirebbe la scoperta di nuova particella, la rivelazione del decadimento doppio- β senza neutrini dimostrerebbe l'ipotesi che i neutrini siano fermioni di Majorana, aprendo la via alla comprensione della gerarchia delle loro masse. Abbiamo operato con successo per mantenere al Gran Sasso questa *leadership*, 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- β senza neutrini (CUPID, LEGEND). Siamo particolarmente soddisfatti delle nostre ottime relazioni con le agenzie di finanziamento degli USA che, oltre a portare LEGEND al Gran Sasso, ci danno la possibilità di contribuire all'*Electron Ion Collider* (EIC) – un acceleratore di prossima generazione per lo studio del plasma di quark e gluoni in costruzione a BNL – e di partecipare ai programmi del *Superconducting Quantum Materials and Systems Center* (SQMS) a FNAL, dedicato allo sviluppo delle tecnologie quantistiche con i superconduttori.

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 partendo 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. Ai Laboratori Nazionali di Legnaro sta per iniziare a funzionare il nuovo ciclotrone B70 alla base del progetto SPES, 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 potenziamento del ciclotrone superconduttore che permetterà di studiare fenomeni rari in fisica nucleare. Inoltre, questi ultimi Laboratori forniscono supporto alla costruzione di ARCA, l'osservatorio sottomarino di neutrini cosmici di alta energia posto a largo di Capo Passero in Sicilia, polo italiano del progetto internazionale KM3NeT, la cui costruzione ha avuto un'accelerazione notevole nell'ultimo anno grazie al contributo dei fondi del PNRR.

L'attività di ricerca sulle onde gravitazionali prosegue con l'inizio della nuova fase di presa dati O4 iniziata nel 2023, a cui l'interferometro franco-italo-olandese Virgo situato a Cascina (Pisa) si unirà all'inizio di quest'anno, appena avrà completato la fase di messa in funzione dell'esperimento dopo l'ultimo aggiornamento. Anche in questo settore è in corso un'intensa attività di progettazione, ricerca e sviluppo per l'interferometro di prossima generazione: *Einstein Telescope* (ET). L'Italia, su proposta dell'INFN, si è candidata a ospitare l'infrastruttura e ha individuato nel sito di Sos Enattos vicino Lula in Sardegna il luogo ideale per la bassissima sismicità e il ridotto rumore antropico. Oltre al supporto per le attività preliminari di caratterizzazione del sito, già previsto sui fondi del PNRR, il Governo italiano sostiene questo piano ai massimi livelli istituzionali con l'impegno della Presidenza del Consiglio a finanziare con 950 M€ in dieci anni la costruzione di ET in Italia. È in corso un'intensa attività scientifico-diplomatica, a cui l'INFN partecipa con grande vigore, per far prevalere la candidatura del sito italiano, attualmente in concorrenza con la regione di Limburg proposta dall'Olanda. Una possibilità per utilizzare entrambi i siti, che a un primo esame sembra anche vantaggiosa da un punto di vista tecnico-scientifico, è cambiare la geometria di ET – nel progetto originale un triangolo di 10 Km di lato – utilizzando invece lo schema dell'esperimento americano LIGO con due interferometri a due bracci posti a grande distanza l'uno dall'altro.

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 tre anni. Purtroppo, in termini reali, questo aumento è stato in gran parte assorbito dall'inflazione. Inoltre, nel 2024 non ci saranno più i fondi del PNRR che avevano portato a un incremento di circa il 50% del budget nel 2022 e 2023. Nonostante la politica di mitigazione messa in atto con la scelta di progetti in continuità con le attività dell'Istituto, siamo preoccupati per l'impatto che il mantenimento delle nuove attività partite con il PNRR potrebbe avere negli anni futuri. Più in generale, siamo convinti 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. Per questo condividiamo senza riserve il Piano Amaldi per aumentare gradualmente il finanziamento pubblico alla ricerca e abbiamo partecipato con grande interesse alla discussione promossa dal MUR su questo tema.

Per quanto riguarda le risorse umane, veniamo da un periodo di reclutamento straordinario che ha portato il nostro personale ad una consistenza numerica, intorno alle 2200 unità, che riteniamo adeguata alle nostre attività. La nostra politica di reclutamento per il futuro punta quindi alla stabilità, garantendo turn-over e ricambio generazionale e basando sull'eccellenza la selezione del personale, in particolare ricercatori e tecnologi. A questo scopo, abbiamo cercato di rendere attrattive le nostre carriere scientifiche con una politica di accesso ai livelli I e II (primi ricercatori/tecnologi e dirigenti di ricerca/tecnologi) che garantisce concorsi a scadenza regolare e riproduce per quanto possibile le carriere degli RTD universitari recentemente riformate. L'implementazione di questa politica non sarebbe stata possibile senza il supporto del Governo attraverso i fondi previsti dal comma 310 del Bilancio di Previsione dello Stato del 2022, che hanno permesso un'accelerazione dei passaggi dal III al II livello coprendo una parte rilevante dei costi.

Per i livelli IV-VIII, abbiamo attivato negli ultimi quattro anni tutte le forme di progressione previste dal CCNL per garantire al nostro personale tecnico-amministrativo le adeguate e meritate opportunità di carriera che non avevano

avuto per molto tempo. Anche in questo caso apprezziamo l'attenzione del Governo che, sempre nel comma 310, ha previsto dei fondi *ad-hoc* per la valorizzazione di questo personale.

Continuiamo a lavorare per migliorare il bilanciamento di genere sia al livello d'ingresso che nei passaggi, attraverso la sensibilizzazione delle commissioni sui *gender bias* inconsci e il monitoraggio *a posteriori* delle probabilità di successo dei generi nelle varie fasi dei concorsi.

Nell'ambito delle risorse umane la vera incognita per il futuro è il personale assunto con i fondi del PNRR. L'ultima tornata di stabilizzazioni aveva ricondotto la frazione di personale a tempo determinato sotto la soglia del 10%, ma il PNRR ha invertito la tendenza, raddoppiando questa percentuale. Abbiamo messo in atto delle strategie di mitigazione, limitandoci ad assumere alcuni profili e cercando di mappare le esigenze delle strutture con le professionalità richieste dal PNRR, in modo da poter utilizzare il turn-over sul medio termine per assorbire una parte di questo personale. Ciononostante, per la natura stessa dei bandi PNRR, le disomogeneità nelle attività e nella distribuzione territoriale rendono molto difficile gestire un'eventuale stabilizzazione totale. Ci auguriamo quindi che non vengano previsti meccanismi automatici di stabilizzazione, ma che si continui piuttosto a consentire di avere un reclutamento a scadenze regolari, come è avvenuto negli ultimi anni e prevedendo eventualmente fondi *ad hoc*, in modo da poter assorbire senza traumi una parte del personale assunto e formato sui progetti del PNRR.

Ultimo punto, ma non meno importante, è il ruolo della scienza per la pace. Abbiamo accolto con molta preoccupazione la recente decisione del CERN di espellere i ricercatori russi e bielorusi dalle proprie collaborazioni scientifiche: è la prima volta nella sua storia che la comunità scientifica del CERN si restringe invece di allargarsi. I tempi sono molto difficili, le guerre in corso hanno aumentato la probabilità di un conflitto su larga scala come non era mai successo negli ultimi decenni e coinvolgono paesi con grandi comunità scientifiche, ma proprio per questo è importante ribadire la neutralità della scienza e il suo ruolo di linguaggio universale di comunicazione tra i popoli, sottolineando come la ricerca della conoscenza sia un obiettivo comune all'umanità tutta. Per promuovere questo messaggio abbiamo partecipato, in occasione del 60° anniversario del Centro "Ettore Majorana" ad Erice, alla redazione e pubblicazione di un [Addendum](#) al Manifesto di Erice, scritto nel 1982 da Antonino Zichichi insieme ai premi Nobel Paul Dirac e Pyotr Kapitsa e sottoscritto da centomila scienziati di tutto il mondo.

Antonio Zoccoli - Presidente dell'INFN

1. L'Istituto

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

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

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

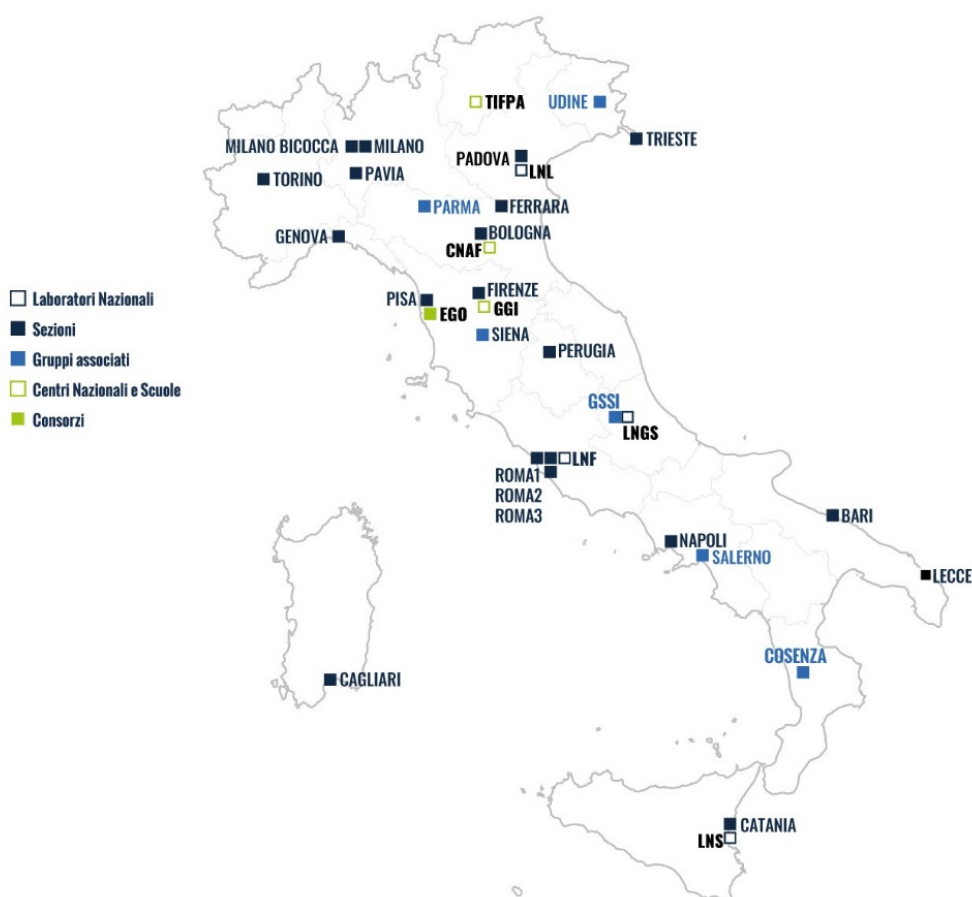


Figura 1.1 Le strutture sul territorio nazionale

A supporto delle attività INFN vi sono inoltre tre centri nazionali: il CNAF di Bologna, che ospita il principale centro di calcolo dell'Ente; il TIFPA di Trento (*Trento Institute for Fundamental Physics and Applications*), un centro nazionale di scienza e tecnologia gestito insieme alla provincia 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.

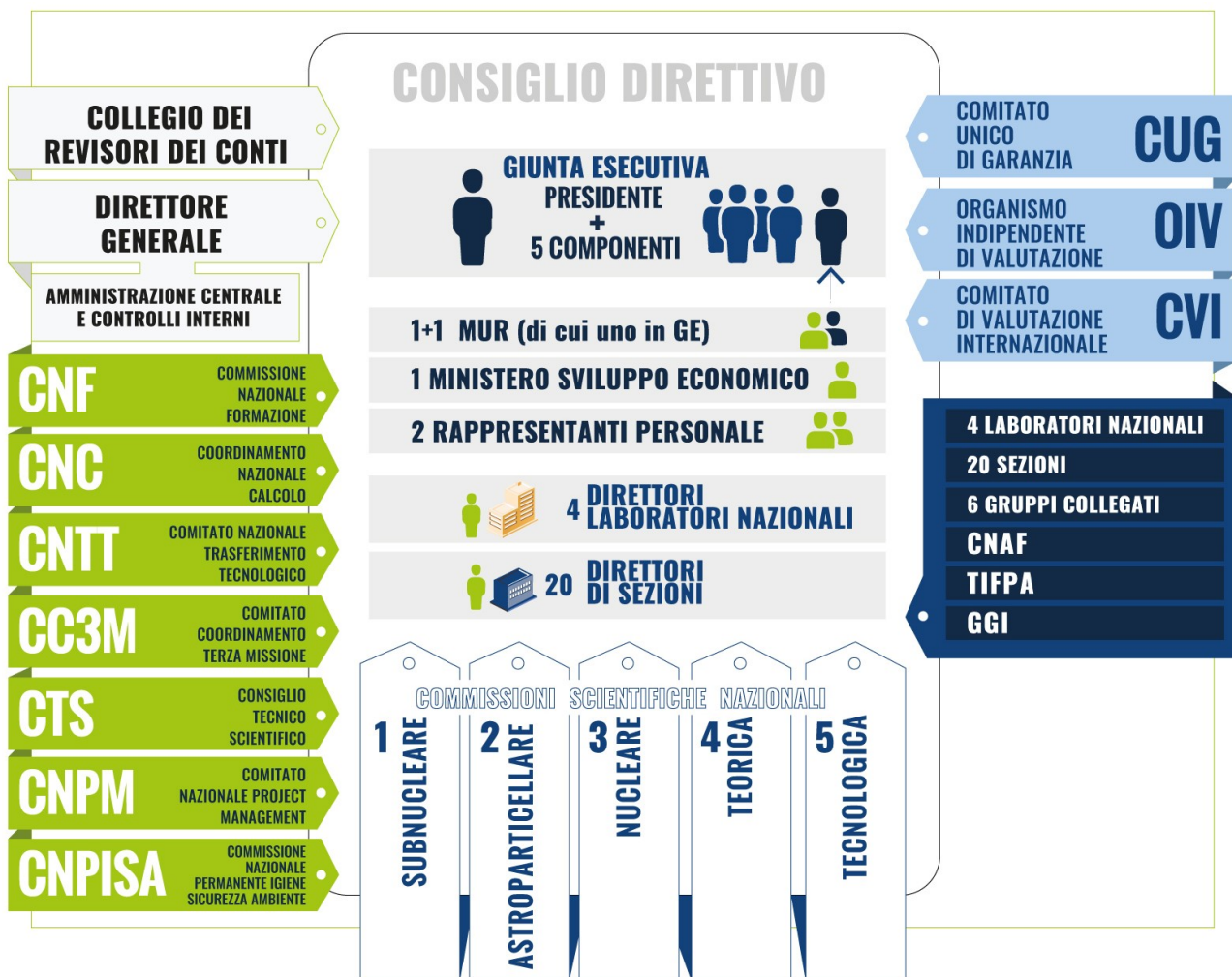


Figura 1.2 L'organizzazione dell'Ente

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 2024-2026.

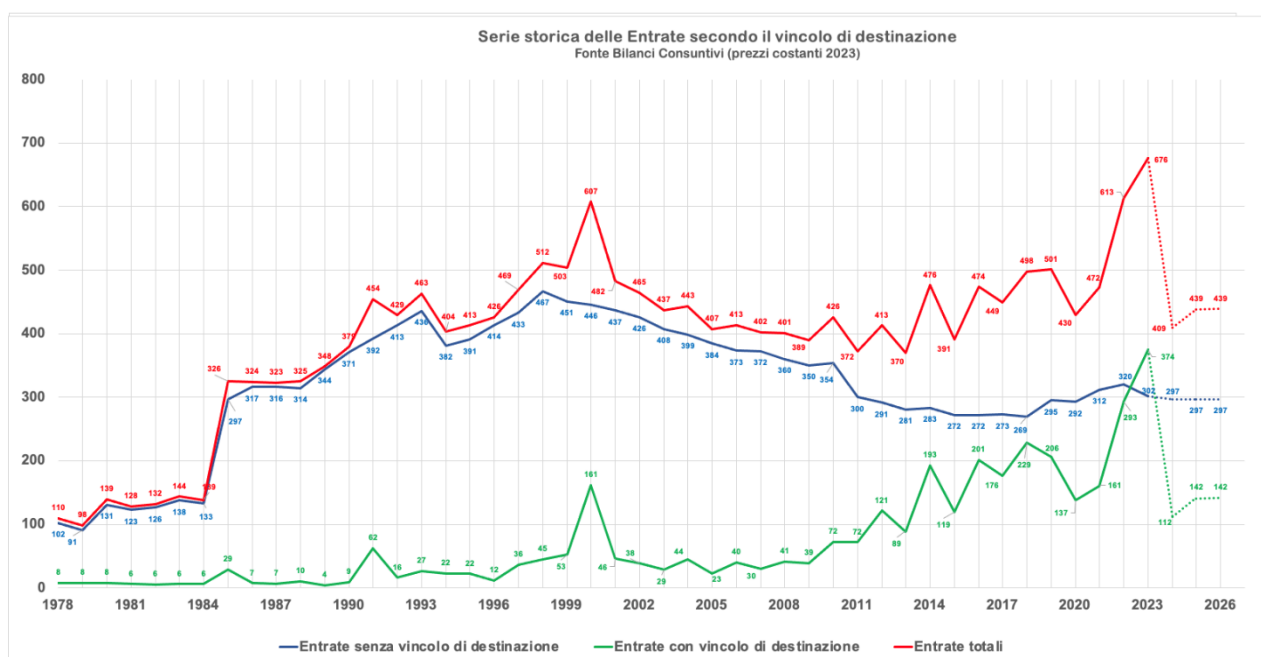


Figura 2.1 Serie storica delle entrate, in milioni €, secondo il vincolo di destinazione, rettificata con il sistema dei "prezzi costanti"

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 ultimi anni hanno cominciato a crescere per l'accresciuta consapevolezza dell'importanza della ricerca e dell'innovazione. Per affrontare la diminuzione del FOE l'INFN aveva intrapreso una duplice azione 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 portato negli ultimi anni alla 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, tra cui ad esempio i fondi dei programmi europei, i fondi regionali (PON e POR), i progetti a valenza internazionale, a carattere continuativo e infrastrutturale e infine il PNRR.

La diminuzione delle Entrate senza vincolo di destinazione, unita al fatto che una parte considerevole del bilancio è costituita da spese intrinsecamente incompressibili, come quelle per il personale, rappresenta un fattore limitante per l'operatività dell'Ente. Questa riduzione incide prevalentemente sulle spese di funzionamento e di ricerca per le quali, come detto, è indispensabile ricorrere ai finanziamenti esterni a destinazione vincolata

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 25 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 2023 e dal bilancio di previsione per l’esercizio 2024, ripartite in due blocchi: *i)* trasferimenti correnti da Ministeri a) e b) (FOE e altre entrate utilizzate per attività a carattere istituzionale) e *ii)* tutte le altre entrate con vincolo di destinazione di cui alle lettere c), d) (entrate destinate alla realizzazione di progetti di ricerca specificamente finanziati) ed e).

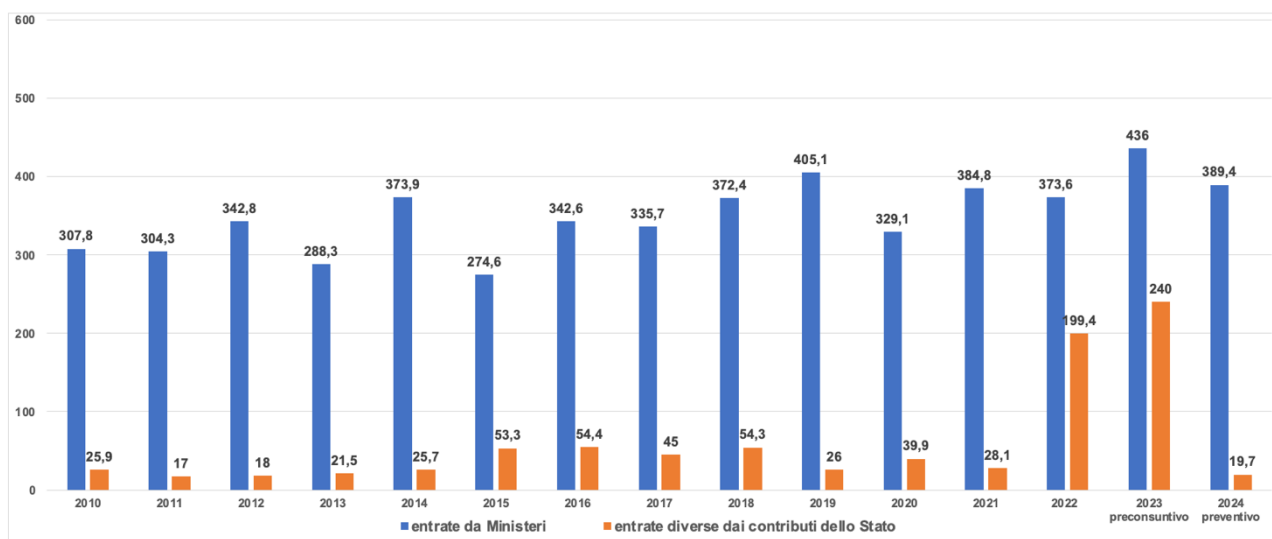


Figura 2.2 Entrate

Le entrate destinate allo svolgimento dell’attività istituzionale, dopo una progressiva e costante riduzione rispetto ai massimi del 2000, negli ultimi 10 anni si sono stabilizzate e, con i provvedimenti governativi degli ultimi anni, tendono ad un incremento. Anche se purtroppo questo incremento è stato controbilanciato dall’aumento dell’inflazione, come si vede dalla Figura 2.1 In particolare, si è registrato un aumento delle entrate destinate all’assunzione di nuovo personale (Tab. 2.2 e Cap. 3) a cui dovrebbe seguire e consolidarsi un aumento delle entrate per spese di ricerca per rendere efficace l’investimento in personale. Di contro le entrate con vincolo di destinazione per i progetti esterni riprendono l’abituale tendenza degli ultimi anni dopo il considerevole incremento avuto per i progetti di PNRR negli anni 2022 e 2023 che hanno totalizzato entrate per 370 M€ complessivi.

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 miliardi di euro (312,5 miliardi di euro

di sovvenzioni, i restanti 360 miliardi di euro di prestiti a tassi agevolati). In questo scenario il PNRR individua la ricerca e l'innovazione come motori per la ripartenza del Paese e come strumenti fondamentali per lo sviluppo economico e sociale. Ritenendola un'occasione unica per contribuire alla ripresa della Nazione, l'Ente ha individuato una serie di iniziative progettuali in essere o da attivare che, grazie al finanziamento del PNRR, potranno essere portate a compimento in tempi rapidi.

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

2.2 Le risorse ordinarie

Il budget INFN viene assegnato dal MUR attraverso il FOE e si compone di diverse parti che sono riassunte nella tabella 2.1, che riporta l'assegnazione del FOE 2023.

Decreto MUR n. 789 del 21 giugno 2023	
FOE ordinario MUR	292.940.943
FOE internazionali	34.900.000
FOE a carattere continuativo	18.000.000
FOE straordinario	100.000
Totale Entrate	345.940.943

Tabella 2.1 – Composizione del FOE (euro)

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

I fondi per "FOE internazionali" sono vincolati a progetti soggetti ad accordi internazionali, stipulati dal governo italiano, come ad esempio la ESS (*European Spallation Source*) in Svezia o VIRGO in Italia. L'INFN agisce come gestore dei fondi che sono previsti da questi accordi.

Il FOE a carattere continuativo finanzia il progetto tecnologie d'eccellenza del piano di sviluppo 2019-2030, destinato a sviluppare all'interno dell'Ente le tecnologie di frontiera necessarie ad affrontare le sfide scientifiche dei prossimi anni per la costruzione di esperimenti basati su tecnologie innovative e di frontiera in campi diversi, come, ad esempio, quelli dell'elettronica, della meccanica di precisione, della sensoristica avanzata, del calcolo scientifico o della criogenia e della 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 (2021-2022), nell'esercizio in via di consuntivazione (2023) e nel bilancio di previsione per l'anno 2024, comprensivo delle risorse PNRR.

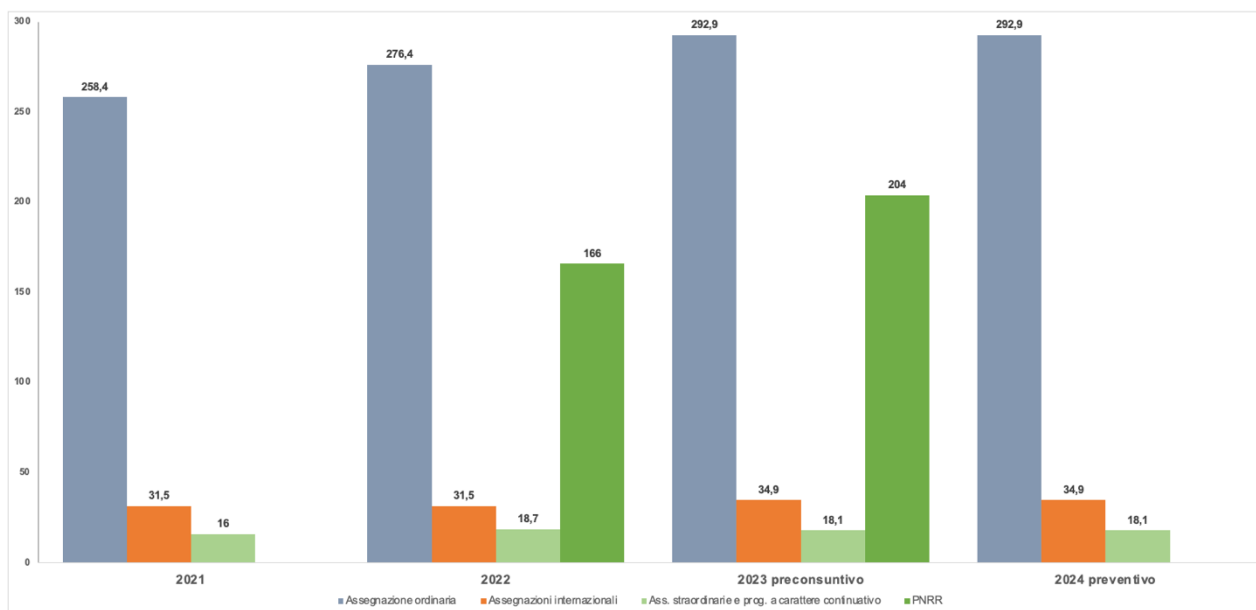


Figura 2.3 Differenti tipologie di Entrate FOE in milioni di euro

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

- a) D.L. 34/2020 art. 238, convertito in legge 17 luglio 2020, N. 77 (Decreto rilancio) e il DMUR n. 802/2020 che, al fine di sostenere l'accesso dei giovani alla ricerca, assegna all'Istituto € 9.787.413 (inglobato nel FOE dal 2022);
- b) L. 178/2020 art. 1 co.541 e il DMUR n. 614/2021 che, per sostenere la competitività del sistema della ricerca italiana a livello internazionale mediante l'assunzione e la stabilizzazione di ricercatori negli enti pubblici di ricerca, assegna all'Istituto € 4.463.938 (inglobato nel FOE dal 2022);
- c) L. 234/21 art. 1 co. 310

lett. a) per procedure di cui all'art. 20 del decreto legislativo n. 75 del 2017 relative alla stabilizzazione di personale precario: con il DM n.250/2022 sono stati assegnati all'Istituto € 12.168.364;

lett. b) procedure selettive riservate a ricercatori e tecnologi di terzo livello professionale per l'accesso al secondo livello: con il DD n.1156/2023 per l'anno 2022 sono stati assegnati all'Istituto € 9.650.905; con il DM n.234/2023 per l'anno 2023 sono stati assegnati all'Istituto € 3.814.886,86;

lett. c) valorizzazione del personale tecnico-amministrativo: con il DM n.1091/2022 sono stati assegnati all'Istituto € 3.740.807;

- d) L.234 art.1 co.313 in relazione ai risultati conseguiti nella valutazione della qualità della ricerca (VQR). Con il DM n.690/2023 la Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR 2015-2019), effettuata dall'ANVUR e finalizzata alla valutazione dei risultati della ricerca scientifica e delle attività di terza missione per il periodo 2015-2019 sono stati assegnati all'Istituto € 5.117.879,19;
- e) L. 145/2018 art. 1, co. 95, che istituisce un fondo investimenti di potenziamento delle infrastrutture di ricerca e prevede per tre progetti INFN di ricerca per i prossimi anni (HPC, laboratori (interamente dedicato al progetto EuPRAXIA) e ESS) un finanziamento pluriennale. Per la descrizione scientifica dei progetti si rinvia al capitolo 5 e seguenti (HPC), al capitolo 6.3.4 (EuPRAXIA), capitolo 7.2 (ESS). 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.

- f) L.178/2020 art. 1 co. 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.
- g) L.160/2019, 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).

importi in milioni di euro

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
TOT		8	22	53	20	35	32	36	33	32	32	32	26	22	5	388

Tabella 2.2 – Finanziamento pluriennale progetti infrastrutturali – Fondo Investimenti – art. 1, co. 95 della legge n. 145/2018

importi in milioni di euro

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

Finanziamenti	2019	2020	2021	2022	Preconsuntivo 2023	Stima 2024	Stima 2025	Stima 2026
FOE	253,7	251	258,4	276,4	292,9	296,8	296,8	296,8
FOE-Progetti internazionali	31	31	31,5	31,5	34,9	34,9	34,9	34,9
FOE-Progetti straordinari	1,1	0,3	1	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1
FOE-Progetti continuativi	15	15	15	18	18	18	18	18
FOE-Premialità					5,1			
L.234/21 art. 1 co. 310 lett. a) 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	-	-	-	-
Decreto rilancio (L.77/2020) consolidato nel FOE dal 2022	-	-	9,8	-	-	-	-	-
L.178/2020 art. 1 co.541 DM 614/21 consolidato nel FOE dal 2022	-	-	4,5	-	-	-	-	-
L.178/2020 art. 1 co.549 DM 646/21 (fondo edilizia e infrastrutture)	-	-	7,6	7	31,5	31,5	35	34
L.145/2018 art. 1 co.95 (HPC, laboratori e ESS)	8	22	53	20	58	12	33	33
L.196/2017 progetto XFel	4	4	4	4	4	4	4	4
L.160/2019 co. 14-15 rilancio investimenti	-	-	-	-	-	-	5	7
PNRR	-	-	-	166	204	-	-	-
Finanziamenti COVID	-	3,9	3,9	-	-	-	-	-
PNR (L.178/2021 art. 1 co.578 DM 737/21)	-	-	6,2	6,2	-	-	-	-
Totale	312,8	327,2	394,9	545,7	652,3	397,3	426,8	427,8

*importo sulla base delle percentuali di contributo FOE, incassato nel 2023

Tabella 2.4: finanziamenti statali 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 2024-2026.

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

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

Nelle ultime tre colonne è mostrata una stima del budget INFN per gli anni 2024, 2025 e 2026, tenuto conto dei finanziamenti aggiuntivi ottenuti negli ultimi anni che portano il budget ordinario FOE intorno ai 350 M€.

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 per gli esercizi compresi nel bilancio pluriennale sono state valutate sulla base delle informazioni disponibili al momento della predisposizione del bilancio di previsione (ottobre 2023). Le cifre ufficiali presentate nel bilancio di previsione [EF 2024](#), cap. 6.1, pag. 79, sono qui riportate nella tabella 2.6. Esse sono basate sui seguenti criteri di riferimento:

ENTRATE

Le entrate per il primo esercizio del bilancio pluriennale (2024), escluse le partite di giro, sono state determinate, in 409,1 M€, di cui 389,4 M€ sono finanziamenti istituzionali e i restanti 19,7 M€ sono entrate previste per altri progetti di ricerca specificatamente finanziati.

Per gli esercizi 2025 e 2026, si prevede un aumento delle entrate legate al progetto ESS e al DM 646/21 e alla partenza del piano rilancio investimenti L. 160/2019 co 14-15.

SPESE

Le spese previste per l'anno 2024 sono state valutate sulla base storica degli ultimi anni per quanto riguarda il funzionamento delle strutture ed i fondi centrali. Per quanto riguarda le attività di ricerca ci si è basati sullo stato dei progetti pluriennali in corso e sull'impatto dei nuovi progetti approvati.

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

Il Bilancio pluriennale è redatto solo in termini di competenza per un periodo non inferiore al triennio. Esso descrive, in termini finanziari, le linee strategiche dell'Istituto nel breve-medio periodo predisposte in ragione delle risorse finanziarie disponibili. È allegato al Bilancio di previsione 2024 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 2024-2026 allegata al Bilancio di previsione 2024.

Bilancio Triennale	2024		2025		2026	
Personale	194,407	47,52%	195,000	44,46%	195,000	44,36%
Funzionamento	28,446	6,95%	28,100	6,41%	28,100	6,39%
Attrezzature	19,570	4,78%	20,000	4,56%	20,000	4,55%
Ricerca	146,643	35,84%	170,526	38,88%	171,526	39,02%
Spese Centrali Varie	20,059	4,90%	25,000	5,70%	25,000	5,69%
Totale	409,126	100,00%	438,626	100,00%	439,626	100,00%

Tabella 2.5 Previsione pluriennale delle spese 2024-2026 in milioni di €

(in milioni di euro)

	2024	2025	2026
ENTRATE:			
FOE ordinario MUR	298,756	298,756	298,756
FOE internazionali	26,900	26,900	26,900
FOE a carattere continuativo	18,000	18,000	18,000
FOE straordinario	0,100	0,100	0,100
Progettuali	61,960	91,460	92,460
Entrate diverse	3,410	3,410	3,410
Totale Entrate	409,126	438,626	439,626
SPESE:			
ATTIVITÀ DI RICERCA CSN:			
Fisica delle particelle	25,000	25,000	25,000
Fisica astroparticellare	15,200	15,200	15,200
Fisica nucleare	10,250	10,250	10,250
Fisica teorica	3,800	3,800	3,800
Ricerche tecnologiche	6,200	6,200	6,200
Totale	60,450	60,450	60,450
Progetti Strategici, Speciali, Calcolo, CC3M e Trasferimento Tecnologico, Cofinanziamenti	4,623	4,700	4,700
Attività di ricerca progettuale	76,570	100,376	101,376
Fondo di riserva	5,000	5,000	5,000
Totale Ricerca	146,643	170,526	171,526
Funzionamento strutture	48,016	48,100	48,100
Personale	194,407	195,000	195,000
Fondi centrali e partecipazione a consorzi	20,059	25,000	25,000
Totale Spese	409,126	438,626	439,626

Tabella 2.6 Previsione pluriennale 2024-2026 in milioni di €

Si precisa che la previsione di spesa del personale riportata nella Tabella 2.5 si riferisce, ovviamente, al costo del personale come risultante dalla somma dei capitoli di spesa del nuovo piano dei conti integrato riferiti al personale.

Tale somma pertanto differisce da quella indicata nel paragrafo successivo “Risorse di personale” che riporta i costi del conto annuale.

La tabella 2.6 riassume il quadro complessivo delle risorse disponibili e della previsione di spesa per il triennio 2024-2026. Nel futuro prossimo sarebbe importante poter 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.

Strutture	CSN1	CSN2	CSN3	CSN4	CSN5	Totale	Totale	Totale
						2023	2022	2021
LNF	1,3	0,5	0,39	0,06	0,32	2,63	2,57	2,49
LNGS		0,75	0,06	0,05	0,02	1,45	0,89	1,05
LNL	0,25	0,11	0,87		0,34	1,08	1,57	1,23
LNS		0,48	1,12	0,03	0,35	1,55	1,97	1,37
Sezioni	21,78	8,44	7,11	2,87	3,82	53,18	44,03	39,77
Totale	23,33	10,28	9,55	3,01	4,85	59,89	51,03	45,91

Tabella 2.7 Spese finanziate dalle CSN in milioni di euro

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 2021-2023 finanziate da ciascuna Commissione e divise tra i 4 laboratori e le 20 sezioni (inclusi i 6 gruppi collegati). Il confronto tra le colonne a destra mostra un sensibile aumento del finanziamento delle attività di ricerca collegato all'aumento dell'assegnazione del FOE ordinario negli ultimi anni e conferma l'attenzione dell'Ente alle attività di ricerca non finalizzata.

Il contesto nazionale e internazionale

Nel corso del 2023 sono stati superati gli effetti negativi legati alla pandemia da COVID-19 e le attività di ricerca hanno potuto ripartire con gli scambi internazionali e le campagne di misura e le riunioni in presenza.

L'esperienza della pandemia ha lasciato un'aumentata propensione a svolgere riunioni anche da remoto e una forte spinta alla digitalizzazione dei processi.

Nel 2024 l'Istituto si troverà ad affrontare il completamento dell'implementazione del codice degli appalti 2023, che introduce l'*e-procurement*, e la preparazione del passaggio alla contabilità economico patrimoniale che dovrebbe essere introdotta entro il 2026.

Anche il contesto internazionale presenta una situazione di conflitti geograficamente vicini all'Europa. Al conflitto nell'area Ucraina (iniziato a febbraio 2022) si è aggiunta a fine 2023 la pesante situazione di tensione e la crisi umanitaria in Palestina. Gli effetti economici nel corso del 2023 hanno visto il progressivo raffreddarsi dei costi delle forniture energetiche e dell'inflazione. Permane però la difficoltà di approvvigionarsi di materiali strategici o rari prodotti principalmente in Russia e più recentemente il blocco di vie commerciali marittime nella zona del Mar Rosso sta introducendo nuovi allungamenti ai tempi di approvvigionamento e difficoltà nello sviluppo di nuovi progetti.

3. Le risorse di personale

3.1 Fabbisogno di personale

L'Istituto alla data del 31 dicembre 2023 ha registrato un organico di 2113 dipendenti a tempo indeterminato. Rispetto all'anno precedente l'organico ha subito una lieve variazione numerica in quanto a fronte delle 83 assunzioni effettuate abbiamo rilevato 76 cessazioni. Nella tabella 3.1 si riporta il personale suddiviso per profili professionali e per genere, sia a tempo indeterminato che a tempo determinato, alla data del 31 dicembre 2023 e il riscontro del personale a tempo indeterminato alla fine dell'anno precedente.

Profilo	Livello	Personale a Tempo Indeterminato al 31/12/2022	Personale a Tempo Indeterminato al 31/12/2023			Personale a Tempo Determinato al 31/12/2023		
			M	F	Totale	M	F	Totale
Direttore Generale	-	0	0	0	0	1	0	1
Dirigente di II fascia	-	2	0	2	2	0	0	0
Dirigente di ricerca	1	158	118	29	147	1	0	1
Primo ricercatore	2	278	207	56	263	0	0	0
Ricercatore	3	263	200	63	263	5	0	5
Dirigente tecnologo	1	72	64	7	71	3	1	4
Primo tecnologo	2	139	112	26	138	2	1	3
Tecnologo	3	236	189	66	255	105	58	163
Collaboratore tecnico E.R.	4	362	341	25	366	0	0	0
Collaboratore tecnico E.R.	5	102	98	6	104	0	0	0
Collaboratore tecnico E.R.	6	105	92	4	96	104	10	114
Operatore tecnico	6	33	24	3	27	0	0	0
Operatore tecnico	7	2	3	0	3	0	0	0
Operatore tecnico	8	2	2	0	2	1	2	3
Funzionario di amministrazione	4	42	9	39	48	0	0	0
Funzionario di amministrazione	5	20	9	32	41	1	7	8
Collaboratore di amministrazione	5	153	28	128	156	0	0	0
Collaboratore di amministrazione	6	49	5	28	33	0	0	0
Collaboratore di amministrazione	7	77	24	64	88	7	38	45
Operatore di amministrazione	7	6	3	4	7	0	0	0
Operatore di amministrazione	8	5	1	2	3	0	0	0
Totale		2106	1529	584	2113	230	117	347

Tabella 3.1 Personale al 31 dicembre 2023

Per il triennio 2024-2026, 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. La tabella 3.2 riporta in dettaglio il fabbisogno del personale per l'anno 2024 separato in nuove assunzioni e progressioni. I dati sono riassunti nella tabella 3.3 che include anche le cessazioni previste durante l'anno.

Profilo e livello	NUOVE ASSUNZIONI					NUOVE PROGRESSIONI			
	PTA anni precedenti		Previsioni PTA 2024 - 2026			PTA anni precedenti	Previsioni PTA 2024 - 2026		Totale
	Personale da assumere	Rientro dei cervelli	Fabbisogno personale	Rispetto obblighi legge 68/99	Totale	Art. 15	Art. 53	Art. 54	
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dirig. II fascia	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dirig. di ricerca	1	1	25	0	27	0	0	0	0
Primo ricercatore	35	0	0	0	35	120	0	0	120
Ricercatore	50	0	0	0	50	0	0	0	0
Dirig. tecnologo	1	0	25	0	26	0	0	0	0
Primo tecnologo	24	0	0	0	24	100	0	0	100
Tecnologo	5	0	20	0	25	0	0	0	0
CTER IV	4	0	0	0	4	0	97	43	140
CTER V	0	0	0	0	0	0	0	10	10
CTER VI	43	0	9	20	72	0	0	0	0
Op. tec. VI	0	0	0	0	0	0	4	1	5
Op. tec. VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Op. tec. VIII	2	0	0	0	2	0	0	0	0
Funz. di amm. IV	0	0	0	0	0	0	15	14	29
Funz. di amm. V	18	0	4	4	26	0	0	0	0
Coll. di amm. V	0	0	0	0	0	0	27	11	38
Coll. di amm. VI	0	0	0	0	0	0	0	20	20
Coll. di amm. VII	18	0	5	18	41	0	0	0	0
Op. amm. VII	0	0	0	0	0	0	2	2	4
Op. amm. VIII	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	235	1	88	42	332	220	145	101	466

Tabella 3.2 Fabbisogno di personale 2024 – assunzioni e progressioni

L'Istituto ritiene che un numero totale dei dipendenti a tempo indeterminato intorno a 2200 unità sia adeguato alle attività previste per il prossimo triennio, tenendo anche conto dell'iniezione di personale a tempo determinato associato ai progetti del PNRR.

Per il personale di ricerca, si prevede quindi nel 2024 un piano assunzionale caratterizzato da 50 nuove posizioni per il profilo di ricercatore, e ulteriori 25 posizioni per il profilo di tecnologo adeguato a garantire il turn-over. La pianificazione tiene conto del numero di assunzioni, già autorizzate con l'approvazione dei precedenti PTA, che verranno attuate nei prossimi tre anni. Per quanto riguarda la distribuzione tra i profili, anche se la riforma del prurcolo per gli enti di ricerca è stata stralciata, l'Istituto considera indispensabile mantenere, per quanto possibile, il parallelismo con il reclutamento universitario e a questo fine si propone di attuare una politica di concorsi che porti ad un tempo medio di transizione dal III al II livello paragonabile a quello dei nuovi RTD universitari. Questo obiettivo si raggiunge puntando ad una popolazione dei profili I-II-III approssimativamente distribuita secondo le percentuali 20%-60%-20%. Per i ricercatori l'obiettivo verrà conseguito presto, grazie anche ai contributi straordinari previsti dal Governo, con i passaggi di livello ex art. 15 CCNL banditi nel 2023 e attualmente in corso. Per i tecnologi verrà raggiunto con le successive progressioni previste nei prossimi anni.

SINTESI DEL FABBISOGNO DEL PERSONALE						
Profilo e livello	Personale in servizio al 31/12/2023	Nuove assunzioni	Cessanti anno 2024	Nuove progressioni	Posti liberati con i concorsi e le progressioni	Personale in servizio al 31/12/2024
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	147	27	8	0	0	166
Primo ricercatore	263	35	14	120	25	379
Ricercatore	263	50	3	0	120	190
Dirigente tecnologo	71	26	1	0	0	96
Primo tecnologo	138	24	2	100	25	235
Tecnologo	255	25	3	0	100	177
CTER IV	366	4	11	43	0	402
CTER V	104	0	2	10	43	69
CTER VI	96	72	0	0	10	158
Op. tec. VI	27	0	2	1	0	26
Op. tec. VII	3	0	0	0	1	2
Op. tec. VIII	2	2	0	0	0	4
Funz. di amm. IV	48	0	1	14	0	61
Funz. di amm. V	41	26	0	0	14	53
Coll. di amm. V	156	0	10	11	0	157
Coll. di amm. VI	33	0	0	20	11	42
Coll. di amm. VII	88	41	0	0	20	109
Op. amm. VII	7	0	2	2	0	7
Op. amm. VIII	3	0	0	0	2	1
Totale	2113	332	59	321	371	2336

Tabella 3.3 Fabbisogno di personale 2024 – tabella riassuntiva

Anche per i profili tecnici e amministrativi l'Istituto intende dare seguito alle autorizzazioni ottenute con l'approvazione dei precedenti PTA, che hanno previsto l'assunzione di 40 tecnici e 34 amministrativi, ai quali si aggiungono ulteriori 145 nuove assunzioni, di cui 76 per il profilo di CTER, 2 per il profilo di Operatore Tecnico, 26 per il profilo di funzionario di amministrazione e 41 per il profilo di collaboratore di amministrazione. Queste posizioni costituiscono il completamento di un piano di reclutamento straordinario di personale tecnico-amministrativo che l'Ente ha programmato sui propri fondi, volto a ripristinare il bilanciamento tra i profili che si ritiene ottimale per il funzionamento dell'Istituto, dopo il completamento dei piani straordinari di reclutamento del personale di ricerca finanziati dal Governo.

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 2023 emerge, che sono stati assunti 125 dipendenti appartenenti alle categorie protette, a fronte di un obbligo assunzionale di 160 unità, da completare nell'arco della durata delle singole convenzioni sottoscritte con i Centri per l'Impiego presenti nelle Regioni dove risiedono le Strutture INFN. L'Istituto, all'interno del piano assunzionale straordinario dedicato alle categorie protette, prevede di assumere nell'anno ulteriori 42 dipendenti iscritti alle categorie protette di cui alla legge 68/99, suddivisi in, 20 CTER, 4 funzionari di amministrazione e 18 collaboratori di amministrazione. Siamo in attesa dell'esito dell'invio del prospetto informativo disabili del Ministero del Lavoro.

FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2025 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII					
Profilo e livello	Previsione del personale in servizio al 31/12/2024	Previsioni assunzionali PTA 2024 - 2026 II annualità	Cessanti anno 2025	Posti liberati con i concorsi e con le progressioni	Previsione di personale in servizio al 31/12/2025
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	166	0	16	0	150
Primo ricercatore	379	35	15	0	399
Ricercatore	190	0	4	35	151
Dirigente tecnologo	96	0	4	0	92
Primo tecnologo	235	36	4	0	267
Tecnologo	177	0	0	36	141
CTER IV	402	0	8	0	394
CTER V	69	0	2	0	67
CTER VI	158	10	0	0	168
Operatore tecnico VI	26	0	2	0	24
Operatore tecnico VII	2	0	0	0	2
Operatore tecnico VIII	4	0	0	0	4
Funzionario amm. IV	61	0	0	0	61
Funzionario amm. V	53	4	0	0	57
Collaboratore amm. V	157	0	6	0	151
Collaboratore amm. VI	42	0	1	0	41
Collaboratore amm. VII	109	4	0	0	113
Operatore amm. VII	7	0	0	0	7
Operatore amm. VIII	1	0	0	0	1
Totale	2336	89	62	71	2292

Tabella 3.4 Previsione del fabbisogno di personale per l'anno 2025

Relativamente allo sviluppo professionale, per l'anno 2024 l'Istituto intende dare seguito alle procedure, già previste dai precedenti PTA e dai Contratti Collettivi Nazionali Integrativi, dedicate ai passaggi di livello, per un totale di 101 posizioni, e alle progressioni economiche, per un totale di 145 posizioni, per i profili tecnici ed amministrativi.

Le previsioni del fabbisogno di personale e le politiche di sviluppo professionale per gli anni 2025 e 2026 sono illustrate dalle Tabelle 3.4 e 3.5 con le finalità già descritte. Per il personale di ricerca si prevedono ad anni alterni concorsi di II (2025) e di I livello (2026). Per avere un computo realistico della distribuzione del personale, assumiamo che queste posizioni vengano coperte da personale già in servizio nell'Istituto, anche se intendiamo tornare ad utilizzare i concorsi aperti per l'accesso ai livelli I e II.

L'indicatore del limite massimo alle spese di personale, calcolato rapportando le spese complessive per il personale di competenza dell'anno di riferimento alla media delle entrate complessive dell'Ente, come risultante dai bilanci consuntivi dell'ultimo triennio, è pari a un coefficiente assunzionale di circa 28,9%, lontano dal vincolo del 80% previsto dal D. Lgs. 218/2016. La tabella 3.6 riporta il dettaglio della percentuale del coefficiente assunzionale.

FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2026 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII					
Profilo e livello	Previsione del personale in servizio al 31/12/2025	Previsioni assunzionali PTA 2024 - 2026 III annualità	Cessanti anno 2026	Posti liberati con i concorsi e con le progressioni	Previsione di personale in servizio al 31/12/2026
Dirigente I fascia	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia	2	0	0	0	2
Dirigente di ricerca	150	25	13	0	162
Primo ricercatore	399	0	14	25	360
Ricercatore	151	30	1	0	180
Dirigente tecnologo	92	25	5	0	112
Primo tecnologo	267	0	5	25	237
Tecnologo	141	0	2	0	139
CTER IV	394	0	12	0	382
CTER V	67	0	3	0	64
CTER VI	168	20	3	0	185
Operatore tecnico VI	24	0	3	0	21
Operatore tecnico VII	2	0	0	0	2
Operatore tecnico VIII	4	0	0	0	4
Funzionario amm. IV	61	0	2	0	59
Funzionario amm. V	57	3	0	0	60
Collaboratore amm. V	151	0	4	0	147
Collaboratore amm. VI	41	0	0	0	41
Collaboratore amm. VII	113	3	0	0	116
Operatore amm. VII	7	0	0	0	7
Operatore amm. VIII	1	0	1	0	0
Totale	2.292	106	68	50	2.280

Tabella 3.5 Previsione del fabbisogno di personale per l'anno 2026

Indicatore art. 9, comma 2 del D. Lgs 218/2016	2023
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2023	€ 130.184.006
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 453.578.849
Rapporto assunzionale al 31/12/2023	28,9%

Tabella 3.6 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 31/12/2023	€ 131.238.857
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 453.578.849
Costo delle assunzioni e delle progressioni previste nel 2024	€ 20.984.067
Risparmio ottenuto con le cessazioni previste nel 2024	€ 3.928.362
Rapporto assunzionale previsto al 31/12/2024 a media delle entrate invariata	32,7%

Tabella 3.7 Rapporto assunzionale nel 2024

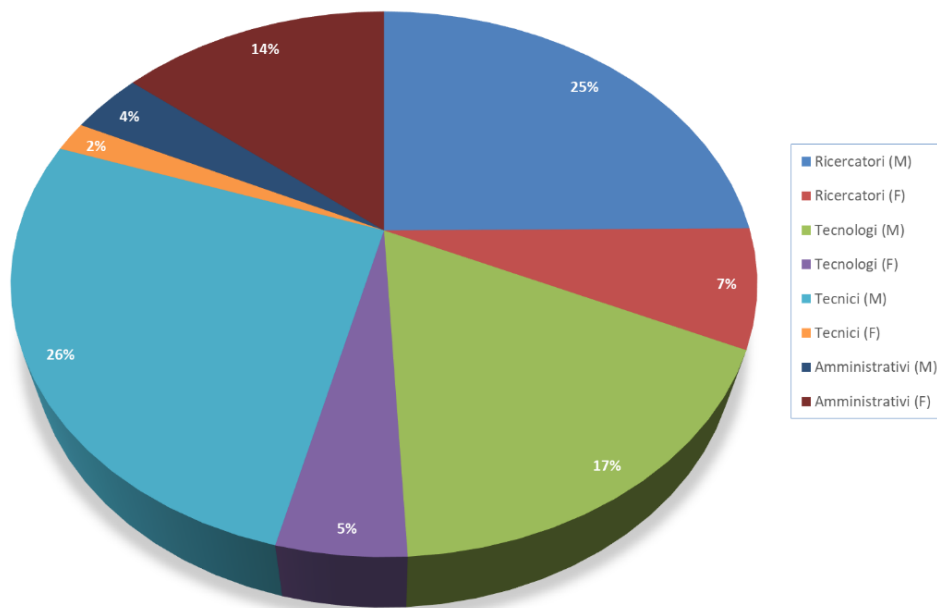


Figura 3.1 Distribuzione dei profili del personale per genere

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 2024 è inferiore al margine a disposizione rispetto al limite dell’80%. Infine, la tabella 3.7 evidenzia anche che alla data del 31 dicembre 2024, tenuto anche conto del costo aggiuntivo per le nuove assunzioni e nuove progressioni e del risparmio ottenuto con le cessazioni previste nell’anno, calcolato sempre sulla base del costo medio, il rapporto assunzionale diventerà pari a circa il 32,7%.

Per quanto riguarda il personale a tempo determinato, al 31/12/2023 si contano 347 posizioni pari al 16,4% del personale a tempo indeterminato. I piani straordinari di reclutamento a tempi indeterminato finanziati dal Governo negli ultimi anni avevano riportato il numero di contratti a tempo determinato ad un livello fisiologico, dell’ordine del 10% del totale. L’incremento osservato è largamente dovuto alle posizioni previste dai progetti PNRR che l’Istituto ha assunto nel corso dell’anno e andrà gestito negli anni successivi al 2026, quando questo personale verrà convertito almeno in parte a tempo indeterminato. L’Istituto si è preparato a mitigare i potenziali effetti negativi di questa conversione sulla propria programmazione del personale: la politica dell’Istituto relativa ai progetti del PNRR, puntando a rafforzamento di infrastrutture esistenti o in programmazione, facilita l’assorbimento di questo personale attraverso una programmazione di medio termine del turn-over. Per quanto possibile, è stata posta attenzione alla distribuzione delle risorse umane del PNRR nelle diverse strutture dell’Ente cercando di conciliare le esigenze dei progetti PNRR e quelle delle attività ordinarie. Per la natura stessa dei bandi PNRR, tuttavia, è inevitabile uno sbilanciamento dei profili, delle competenze e della distribuzione territoriale, la cui gestione potrebbe diventare problematica se si dovesse andare nella direzione della stabilizzazione di tutto il personale a tempo determinato assunto con i fondi del PNRR.

La distribuzione tra i profili del personale presente nell’Ente suddivisa per genere è rappresentata in Figura 3.1. È da notare che la prevalenza del personale di ricerca, ma anche la numerosità del personale tecnico a supporto delle nostre infrastrutture, mentre la frazione di personale amministrativo è al di sotto della media negli EPR. La distribuzione di genere, pur mostrando i *bias* caratteristici dei diversi profili, in alcuni casi anche molto forti, è però costantemente migliorata negli ultimi anni, grazie anche alle politiche di *gender balance* messe in atto dall’Istituto.

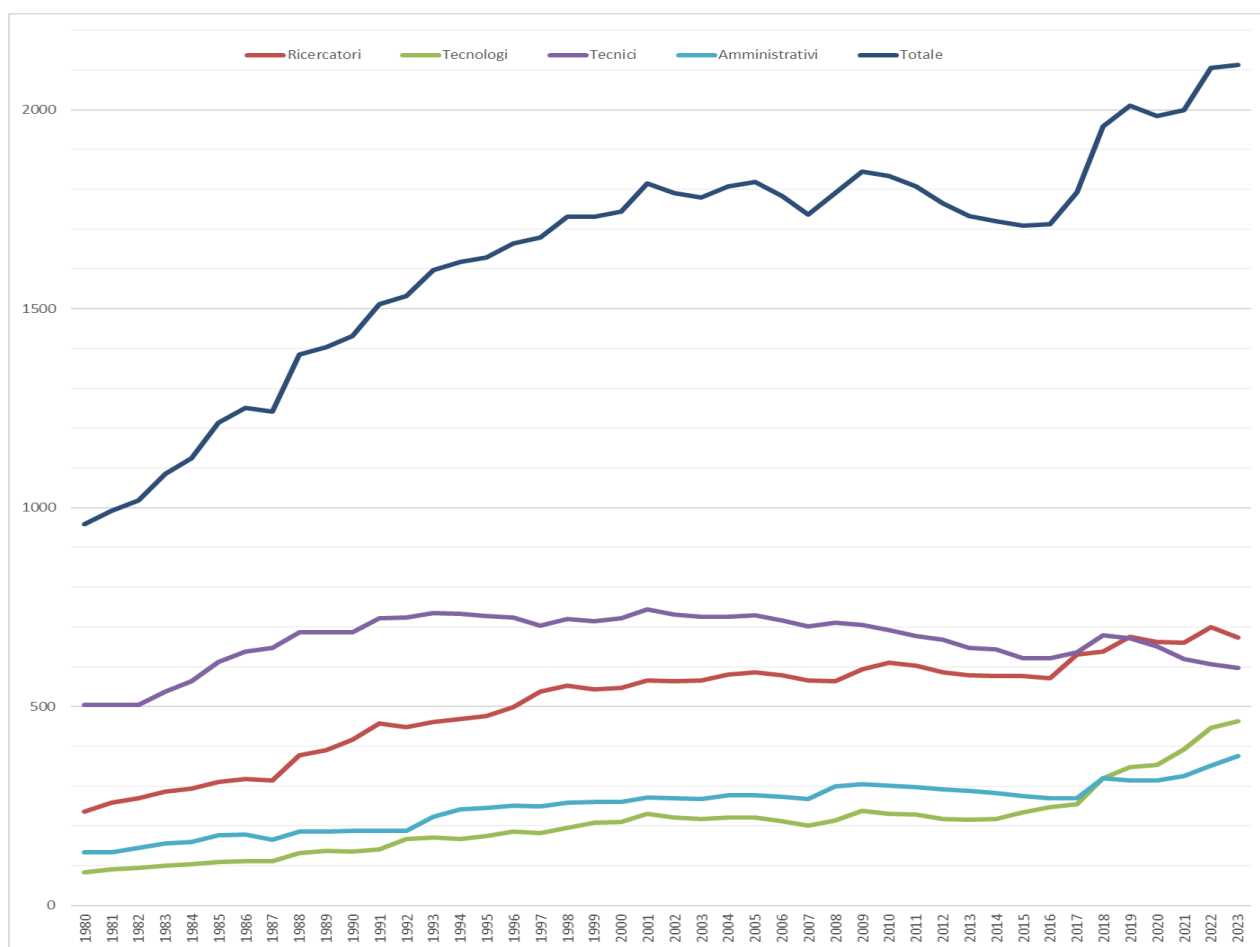


Figura 3.2 Variazione temporale di ricercatori, tecnologi, tecnici e amministrativi

Il grafico in Figura 3.2 mostra l’andamento del numero di dipendenti, suddivisi per ricercatori, tecnologi, tecnici e amministrativi, dal 1980 ad oggi. Il personale è costantemente cresciuto negli ultimi 40 anni con l’eccezione della flessione registrata nel periodo 2005-2015. 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 2023 - 2025. 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,

Altro Personale	Personale in servizio al 31/12/2023								
	Impiegati in ricerca			Non impiegato in ricerca			Dati complessivi		
	F	M	Totale	F	M	Totale	F	M	Totale
Assegnisti	96	238	334	0	0	0	96	238	334
Borsisti	12	30	42	16	21	37	28	51	79
Co.Co.Co	0	1	1	1	6	7	1	7	8
Comandi in Entrata			0	1	2	3	1	2	3
Totale	108	269	377	18	29	47	126	298	424

Tabella 3.8 Giovani in formazione e altro personale nel 2023

Tipologie di associazione	Personale impiegato in ricerca al 31/12/2023			
	M	F	Totale	%
Incarichi di ricerca	658	171	829	18%
Assegnisti	248	84	332	7%
Borsisti	18	9	27	1%
Dottorandi	957	358	1315	28%
Altre associazioni	1369	748	2117	45%
Associazioni tecniche	143	19	162	3%
Totale	3.393	1.389	4.782	

Tabella 3.9 Diverse tipologie di associazione nel 2023

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

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 a circa il 36% del personale ricercatore e tecnologo.

L'Istituto si avvale inoltre per le sue ricerche anche di personale universitario o appartenente ad altri enti di ricerca, che viene associato a vario titolo alle sue strutture ed alle sue attività. Le diverse tipologie di associazione sono presentate nella Tabella 3.9. Come si può vedere, il 36% 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 circa 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	0	2	0	0	16	17	11	2	18	68	45	89	134
Centri Nazionali	0	0	4	0	27	6	11	1	1	3	43	10	53
Laboratori	0	0	93	34	141	36	234	16	23	87	491	173	664
Sezioni	0	0	428	114	181	40	304	19	37	139	950	312	1262
Totale	0	2	525	148	365	99	560	38	79	297	1.529	584	2.113

Tabella 3.10 Distribuzione del personale a tempo indeterminato nelle Strutture al 31/12/2023

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 (38%) e tecnici (42%), mentre le 24 sezioni con i 6 gruppi collegati hanno circa il 60% del personale con una frazione ancora più alta di ricercatori (81%).

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
CERN	13	12	9	8	7	4	8	17	11	17
Europa	6	9	3	5	1	1	3	11	7	7
Asia	2	0	0	0	0	1	2	1	1	1
America	1	2	2	2	1	3	2	7	6	13

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 i punti cardini necessari per un'efficace politica del personale attenta al benessere, all'equità e alla trasparenza. Questi elementi, al centro anche delle raccomandazioni europee, assumono particolare importanza considerata la sottorappresentazione delle donne in tutti i profili e livelli del personale, eccetto quello amministrativo, tipica delle discipline STEM. Essi sono alla base del Piani Triennali di Azioni Positive (PTAP) che l'Ente adotta dal 2002 dietro proposta del CUG (Comitato Unico di Garanzia).

A marzo 2023 è stato approvato il VII PTAP 2023-2025, che rafforza gli obiettivi del precedente recependo le indicazioni del documento *Structural change in research institutions, European Commission, 2012* e si articola nelle seguenti aree di intervento generali:

- adeguare la gestione per assicurare gli elementi essenziali ai cambiamenti strutturali;
- formazione e comunicazione. Rafforzare la comunicazione di genere;
- assicurare parità e pari opportunità di sesso nel reclutamento, nella promozione, negli organismi decisionali, in tutti i ruoli e livelli;
- adeguare l'ambiente di lavoro alle esigenze delle persone favorendo la genitorialità e operando per l'inclusione di tutte le diversità;
- contrasto alle molestie, comportamenti lesivi della dignità, violenza sessuale e sessista.

Nel 2022 è stato approvato il primo GEP (Gender Equality Plan) che acquisisce gli obiettivi del VI PTAP e che verrà aggiornato nel 2024 tenendo conto del nuovo PTAP in essere.

Dal 2002 l'INFN si è dotato di PTAP proposti dal Comitato Pari Opportunità e poi dal CUG. Negli anni passati l'Ente ha messo in campo delle iniziative che continuano regolarmente nel tempo quali: la nomina di una Consigliera di fiducia; l'erogazione di fondi per un programma di *mentoring* per giovani ricercatrici e per borse di studio riservate a studentesse; 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 distribuzione a tutto il personale di un opuscolo preparato dal CUG con riferimenti alla normativa statale e dell'Ente per quanto riguarda regolamenti e facilitazioni per i genitori, la distribuzione ai commissari di tutti i concorsi INFN di un breve opuscolo, realizzato dal CUG, sui *bias* inconsci e su come operare per mitigare i suoi effetti.

Dal 2020 alcune delle azioni positive del PTAP sono inserite nel Piano delle Performance dell'Ente per aumentarne l'efficacia, recependo le indicazioni ministeriali:

- stilare e pubblicare sul web il bilancio di genere;
- realizzazione di un sistema di banche dati che permetta rapidamente e automaticamente di monitorare la situazione del personale in ottica di genere e generazionale;
- monitorare il genere sottorappresentato nei comitati scientifici nominati dal Consiglio Direttivo con l'obiettivo di portarlo oltre il 30%;
- monitorare la probabilità di successo per donne e uomini nelle procedure concorsuali.

Nel 2023 è stato inserito un obiettivo specifico riguardante il miglioramento dell'inclusione delle persone con diversa abilità. Dopo la somministrazione di un questionario per meglio conoscere le esigenze, si prevede di attivare dei corsi specifici al fine di eliminare le barriere fisiche e comportamentali. È poi stato bandito per il secondo anno il concorso ("Più Donne per la fisica") per offrire borse di studio a studentesse iscritte al primo anno della magistrale in Fisica su indirizzi di interesse dell'INFN. Inoltre, continua il "Premio Milla Baldo Ceolin", sponsorizzato dalla Commissione Scientifica IV, riservato a donne, indirizzato alle migliori tesi magistrali in campo teorico ed è iniziato un terzo ciclo del programma di mentoring per giovani ricercatrici e ricercatori, della durata di 18 mesi. Questo programma è stato molto apprezzato nelle precedenti edizioni ed ha ricevuto un primo riconoscimento dall'osservatorio indipendente EIGE (*European Institute for Gender Equality*) come pratica rilevante.

In generale, grande attenzione è dedicata dall'Ente alla comunicazione della scienza e al superamento degli stereotipi nella scienza, organizzando master class ed eventi divulgativi in occasione dell'11 febbraio "Giornata Internazionale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza". Inoltre, ogni anno, in occasione del 25 novembre "Giornata Internazionale per l'eliminazione della violenza contro le donne", l'INFN organizza e promuove momenti di riflessione e discussione sull'argomento. Le attività e le iniziative dell'Ente per il raggiungimento della parità sono state presentate nel 2023 a 8th *International Conference on Women in Physics (ICWIP2023)*.

Nel 2023 il CUG ha analizzato i risultati dell'indagine effettuata in forma anonima nell'Ente per la valutazione dello stress lavoro correlato e della qualità della vita organizzativa disponibili da fine 2022. La relazione finale, che include possibili azioni di miglioramento, sarà resa pubblica a inizio 2024. Pur in un quadro generalmente soddisfacente, sono state evidenziate alcune criticità. Per il personale ricercatore e tecnologo, queste sono relative alla pressione lavorativa e al clima competitivo. È percepito un rischio esaurimento ma controbilanciato da un forte coinvolgimento con il proprio lavoro, situazione già rilevata in altri ambienti di ricerca. Nel caso del personale tecnico-amministrativo emerge in alcuni casi la percezione di scarso riconoscimento e scarsa partecipazione alle decisioni organizzative. 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.

Nel corso di quest'anno si prevede anche di riprendere con la Consigliera di fiducia il progetto degli Smart Lab sostenuto economicamente dalla Commissione Formazione dell'Ente e guidato da un gruppo di pilotaggio di cui fanno parte i rappresentanti nazionali del personale e due persone nominate dal CUG. Sostanzialmente gli Smart Lab sono un luogo di lavoro in cui vengono discusse ed elaborate soluzioni di miglioramento su temi specifici, spesso legate a problematiche organizzative. In particolare, questa modalità potrebbe essere utilizzata per affrontare aspetti critici delle singole strutture.

Sempre nel 2024, è prevista la stesura del primo bilancio di genere.

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;
- 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 provvederà:

- al monitoraggio e all'aggiornamento dello strumento di gestione degli emolumenti del personale incluse le banche dati di supporto, puntando a massimizzare l'automazione e l'integrazione con il software di gestione del bilancio e dei progetti;
- alla digitalizzazione delle procedure di reclutamento mediante l'integrazione progressiva con le piattaforme InPA
- al potenziamento 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. A raggiungere questo obiettivo mira il processo continuo di aggiornamento annuale del Sistema di Misurazione e Valutazione della Performance dell'Istituto e del PIAO (Piano Integrato di Attività e Organizzazione) nella parte relativa al Piano della Performance.
- al perfezionamento delle procedure atte alla promozione della legalità e dell'etica pubblica
- al monitoraggio dell'incidenza delle diverse modalità di lavoro sul benessere organizzativo.

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.

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 2022 (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 2022

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 questa commissione.

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.

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 II a KEKb rappresentano il settore del beauty. L'esperimento BES III al BEPC e l'esperimento NA62 al CERN 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 al Fermilab, nonché l'esperimento MEG II al PSI e l'esperimento MUonE al 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.

Linea 5 – R&D per futuri acceleratori

Include le attività volte a preparare il futuro della disciplina, in particolare gli studi e le attività di R&D per i futuri collisori circolari a elettroni, protoni e muoni.

Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

Nel 2022, 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, dove è anche in fase di studio un potenziale nuovo esperimento (LUXE). Per quanto riguarda l'Asia, un esperimento si è svolto all'IHEP in Cina (BES III) e un altro al KEK in Giappone (Belle II). 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 2022, principalmente per la costruzione, il funzionamento e l'analisi dei dati degli esperimenti, è stato di 833, con altri 53 che contribuiscono a R&D di rivelatori, elettronica e computing, in sinergia con la CSN5 o supportati da fondi esterni. Il budget complessivo per il 2022 è stato di 20 milioni di euro, con ulteriori 4,9 M€ 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 1,7 M€ utilizzati per il calcolo.

Nel 2022 gli esperimenti della CSN1 hanno prodotto un totale di 325 pubblicazioni su riviste *peer-reviewed*: le attività sperimentali si sono svolte presso laboratori internazionali (CERN, DESY, FERMILAB, IHEP, KEK, PSI) e in Italia presso LNF e le strutture INFN. Gli impegni di gran lunga più importanti della CSN1, in termini di risorse umane e finanziarie, sono attualmente nell'ambito degli esperimenti al *Large Hadron Collider* (LHC) del 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.

Il terzo periodo di raccolta dati di LHC (RUN 3) è iniziato nel 2022, con un apparato sperimentale significativamente migliorato e una energia del fascio più alta, raggiungendo un'energia nel centro di massa di 13,6 TeV. L'infrastruttura di calcolo degli esperimenti ha lavorato a pieno regime per analizzare i dati raccolti negli ultimi anni (RUN 1 e RUN 2), producendo importanti risultati, alcuni dei quali sono citati di seguito. L'acceleratore SPS del CERN, ripartito già nell'anno precedente, ha fornito dati agli esperimenti COMPASS e NA62. Nel 2022, l'esperimento Belle II al KEK (Giappone) ha completato il suo primo *run*; l'acceleratore è poi entrato in un periodo di manutenzione e miglioramento. L'esperimento BES III all'IHEP (Cina) ha aumentato notevolmente la quantità di dati raccolti. L'esperimento MEG II al PSI (Svizzera) ha effettuato il suo secondo periodo di raccolta dati e l'esperimento E989 (muon $g-2$) al Fermilab ha aumentato significativamente i suoi dati (un fattore 20 in più rispetto al precedente esperimento a Brookhaven).

Per quanto riguarda i risultati di fisica, nel 2022 gli esperimenti ATLAS e CMS hanno migliorato la conoscenza delle proprietà del bosone di Higgs, sia attraverso lo studio delle sue interazioni con fermioni e altri bosoni, sia attraverso la ricerca di processi rari come la produzione di due bosoni di Higgs. Entrambi gli esperimenti hanno misurato la sezione d'urto di produzione di coppie di top-quark alla nuova energia nel centro di massa di 13,6 TeV e hanno fornito per la prima volta evidenza della produzione di quattro quark top, utilizzando i dati del RUN 2. ATLAS ha misurato la polarizzazione dei bosoni nella produzione di $W+Z$ e CMS ha fornito la misura più precisa del decadimento del mesone B_s in coppie di muoni, un decadimento raro sensibile a nuova fisica. L'esperimento LHCb ha mostrato la prima evidenza di violazione diretta di CP in mesoni con quark charm, gettando nuova luce sulla asimmetria materia-antimateria.

Nel 2022 sono stati osservati diversi nuovi adroni esotici, che potrebbero essere interpretati come tetra-quark e penta-quark: BES III ha trovato evidenza di un nuovo tetraquark neutro composto da quark charm e strange, LHCb ha osservato un nuovo candidato pentaquark con contenuto di stranezza e CMS ha osservato tre risonanze nello stato finale $J/\psi J/\psi$, compatibili con stati di tetraquark a quattro charm. L'esperimento Belle II ha pubblicato la prima misura del decadimento del B^0 in coppie di pioni neutri e ha esteso notevolmente la ricerca di assioni nei decadimenti leptonic.

I contributi dell'INFN agli studi preparatori per i futuri collisori si sono ampliati nel corso dell'anno, con una maggiore sinergia tra la CSN1 e la comunità italiana degli acceleratori. Si tratta degli studi di fattibilità per il *Future Circular Collider* del CERN e per un collisore di muoni.

Applicazioni e formazione

L'educazione e la formazione dei giovani fisici è un tema di costante attenzione da parte della CSN1. A questo proposito, il 2022 ha visto un significativo riavvio delle attività, dopo la pandemia. Il duplice programma INFN-CERN dedicato a dottorandi, postdoc e giovani ricercatori, è progredito con l'assunzione di dottorandi e postdoc (27 persone in totale) che si sono recati al CERN per le loro attività di formazione e ricerca. Inoltre, 5 postdoc sono stati selezionati per un nuovo programma INFN-CERN per i 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 2022 sono stati inoltre assicurati fondi per 12 borse di studio di tre mesi dedicate a studenti universitari, per progetti che inizieranno nel 2023.

La CSN1 in cifre

Indicatore	2022	2021	2020
Numero di FTE	820.3	813.7	834.6
Frazione di ricercatrici	21.9%	20.6%	20.2%
Budget annuo (M€)	20	20	20
Numero di progetti	18	19	19
Frazione delle milestone raggiunta	82.8%	81.3%	82.9%
Numero di pubblicazioni (WOS)	325	454	568
Numero di presentazioni a conferenze	727	553	347
Numero di tesi di Dottorato	37	42	32

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 finanziare gli esperimenti nel campo della Fisica Astroparticellare, sfruttando principalmente tecniche e infrastrutture non basate su acceleratori. 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

Nel 2022, i LNGS si sono rivelati il laboratorio più adatto per la maggior parte degli esperimenti della 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 ad alta energia (FNAL, J-PARC) e presso reattori di potenza (Cina, Francia).

Consuntivo

Circa 1550 fisici, ingegneri e dottorandi dell'INFN contribuiscono al CSN2 dell'INFN nel campo della fisica astroparticellare. Nel 2022 sono stati organizzati in 47 iniziative sperimentali, per un numero totale di 991 FTE impegnati nella costruzione, il funzionamento e l'analisi dei dati degli esperimenti. Il budget complessivo per il 2022 era di 13,7 milioni di euro. Altri fondi competitivi europei, nazionali e regionali hanno fornito ulteriori risorse rilevanti nel corso dell'anno.

Nel 2022 gli esperimenti della CSN2 hanno prodotto un totale di 566 pubblicazioni su riviste *peer-reviewed*: le attività sperimentali si sono svolte 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 sostegno 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 meno dominanti.

Oltre alle missioni spaziali di lunga durata (AMS2, FERMI, DAMPE e LIMADOU) che continuano a produrre dati rilevanti, nel corso del 2022 abbiamo assistito ai primi mesi di presa dati di IXPE, all'inizio della presa dati di QUBIC in

Argentina oltre alla continuazione di quelle di XENON e CUORE presso i LNGS. Nel corso del 2022, mentre proseguiva la preparazione delle corse O4 e O5 di VIRGO, si è assistito 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 relative attività della 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, grazie al miglioramento della situazione pandemica, il 2022 ha dato una svolta decisiva alla costruzione di JUNO in Cina e di KM3 al largo di Capo Passero. Con l'istituzione di un comitato di revisione dedicato, anche la costruzione di DARKSIDE nei LNGS ha registrato nuovi sviluppi positivi, mentre l'inizio della nuova crisi tra Russia e Ucraina ha messo in crisi interi settori di ricerca (ad esempio il decadimento doppio beta) basati sull'impossibilità di approvvigionarsi di grandi quantità di isotopi dalla Russia.

Per quanto riguarda i risultati di fisica, tutti gli esperimenti in corso hanno continuato l'analisi dei loro dati, producendo una serie di pubblicazioni scientifiche di rilievo. Nell'ambito della collaborazione internazionale LVK, VIRGO ha presentato nuove osservazioni, per certi versi inaspettate, ampliando il catalogo delle fusioni BH-BH. IXPE ha prodotto i primi risultati sulla polarizzazione della radiazione X da sorgenti astrofisiche. Presso gli LNGS, CUORE ha superato l'esposizione di 1 tonnellata all'anno, mentre XENONnT ha presentato i primi risultati concorrenti 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 e AUGER ha aggiornato lo spettro VHE vicino al cutoff GZK.

Applicazioni e Formazione

L'istruzione e la formazione dei giovani fisici è un tema di costante attenzione da parte della CSN2. Nel 2022 abbiamo assistito a un significativo riavvio delle attività, dopo le pandemie, con nuove visite ai laboratori nazionali dell'INFN. Nel 2022 sono stati inoltre assicurati i fondi per 10 borse di studio trimestrali dedicate a studenti universitari.

La CSN2 in cifre

Indicatore	2022	2021	2020
Numero di FTE	991	940	907
Frazione di ricercatrici	21.3%	22%	21.2%
Budget annuo (M€)	13.7	13.7	13.7
Numero di esperimenti/ iniziative specifiche/progetti	47	49	48
Frazione delle milestone raggiunta	77	78	73
Numero di pubblicazioni	566	503	529
Numero di presentazioni a conferenze	398	493	240
Numero di tesi di Dottorato	22	31	26

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

I compiti 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 di Kaoni.

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 le ricerche con fasci radioattivi.

Linea 4 – Astrofisica nucleare

Gli esperimenti della CSN3 sviluppano tecniche complementari e sinergiche per studiare i processi di fisica nucleare in ambienti astrofisici. Questa linea include approcci con diversi fasci, metodi di analisi diretti e indiretti, studi utilizzando plasmi di ioni.

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

Per i loro studi, 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 agli acceleratori LHC, ELENA (*Low Energy Antiproton Accumulator*), ISOLDE e alla facility n_TOF. Negli Stati Uniti i principali laboratori sono il *Jefferson Laboratory* e il *Brookhaven Laboratory* con il futuro collisore EIC.

Principalmente dedicate agli esperimenti di fisica nucleare sono le strutture nei laboratori dell'INFN (i complessi di acceleratori a Catania LNS e Legnaro LNL, LUNA al Gran Sasso LNGS e DAFNE a Frascati LNF), con l'aggiunta di CIRCE a Caserta, CNAO a Pavia e TIFPA a Trento. Strutture laser per studi di fisica nucleare sono presenti o previste presso i LNS e i LNF.

Altri centri principali per la ricerca nucleare sono a GANIL (Francia), GSI / FAIR (Germania), J-Park /RIKEN (Giappone), Triumph (Canada), IThemba (Sud Africa).

Consuntivo

I diversi acronimi della CSN3 (ALICE, EIC_net, etc.) corrispondono a esperimenti in un singolo laboratorio o a gruppi operanti presso laboratori diversi. Per tutti, il 2022 è stato caratterizzato da un ritorno alla normalità operativa dopo il periodo pandemico. Di seguito, vengono descritti alcuni punti salienti delle principali attività.

Si è concluso il ciclo di workshops su [Nuclear Physics Mid Term Plan in Italy](#) che ha permesso di discutere in ciascun laboratorio nazionale INFN i progetti futuri e le possibili linee di ricerca legate alle nuove infrastrutture di acceleratori previste nei prossimi anni. Le discussioni hanno incluso non solo la possibile fisica, ma gli sviluppi di nuovi rivelatori e le possibili nuove strutture che potrebbero essere realizzate entro la fine del decennio. Importante è stata la partecipazione dei giovani ricercatori, dei teorici della CSN4 e dei ricercatori della CSN5, con una folta presenza di ricercatori stranieri. I risultati di questi workshops saranno disponibili in documenti pubblicati su EPJ Focus e sono in fase di finalizzazione.

Sono riprese le sperimentazioni presso LNL Tandem (principalmente con AGATA e PRISMA) con diverse configurazioni di fascio. Presso i LNS gli esperimenti previsti per la nuova infrastruttura di acceleratori e fasci (Pot_LNS) hanno avviato la fase di costruzione (NUMEN, PANDORA, CHIRONE...). A LNF il successo delle operazioni di DAFNE ha permesso un'ottima acquisizione di dati per l'esperimento Siddharta-KAONNIS. Gli esperimenti di fisica nucleare al CERN Isolde e GANIL e in altri laboratori europei sono proseguiti con risultati importanti (NUCLEX, GAMMA, FORTE, CHIRONE). Per l'astrofisica nucleare un risultato importante è stata la disponibilità dei primi fasci presso il nuovo acceleratore LUNA-MV a LNGS e l'inizio della sperimentazione presso la "Bellotti Ion Beam facility". n_TOF al CERN ha riavviato le operazioni con una terza linea ad alta intensità di neutroni. Diversi esperimenti sono stati condotti presso l'acceleratore CIRCE di Caserta (ERNA) e in laboratori esteri con il gruppo ASFIN (Triumph, RIKEN...).

Sulla frontiera delle energie più elevate è in corso la presa di dati presso il laboratorio Jefferson in USA (JLAB) e CERN LHC (ALICE). I gruppi italiani stanno definendo la loro partecipazione all'esperimento ePIC presso l'Electron Ion Collider del BNL, mentre al CERN le nuove proposte per NA60+ e ALICE3 sono in fase di valutazione da parte dei comitati del CERN: molti gruppi dell'INFN sono coinvolti in questi progetti futuri e nei relativi programmi di R&D.

Sono riprese le operazioni presso il nuovo accumulatore di antiprotoni ELENA al CERN, con i gruppi dell'INFN coinvolti nei principali esperimenti. Il gruppo che lavora al RAL per la misura del raggio del protone (FAMU) ha completato la messa in servizio dell'apparato ed è attualmente in attesa della disponibilità del fascio. I primi risultati del momento di dipolo elettronico sono stati pubblicati dall'esperimento JEDI presso la struttura COSY (Germania). Mentre l'esperimento VIP a LNGS prosegue la sua ricerca di limiti per la violazione del principio di Pauli e la meccanica quantistica.

La frazione di milestone raggiunte è in aumento dopo alcuni stop forzati legati alla pandemia. Anche il numero di presentazioni a conferenze è in aumento con la ripresa del numero di eventi organizzati. Le pubblicazioni sono stabili rispetto al 2021, ma risentono ancora della mancanza di *proceedings* legata al minor numero di eventi nel 2020-2021.

Applicazioni e formazione

L'esperimento FOOT (Linea 6) 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. Un nuovo progetto per le misure di reazione per i nuclei per diagnosi e terapia (teranostici) è in preparazione.

Molti ricercatori appartenenti alla CSN3 partecipano ad eventi e programmi di divulgazione, compresi quelli specificamente organizzati nei Laboratori Nazionali dell'INFN (vedi rapporto del gruppo di *outreach* dell'INFN).

La CSN3 in cifre

Indicatore	2022	2021	2020
Numero di FTE	502	487	503
Frazione di ricercatrici	25%	26%	26%
Budget annuo (M€)	9,2	9,2	9,2
Numero di esperimenti/iniziativa specifiche/progetti	23	25	25
Frazione delle milestone raggiunta	85,5	76,9	71,5
Numero di pubblicazioni	343	352	438
Numero di presentazioni a conferenze	545	322	223
Numero di tesi di Dottorato	19	23	19

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).

CSN4 – Fisica teorica

Breve descrizione del mandato della commissione

La CSN4 coordina le attività di ricerca nel campo della fisica teorica. Tali attività sono sviluppate da personale dipendente dell'INFN e associato di Università e altri Istituti di ricerca. Una frazione rilevante della ricerca in fisica teorica è fortemente legata alla ricerca sperimentale, condotta dall'INFN nel campo della fisica delle particelle, della fisica nucleare e dell'astrofisica. A causa dell'ampio spettro degli argomenti trattati, le attività della CSN4 sono organizzate in sei Linee Scientifiche, che coprono le principali tematiche di ricerca, come dettagliato nel seguito.

Descrizione sintetica delle linee di ricerca

<p>Linea Scientifica 1 – Teoria dei Campi e Stringhe</p> <p>In un approccio top-down, questa linea scientifica si occupa di problemi fondamentali in fisica teorica delle alte energie, quali l'unificazione delle interazioni fondamentali, la quantizzazione della gravità, la natura e le proprietà dei buchi neri, la cosmologia dell'universo primordiale e le simmetrie fondamentali delle teorie di campo quantistiche.</p>
<p>Linea Scientifica 2 – Fenomenologia delle Particelle</p> <p>L'obiettivo di questa linea scientifica è lo studio delle interazioni fondamentali alle frontiere dell'Energia e dell'Intensità, al fine di ricercare effetti di fisica oltre il Modello Standard. Le attività di questa Linea sviluppano forti sinergie con i programmi sperimentali della CSN1.</p>
<p>Linea Scientifica 3 – Fisica Nucleare e Adronica</p> <p>L'obiettivo di questa linea scientifica è lo studio della struttura e dinamica dei nuclei e degli adroni, delle proprietà della materia fortemente interagente nelle collisioni ultrarelativistiche di ioni pesanti o all'interno di oggetti astrofisici. Tali attività sviluppano forti sinergie con i programmi della CSN3 e della CSN5.</p>
<p>Linea Scientifica 4 – Metodi Matematici</p>

L'obiettivo di questa linea scientifica è lo studio di aspetti formali di teorie di campo classiche e quantistiche, come per esempio la Gravità Quantistica, la Teoria Quantistica dei Campi su *background* curvo o spazio-tempo non-commutativo, teorie di campo topologiche, proprietà matematiche di sistemi integrabili.

Linea Scientifica 5 – Fisica delle Astroparticelle e Cosmologia

L'obiettivo di questa linea scientifica è di esplorare le connessioni tra la fisica delle particelle, delle astroparticelle e cosmologia, considerando uno spettro di scale di energia estremamente ampio: dalle masse dei neutrini (e loro angoli di mixing) ai raggi cosmici e gamma e le loro connessioni con le onde gravitazionali, ai misteri dell'energia e materia oscura.

Linea Scientifica 6 – Teoria di Campo Statistica e Applicata

L'obiettivo di ricerca di questa linea scientifica è la fisica teorica interdisciplinare, con applicazioni a un ampio spettro di problemi, come la biofisica computazionale, la meccanica statistica, le proprietà delle reti complesse e delle eccitazioni collettive.

Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

I gruppi di ricerca della CSN4 sono presenti in tutte le Sezioni INFN, in tre Laboratori Nazionali (LNF, LNGS, LNS) e due Centri Nazionali (GGI e TIFPA). Inoltre, sono presenti gruppi di fisici teorici presso i Gruppi Collegati di Cosenza, Gran Sasso, Parma e Salerno, rispettivamente collegati alle Strutture seguenti: LNF, LNGS, Sezioni di Milano Bicocca e Napoli. L'attività di ricerca è condotta in stretta collaborazione con Istituzioni Universitarie ed Enti di Ricerca italiani e stranieri.

Consuntivo

Durante il 2022, più di 1400 fisici teorici, includendo studenti e assegnisti di ricerca, corrispondenti a 1279 FTE, hanno partecipato alle attività di ricerca della CSN4. La comunità teorica è stata organizzata in 35 progetti di ricerca, denominati Iniziative Specifiche (IS), aventi l'obiettivo di stimolare la collaborazione scientifica e le sinergie tra differenti unità di ricerca.

Fisica di precisione del Modello Standard a LHC

L'acceleratore LHC può essere utilizzato come una macchina di precisione e possibili segnali di nuova fisica oltre il Modello Standard potrebbero manifestarsi come piccole deviazioni dalle predizioni. Per questo motivo è molto importante raggiungere la massima precisione possibile nelle predizioni teoriche per i processi del Modello Standard, in modo totalmente differenziale sulle variabili cinematiche. Molti gruppi sono attivi a livello internazionale su tutti gli input necessari per la simulazione delle collisioni p-p a grande momento trasferito. Recentemente l'attenzione è anche stata rivolta alle collisioni leptone-antileptone dei collisori ad alta energia di futura generazione.

Fisica oltre il Modello Standard

La disponibilità di misure di alta precisione permette di avere un nuovo sguardo su piccole possibili discrepanze con il Modello Standard, quale per esempio il momento magnetico anomalo del muone, ed esplorare processi molto rari nel settore del "sapore" e dei neutrini. Oggi sappiamo anche che circa il 25% dell'energia dell'Universo consiste di materia oscura ma la sua natura non è stata ancora identificata. I risultati negativi nelle ricerche a LHC e nelle ricerche dirette con esperimenti di fisica "passiva" mettono in crisi uno dei candidati più noti, la particella pesante debolmente interagente (WIMP). La comunità teorica sta studiando analisi globali di tutti i dati disponibili, nella ricerca dei possibili scenari di nuova fisica, sia attraverso approcci di Teoria di Campo Efficace nel caso di nuove particelle pesanti, sia

attraverso l'elaborazione di classi di modelli per scenari di mediatori leggeri come, per esempio, le particelle "axion-like".

Onde Gravitazionali e sistemi astrofisici

Dopo la scoperta delle Onde Gravitazionali, le attività teoriche della CSN4 in tale settore hanno ricevuto notevole impulso, con una Iniziativa Specifica focalizzata alla fenomenologia delle Onde Gravitazionali e un'altra focalizzata su vari aspetti di stelle di neutroni e sistemi astrofisici.

Cosmologia

Nei prossimi anni disporremo di una grande quantità di dati cosmologici caratterizzati da grande precisione. Se accompagnati da predizioni teoriche altrettanto accurate, questi dati potranno gettare nuova luce su problemi aperti in cosmologia e fisica fondamentale, permettendo di sondare il periodo di inflazione primordiale, la natura dell'energia e materia oscure, le proprietà dei neutrini e altri "relics", come anche possibili modificazioni della gravità su scale cosmologiche. L'attività dei gruppi teorici è focalizzata sulle connessioni tra cosmologia e fisica fondamentale, con l'obiettivo di passare da una semplice descrizione fenomenologica dell'Universo e della sua evoluzione a una comprensione profonda dei suoi costituenti, includendo la gravità e i meccanismi all'origine delle perturbazioni cosmologiche primordiali.

Fisica adronica e nucleare

Le attività teoriche in questo settore sono organizzate in quattro aree principali: 1) struttura e dinamica dei sistemi a pochi corpi; 2) esplorazione della struttura tridimensionale dei nucleoni, attraverso lo studio delle distribuzioni partoniche "Transverse Momentum Dependent" (TMD) e le funzioni di distribuzioni generalizzate "Generalized Parton Distributions" (GPD); 3) studio teorico e fenomenologico delle proprietà della materia fortemente interagente in condizioni estreme di temperatura e/o densità (collisioni di ioni pesanti osservate all'esperimento ALICE e nell'interno di oggetti astrofisici compatti); 4) studio della struttura e dinamica degli stati adronici esotici, tetraquark e pentaquark, un settore ricco di stati osservati agli esperimenti LHCb e alle *flavour factories*, la cui natura non è ancora stata chiarita.

Teoria dei Campi e Stringhe

Un'intensa attività di ricerca viene condotta mediante l'approccio top-down, che, partendo dalla teoria delle stringhe come schema coerente per l'unificazione a livello quantistico delle forze fondamentali, delimita le teorie effettive utili per predizioni teoriche verificabili in linea di principio con i dati delle osservazioni cosmologiche. Tale approccio caratterizza il settore di ricerca denominato "fenomenologia di stringa", in rapida evoluzione.

Fisica Teorica Interdisciplinare

Infine, è opportuno menzionare le ricerche sulla Meccanica Quantistica, sia con aspetti di fondamentale sia applicativi. Parte delle attività della CSN4 è anche dedicata alla biofisica computazionale, alla meccanica statistica di equilibrio e di non equilibrio dei sistemi disordinati, alla dinamica e statistica delle reti complesse, a vari aspetti della turbolenza, alle eccitazioni collettive, fenomeni di trasporto e altre proprietà di molti corpi nei sistemi fisici a bassa dimensionalità.

Applicazioni e formazione

Il training di giovani studenti e ricercatori costituisce una parte rilevante delle attività della CSN4. L'INFN conferisce il premio Sergio Fubini alle migliori tre tesi di dottorato in fisica teorica. Inoltre, l'INFN conferisce il premio "Women in

theoretical physics" intitolato alla memoria della prof. Milla Baldo Ceolin, per le migliori (fino a) dieci tesi di Laurea Magistrale in fisica teorica conseguite da studentesse presso università italiane. Come negli anni precedenti, la CSN4 ha dato supporto economico per le scuole di dottorato presso il Galileo Galilei Institute di Firenze. I fisici teorici dell'INFN promuovono molte attività di outreach, nella forma di seminari nelle scuole e per il pubblico, oltre che in occasione di molti eventi istituzionali INFN. Nel 2022 è stata resa pubblicamente disponibile la [RelativitApp](#), il primo strumento multimediale interattivo per l'insegnamento della teoria della Relatività di Einstein al pubblico, creata in collaborazione con Zanichelli.

La CSN4 in cifre

Indicatore	2022	2021	2020
Numero di FTE	1279	1142	1124
Frazione di ricercatrici	14.2%	15.1%	13.8%
Budget annuo (M€)	3.3	3.0	3.0
Numero di esperimenti/ iniziative	35	35	35
Frazione delle milestone raggiunta	100%	100%	100%
Numero di pubblicazioni	1718	1854	1664
Numero di presentazioni a conferenze	584	451	227
Numero di tesi di Dottorato	58	48	64

CSN5 – Ricerca tecnologica

Breve descrizione del mandato della commissione

La Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5) è incaricata di finanziare e seguire progetti R&D di ricerca applicata riguardanti lo sviluppo di rivelatori innovativi, metodi di calcolo per la ricerca fondamentale e applicata, tecnologie innovative per acceleratori di particelle e argomenti di ricerca interdisciplinare. Questi ultimi, prevedono progetti per le scienze della vita, i beni culturali e il monitoraggio ambientale.

Descrizione sintetica delle linee di ricerca

Linea scientifica 1 - Acceleratori

Questa linea di ricerca supporta progetti di innovazione tecnologica per acceleratori, come nuovi materiali, sviluppo di target, tecnologie di estrazione dei fasci e magneti superconduttori. Nel 2022 la Linea 1 ha seguito 22 progetti.

Linea scientifica 2 – Rivelatori, Elettronica e Calcolo

La Linea 2 si occupa di progettazione e sviluppo di rivelatori di radiazione, sistemi di temporizzazione e interfacce di lettura. Vengono finanziate anche attività di calcolo dedicate allo sviluppo di codici per la ricerca fondamentale e applicata. Nel 2022 la Linea 2 ha seguito 42 progetti.

Linea scientifica 3

La ricerca interdisciplinare coinvolge le competenze dell'INFN in progetti R&D interdisciplinari sulla fisica medica, i beni culturali e il monitoraggio ambientale. Nel 2022 la Linea 3 ha seguito 33 progetti.

Descrizione dei laboratori in cui si sono svolte le ricerche

I progetti della CSN5 prevedono la collaborazione con molti laboratori e istituzioni. Oltre ai Laboratori Nazionali dell'INFN, come Legnaro (LNL), Frascati (LNF), Catania (LNS) e Gran Sasso (LNGS), in Italia sono stati coinvolti alcuni Istituti del CNR, la Fondazione Bruno Kessler di Trento, la facility di protonterapia di Trento, il CNAO di Pavia, ASI, INAF, INRiM, Istituto Superiore di Sanità (ISS), Associazione Italiana di Fisica Medica (AIFM) e molti centri di ricerca medica collegati ad ospedali distribuiti sul territorio nazionale. Per quanto riguarda le collaborazioni internazionali, oltre a diverse Università in Europa, Stati Uniti, Australia e Canada, i progetti sono collegati con i laboratori del CERN, ESS a Lund (SV), GSI a Darmstadt (GE), J-PARC Centre a Tokai (JP), ELI-*beamlines* a Praga (CZ).

Consuntivo

Nel 2022 le attività della CSN5 hanno coinvolto circa 1300 ricercatori, con 600 FTE distribuiti su 97 progetti per un budget di 6,2 M€. Il numero di progetti attivi è legato alle proroghe assegnate a progetti che hanno subito ritardi dovuti alla pandemia. I risultati dei progetti sono 748 pubblicazioni, comprensive di riviste e pubblicazioni ISI, 195 interventi a conferenze internazionali, 17 tesi triennali, 70 tesi magistrali e 9 dottorati di ricerca.

Vengono finanziati 3 tipi di progetti. Progetti standard, che durano 2-4 anni con un budget tipico di 20-100 k€ all'anno. Le *Call*, che sono attività di 3-4 anni ad alto impatto tecnologico e scientifico, finanziate con un massimo di 1 M€ e che possono richiedere assegni di ricerca. Infine, i *Grant* per Giovani Ricercatori, progetti proposti e diretti da giovani ricercatori (massimo 6 anni dal dottorato), finanziano sia il progetto che la borsa per il PI. Ogni anno vengono finanziate al massimo 6 nuove borse a seguito di una selezione competitiva.

Nonostante la divisione in 3 linee, la maggior parte dei progetti ha un carattere trasversale. Ad esempio, i progetti sulla fisica medica possono richiedere lo sviluppo di rivelatori innovativi o tecnologie per acceleratori, e così via. Quindi, i progetti possono essere raccolti in argomenti generali che identificano gli effettivi interessi di ricerca della comunità (sono indicate anche alcune sigle di progetti).

Materiali per acceleratori, come bersagli solidi a film sottile (SALVIA), rivestimenti superconduttivi (SAMARA) o protettivi (IMPACT_CSN5) per cavità, e superfici in condizioni estreme (ARYA).

Sorgenti e tecnologie di estrazione, come le tecnologie di estrazione laser per elettroni (ETIOPIA) e protoni (LPA2), nuovi cannoni elettronici RF (TUAREG), metodi per fasci di positroni (SHERPA) e metodi basati su cristalli (STORM).

Metodi di accelerazione basati su plasma per fasci di elettroni ad alta luminosità (SL_COMB2FEL, SL_EXIN), miglioramento delle sorgenti ioniche a risonanza di ciclotrone elettronico (IONS) e metodi diagnostici al plasma con radiazione THz (PBT).

I **magneti superconduttori** sono i sistemi più promettenti per gli acceleratori e attualmente vengono eseguiti studi sul comportamento di nuovi materiali (ABSTRACT) e tecnologie innovative per produrre portali più leggeri per adroterapia (SIG).

Rivelatori flessibili per dosimetria, come sistemi indossabili (WIDMApp), oppure rivelatori basati su perovskiti (ANEMONE, PERO2 e PEROV), semiconduttori organici (FIRE) e silicio amorfo (HASPIDE).

Rivelatori di neutroni versatili ed efficaci sono ancora argomenti di punta e vi sono progetti su rivelatori a film sottile (BOLAS_NEXT), dispositivi a stato solido (BONES) e sistemi di collimazione (ANET).

Nuove architetture per rivelatori a base di silicio sono studiate per migliorare la risoluzione dei rivelatori monolitici (ARCADIA), dell'imaging (IBIS) e della posizione (ASAP), la durezza delle radiazioni (RHUM, PHI, FALAPHEL), le velocità di conteggio (SCARLET, FALAPHEL), le strutture 3D (OPTIME).

Vengono studiati Rivelatori di gas basati su micro-Resistive *WELL surface Resistive Plate Counter* (URANIA-V), su fotomoltiplicatori MCP per grandi aree (LLMCP), su Tracking Ring Imaging Cherenkov (TRICK) o per la rivelazione di ioni a bassa energia (SWEATERS).

Metodiche innovative per l'adroterapia, come la terapia FLASH, basata su trattamenti con impulsi di radiazioni brevi e intensi (FRIDA), e la tomografia computerizzata protonica (XPCALIB). Sono state inoltre studiate sezioni trasversali per nuovi trattamenti a base di boro (NEPTUNE).

Le tecnologie quantistiche per la rivelazione della materia oscura e per l'informatica hanno recentemente stimolato l'interesse dell'INFN. Sono quindi in fase di sviluppo innovativi rivelatori superconduttori per microonde (DARTWARS) e sistemi di ottica integrata per la trasmissione di segnali quantistici (QUANTEP). Inoltre, QUB-IT sta studiando la realizzazione di qubit superconduttori, PICS4ME ha studiato nuovi protocolli per la microscopia e l'imaging quantistici e ADAMANT ha lavorato su un sistema di comunicazione basato sul rilevamento del momento angolare dei fotoni.

Sviluppo di isotopi e radiofarmaci per terapie mediche, rappresentato dai progetti ISOLPHARM_EIRA e REMIX.

Analisi del patrimonio culturale con metodi basati sui neutroni (CHNET_BRONZE, CHNET_MAXI).

Monitoraggio ambientale del particolato (ISPIRA e IS_ABS), della proliferazione di SARS-Cov-2 (AT_SVB e PLANET), degli effetti dei raggi cosmici (SAMADHA) e studio del comportamento biologico a bassissimi livelli di radiazione (RENOIR).

Sono finanziati alcuni progetti sulle applicazioni dei metodi di calcolo, come APEIRON, che lavora su un'architettura generale di una piattaforma di elaborazione distribuita eterogenea, NEXT_AIM che lavora su metodi di intelligenza artificiale per l'analisi di dati medici, ML_INFN e MC_INFN, che promuovono ricerca e diffusione rispettivamente sul Machine Learning e sui metodi Monte Carlo.

Applicazioni e formazione

La CSN5 si occupa di attività che hanno ricadute sulla società, finanziando progetti per diagnosi e i trattamenti clinici, per l'analisi ambientale e dei beni culturali. La Linea 1 sviluppa acceleratori per la radioterapia, la Linea 2 rivelatori per analisi dosimetriche e ambientali e la Linea 3 si concentra su applicazioni nelle scienze della vita e studi di carattere ambientale. Infine, tutte queste attività producono brevetti ad alto TRL per l'industria. La CSN5 co-finanzia ogni anno diverse scuole internazionali e workshop per studenti PhD. I ricercatori a loro volta partecipano alle iniziative di divulgazione (ad esempio "La notte dei ricercatori") che ogni anno vengono promosse dagli Atenei nazionali. Alcuni progetti, come ML_INFN hanno come scopo anche l'organizzazione di incontri di formazione.

La CSN5 in cifre

Indicatore	2022	2021	2020
Numero di FTE	600	606	550
Frazione di ricercatrici	27,2%	25,3%	25,7%
Budget annuo (M€)	6,2	6,1	5,5
Numero di progetti	97	111	81

Frazione delle milestone raggiunta	76,2%	77,8%	72,2%
Numero di pubblicazioni (WOS)	709	562	457
Numero di presentazioni a conferenze	290	346	201
Numero di tesi di Dottorato	9	19	20

5.2 Prospettive dell'attività di ricerca nelle CSN per il periodo 2023-2026

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 prevede un triennio particolarmente intenso, sia per il completamento del periodo a luminosità nominale al Large Hadron Collider del CERN, previsto finire nel 2025 per poi proseguire con il periodo ad alta luminosità, sia per la continuazione di importanti esperimenti e progetti di costruzione a laboratori europei ed extra-europei, tra cui il progetto sperimentale con fasci di neutrini a Fermilab (USA). Inoltre, per il 2026/2027 è prevista la stesura della nuova *European Strategy for Particle Physics* (ESPP) che sarà basata su studi effettuati nel prossimo triennio.

Col completamento del cosiddetto RUN 3 a fine 2025, gli esperimenti ATLAS e CMS prevedono di triplicare la mole di dati a disposizione, approfondendo gli studi dettagliati delle proprietà del bosone di Higgs, scoperto alla stessa macchina acceleratrice nel 2012, e in particolare miglioreranno la misura degli accoppiamenti del bosone di Higgs ai fermioni di seconda e terza generazione. Questi esperimenti misureranno anche in maniera dettagliata le proprietà dei bosoni W e Z e del quark top, ampliando il territorio esplorato per nuova fisica. L'esperimento LHCb, completamente rinnovato e attualmente in fase di presa dati iniziale, sarà in grado di studiare con grande precisione le proprietà del quark beauty, aumentando di un fattore sei la quantità di dati. Inoltre, questo esperimento continuerà l'indagine relativa ai nuovi stati adronici esotici, interpretati come tetra-quark e penta-quark, la cui evidenza è diventata via via più solida negli ultimi anni. Nel settore della fisica del quark beauty informazioni complementari arriveranno dall'esperimento Belle II a KEK (Giappone) che opera con collisioni elettrone-positrone (e^+e^-), mentre l'esperimento BES III a BEPC (Cina) fornirà dati importanti sulla spettroscopia degli stati adronici esotici con quark charm, anch'esso attraverso collisioni e^+e^- . Nei prossimi tre anni sarà studiata per la prima volta la produzione di neutrini a LHC grazie all'esperimento SND@LHC che ha pubblicato la prima osservazione di neutrini prodotti a collisori nel 2023.

Al di là dei collisori, nei prossimi anni sono previsti funzionare importanti esperimenti con fasci singoli e bersaglio fisso. L'esperimento NA62 al CERN continua la presa dati con fasci di kaoni carichi per misurare decadimenti rari di questo adrone contenente i quark strange. L'esperimento AMBER al CERN, partito nel 2023, si basa su di uno spettrometro multiuso dedicato allo studio della distribuzione dei quark nel pione, alla ricerca di produzione di anti-elio e alla misura del raggio del protone. L'esperimento MEG II al Paul Scherrer Institute (Svizzera), in cui fisici dell'INFN cercano di evidenziare possibili rari decadimenti del muone in elettrone e fotone, è entrato in funzione nel 2021 e raccoglierà dati nei prossimi anni; ulteriori dati arriveranno dall'esperimento MU2E in costruzione a Fermilab (USA), anch'esso con importante partecipazione di fisici italiani. Una misura del momento magnetico anomalo del muone con altissima precisione è attualmente in corso grazie all'esperimento g-2, sempre a Fermilab: l'esperimento ha fornito una misura aggiornata ad agosto 2023 che sembra confermare una deviazione rispetto alle previsioni teoriche. Il risultato finale è atteso per i prossimi anni. Un importante controllo di questa misura verrà dall'esperimento MUonE al CERN.

Una attività rilevante per il triennio 2024-2026 riguarda la preparazione e costruzione dei nuovi apparati per la fase di alta luminosità di LHC (HL-LHC, 2029-2041). Gli impegni dell'INFN per HL-LHC comportano risorse significative, investite per la costruzione dei nuovi tracciatori, calorimetri elettromagnetici e adronici, rivelatori di tempo di volo, rivelatori di muoni, luminometri e sistemi di acquisizione dati, che corrispondono rispettivamente a circa il 9% e il 12% del costo totale degli upgrade per ATLAS e CMS. Sono inoltre allo studio aggiornamenti specifici per gli esperimenti dedicati al flavour, tra cui LHCb (fase 2), Belle II (fase ad altissima luminosità) e HIKE (successore di NA62) che comporranno nei prossimi anni un intenso sforzo di R&D per lo sviluppo di rivelatori adeguati.

Il prossimo triennio è anche cruciale per la partenza del programma di esperimenti con fasci di neutrino a Fermilab (USA). Il primo esperimento, ICARUS, con forte partecipazione INFN, è già 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. In particolare, l'apparato SAND per DUNE-*near* è basato sul magnete e calorimetro del vecchio esperimento KLOE ai LNF: i vari componenti saranno smontati e collaudati in loco, prima della spedizione negli Stati Uniti. Inoltre, un importante contributo INFN riguarda la costruzione del sistema di rivelazione di fotoni per la TPC ad Argon liquido di DUNE-*far*: la costruzione dei rivelatori è in corso e continuerà nel prossimo triennio.

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

CSN2 – Fisica delle astroparticelle

Linea 1 - MATERIA OSCURA

L'impegno della CSN2 è completamente focalizzato su attività ai LNGS. DAMA completerà la misura in corso (soglia a 0.5 keV e presa dati per 2.5 anni senza interruzioni) e il programma DAMA/LIBRA. SABRE e COSINUS_CSN2 continueranno le attività di preparazione delle misure su cristalli di NaI ultrapuri per verificare il risultato di DAMA/LIBRA con tecniche differenti. XENON continuerà la misura di fondo in condizioni di campo ridotto attivando la schermatura di neutroni con Gadolinio. Allo stesso tempo i gruppi INFN continueranno con la fase di indagine verso DARWIN. DARKSIDE continuerà la fase di costruzione che ha visto nel 2022 un cambio decisivo verso il completamento dell'apparato nel 2026, assicurando ai LNGS la *leadership* sia sulle tecnologie basate sull'argon che sullo xenon. Sul fronte dei candidati a bassa massa QUAX continuerà le ricerche della componente assionica mentre CRESST approfondirà i risultati incoraggianti sul fondo a bassa energia apprestandosi a sottomettere una nuova proposta di misura. La CSN2 ha giudicato positivamente anche la nuova proposta BULLKID_DM per la quale è stata richiesta una documentazione più approfondita

Linea 2 - NEUTRINI

Questo settore rappresenta al momento il principale impegno finanziario della CSN2, incentrato principalmente sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini e sulle loro masse. CUORE continuerà la presa dati verso la fine del suo programma scientifico nel 2025. Nel contempo CUPID procederà alle operazioni di approvvigionamento dei cristalli di Li_2MoO_4 , sfruttando i ritardi causati dall'instabilità della situazione Ucraina e

quelli dei processi di approvazione negli USA per la realizzazione di un prototipo del rivelatore che ne dimostri le prestazioni, oltre a verificare la qualità dei cristalli. Per quanto riguarda LEGEND, nel 2024 si attende una conferma da parte del DOE dell'interesse degli USA per questo rivelatore che sarà presumibilmente installato ai LNGS, assicurando loro la *leadership* anche per la prossima generazione di esperimenti. Nel frattempo, continuerà ai LNGS la misura di LEGEND200 con l'aggiunta di altri rivelatori, in modo da migliorare il risultato sul decadimento doppio beta del neutrino del 76Ge e la determinazione del fondo effettivo del rivelatore. JUNO concluderà nel 2024 la fase di costruzione apprestandosi alle prime misure tecnologiche verso la fine dell'anno. Continuerà allo stesso tempo anche la realizzazione del rivelatore ND (TAO) sul quale l'INFN ha un ruolo rilevante con la produzione di una parte dei *Silicon Photo-Multiplier* (SiPM) e dell'elettronica di lettura. In Giappone il 2024 è un anno cruciale sia per T2K (che impiegherà il nuovo fascio potenziato di neutrini) che HK dove gli italiani hanno la responsabilità dell'elettronica di lettura dei PMT da 20" oltre che quella di una frazione dei mPMT del cui impiego sono stati i promotori. Per la CSN2 è il secondo anno in cui questo esperimento ha rappresentato uno degli sforzi finanziari principali della CSN2, i quali dovrebbero concludersi nel 2025 con l'assemblaggio di tutte le parti raccolte nei due anni precedenti

Linea 3 - GRAVITÀ e FISICA QUANTISTICA

Il maggior impegno è rappresentato dalla ricerca delle onde gravitazionali. L'interferometro franco-italo-olandese VIRGO entrerà nella fase di osservazione O4 a marzo e la collaborazione è al momento focalizzata sul necessario incremento di sensibilità. Contemporaneamente continuerà la preparazione per O5 mentre si cercherà di comprendere e superare i fattori che limitano la sensibilità. La comunità di ET sarà fortemente impegnata sulla continuazione delle attività del progetto PNRR ETIC, centrate sulla caratterizzazione e promozione del sito italiano e sugli R&D necessari per il nuovo interferometro. Il 2024 rappresenterà una svolta cruciale per l'interferometro spaziale LISA che, con l'*adoption* da parte dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), passerà alla fase B, con le relative attività di preparazione dei modelli tecnologici. Per ciò che riguarda invece le misure di fisica quantistica, ARCHIMEDES completerà la realizzazione dell'apparato al fine di iniziare la misura in superficie a SOS-Enattos nel 2025 mentre GRAFIQO continuerà la preparazione dell'apparato sperimentale.

Linea 4 - RADIAZIONE COSMICA

Le attività nello spazio continueranno con i programmi di lunga durata di FERMI, AMS, IXPE e DAMPE. Con il lancio del secondo satellite di LIMADOU inizierà anche la seconda e ultima fase del programma sperimentale. Sia per IXPE sia per eXTP si concluderà la fase di R&D in attesa di un chiarimento definitivo sulla loro eventuale continuazione. Per la fine del 2024 è atteso anche il primo lancio di GAPS, mentre per la ricerca dei modi B nella radiazione cosmica di fondo continuerà la misura del dimostratore di QUBIC in Argentina, la missione spaziale LiteBIRD (JAXA) passerà alla fase B e continueranno le attività di preparazione della strumentazione per LSPE. Con 28 stringhe già calate in mare, a 3500 m di profondità, KM3NeT-ARCA continuerà a migliorare la qualità dei risultati sui neutrini cosmici. Il 2024 rappresenta anche un anno cruciale in cui è atteso un incremento significativo nella produzione e installazione delle stringhe realizzate grazie al generoso finanziamento PNRR che, grazie anche al nuovo personale assunto in questo ambito, arriverà a 130 stringhe nel 2028. La CSN2 contribuisce con missioni, *common fund* e spese di trasporto, con un contributo che fa di m3NeT uno dei principali sforzi finanziari della commissione.

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 2024-2026:

Linea 1 – Quark e dinamica degli adroni

Proseguirà la presa dati su interazioni elettrone-nucleo presso i *Jefferson Laboratories* in USA. Alcuni gruppi italiani finalizzeranno il loro contributo all'esperimento EPIC presso il nuovo *Electron-Ion Collider* (EIC) previsto entrare in funzione presso i *Brookhaven National Laboratory* dopo il 2030.

Nel 2024, con la chiusura dell'acceleratore DAFNE, l'esperimento KAONNIS terminerà la presa dati sui nuclei Kaonici presso i laboratori INFN di Frascati.

Linea 2 – Transizione di fase nella materia adronica

L'esperimento ALICE sarà impegnato nella presa dati di Run3 di LHC e nella preparazione degli upgrade per il Run4, dopo il 2028, in cui i gruppi italiani saranno coinvolti nella costruzione del nuovo rivelatore di vertice ITS3. Proseguiranno gli sviluppi R&D per il nuovo esperimento ALICE3 previsto dopo il 2033.

Linea 3 – Struttura nucleare e meccanismi di reazione

Proseguirà la campagna di presa dati di GAMMA/AGATA presso i laboratori LNL dell'INFN: c'è una buona probabilità che la presa dati potrà essere estesa oltre il 2025 attualmente previsto. Numerosi esperimenti saranno condotti anche presso laboratori stranieri (GANIL, GSI, TRIUMF, IThemba, ISOLDE, FRIBS@MSU,...). Presso i LNS dell'INFN, a causa del ritardo nella consegna del nuovo ciclotrone, gli esperimenti si concentreranno nel completamento dei R&D e nell'inizio della costruzione degli apparati. Alla fine del 2024 ci sarà un primo inizio di sperimentazione con il TANDEM sottoposto ad un recente upgrade.

Linea 4 – Astrofisica nucleare

Inizierà il programma sperimentale presso il nuovo laboratorio Bellotti a LNGS ove opererà l'acceleratore LUNA_MV. L'esperimento n_TOF proseguirà la presa dati al CERN con una attenzione particolare al nuovo terzo fascio di neutroni ad alta intensità. Nuovi esperimenti saranno effettuati presso il laboratorio CIRCE di Caserta e in altri laboratori internazionali. Dal 2026 inizierà la sperimentazione con i fasci radioattivi di SPES, il principale progetto dei LNL. Presso i LNS l'esperimento PANDORA dovrebbe prendere dati alla fine del 2024 per misurare i decadimenti di nuclei in plasma. Sarà anche usato inizialmente il TANDEM per una prima serie di misure con fasci e si svilupperanno progetti per l'uso di laser di potenza nello studio delle reazioni in plasma.

Linea 5 – Simmetrie e interazioni fondamentali

Proseguirà la presa dati degli esperimenti sull'antimateria presso il deceleratore ELENA del CERN, ora rinnovato con una maggiore luminosità. L'esperimento FAMU dovrebbe avere una prima campagna 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.

Linea 6 – Applicazione e benefici per la società.

L'esperimento FOOT, per la misura di reazioni nucleari di interesse in adroterapia, completerà l'apparato e inizierà delle campagne di misura presso il CNAO e alcuni laboratori europei.

Presso i LNL e il ciclotrone SPES, partirà il nuovo progetto SPES_MED per lo studio dei processi di produzione di nuclei teragnostici, mettendo insieme i progetti ISOLFAM e LARAMED.

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 durante 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). 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 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 sia su calcoli ab initio mediante calcoli numerici di Cromodinamica Quantistica su reticolo.

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, in vista della prossima European Strategy per la fisica delle particelle, 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 a uno studio approfondito delle potenzialità dell'*Einstein Telescope*. 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. Le proprietà matematiche di tale teoria e delle possibili teorie di campo "effettive" nel limite di bassa energia saranno oggetto di studio.

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 quantistica e della fisica dei sistemi complessi.

CSN5 – Ricerca tecnologica

Il programma di attività previsto dalla CSN5 per il prossimo triennio sarà particolarmente articolato. Nel 2024 si avranno circa 85 progetti di durata biennale e triennale, che spazieranno dallo sviluppo di tecnologie per gli

acceleratori a sensori di radiazione innovativi, applicazioni interdisciplinari di tecniche di calcolo avanzate e attività sperimentali per la fisica medica. In questo quadro è possibile solo riassumere le linee di ricerca di punta individuabili dalle proposte progettuali stesse. Infatti, la politica scientifica della CSN5 viene determinata dalle proposte che di anno in anno vengono sottoposte e approvate, seguendo uno sviluppo *bottom-up*.

Per quanto riguarda le attività di ricerca sulle tecnologie avanzate per gli acceleratori, gli ultimi progetti si stanno focalizzando sullo sviluppo di sistemi superconduttori efficienti in grado di essere utilizzati in magneti di deflessione delle particelle e in cavità a radio frequenza per sistemi di accelerazione di particelle. In parallelo, alcuni progetti stanno portando avanti studi sui metodi di accelerazione laser che troveranno sbocco nel progetto EuPRAXIA di prossima realizzazione presso i Laboratori di Frascati.

Nell'ambito dei rivelatori di radiazione, la sfida di FCC sta spingendo verso la realizzazione di rivelatori 4D ad alta velocità e risoluzione. In particolare, si sta puntando alla risoluzione temporale di 1 ps e a risoluzioni di pochi micron per il tracciamento di particelle. A questo scopo alcuni progetti sono già in corso in sinergia con attività della CSN1. Altri progetti puntano alla realizzazione di rivelatori per lo spazio, lavorando sul miglioramento delle risposte di rivelatori a gas a microcanali.

A cavallo fra le attività di sviluppo dei rivelatori e le attività interdisciplinari, stanno trovando sempre più spazio e interesse le attività relative alle tecnologie quantistiche. Le tecnologie quantistiche si sono installate nella CSN5 su un'esperienza consolidata nell'Ente sulle strutture superconduttive e hanno trovato sbocco principalmente nello sviluppo di sistemi di rivelazione ad alta sensibilità per la ricerca di assioni. A questo proposito, diversi progetti stanno lavorando allo sviluppo delle tecnologie quantistiche per la rivelazione di fotoni nell'intervallo delle microonde. Parallelamente stanno crescendo le attività basate sull'ottica integrata per la realizzazione di qubit ottici o di sistemi *squeezed light* per gli interferometri.

L'attività relativa al calcolo nella CSN5 ha ormai una lunga tradizione e la Commissione supporta gruppi di ricerca sul Machine Learning, Monte Carlo e Intelligenza Artificiale applicati, nella maggior parte dei casi, alle scienze della vita. I progetti finanziati lavorano principalmente sull'ottimizzazione dell'uso delle facility di calcolo e dei programmi di gestione dati. I gruppi di ricerca sono attivi anche dal punto di vista della disseminazione, organizzando scuole e workshop per giovani sui metodi di programmazione avanzati e sulle loro applicazioni.

La linea di ricerca interdisciplinare della CSN5 è per la maggior parte dedicata alle scienze della vita, con particolare riferimento all'uso e alla dosimetria di radiazioni per la terapia del cancro. In questo settore si stanno affermando studi su metodi innovativi del frazionamento della dose dal punto di vista temporale e spaziale per minimizzare il danno sui tessuti sani. Sempre nell'ambito delle scienze della vita, vi sono diverse attività R&D dedicate allo sviluppo di dosimetri indossabili e all'uso e la produzione di radionuclidi per la medicina nucleare. Parallelamente la rivelazione delle dosi biologicamente efficaci e la realizzazione di fasci di radiazione adeguati sta spingendo oltre i limiti attuali le tecnologie di rivelazione e di accelerazione. Sempre nell'area interdisciplinare, sono in fase di sviluppo tecniche di indagine dei manufatti artistici basate su neutroni lenti e i metodi di diagnostica e rivelazione per queste applicazioni specifiche sono in rapida evoluzione.

Gli argomenti elencati riassumono a grandi linee i temi più rilevanti che verranno affrontati dalla CSN5 nei prossimi tre anni, ma molto probabilmente il triennio in questione vedrà sorgere ulteriori tematiche degne di nota.

5.3 Coordinamento Nazionale Calcolo

Il Coordinamento Nazionale Calcolo (CNC) opera con due organismi: il Comitato di Steering del Coordinamento Nazionale Calcolo (C3SN), che definisce le strategie, coordina tutti gli aspetti del calcolo scientifico nell'Istituto e gestisce l'infrastruttura nazionale di calcolo, e la Commissione Calcolo e Reti (CCR), che si occupa dell'infrastruttura di rete nazionale, delle licenze software dell'Ente, della sicurezza informatica e dei servizi a livello locale. Le attività della CCR sono finanziate ogni anno con un budget di circa 2.4 M€.

L'INFN ha un ruolo primario nel calcolo degli esperimenti di fisica delle alte energie, astroparticellare e nucleare e delle iniziative di fisica teorica grazie alla sua infrastruttura di calcolo scientifico che ospita un *Tier-1* al CNAF di Bologna e nove *Tier-2*, ai Laboratori Nazionali di Frascati e Legnaro e nelle Sezioni di Bari, Catania, Milano, Napoli, Padova, Pisa, Roma1 e Torino, della WLCG (*Worldwide LHC Computing Grid*), il sistema di risorse distribuite di calcolo, basato sul paradigma HTC (*High Throughput Computing*), creato per affrontare la sfida dell'enorme quantità di dati prodotta dagli esperimenti a LHC.

L'INFN è inoltre capofila del Centro Nazionale per *High Performance Computing, Big Data e Quantum computing* (ICSC), sviluppato nell'ambito dei progetti PNRR partiti nel 2022. ICSC ha un ruolo fondamentale nel disegnare la strategia italiana nel calcolo delle comunità scientifiche con ricadute importanti sulla realtà industriale del paese per fronteggiare la sfida posta dalla grande crescita dei dati che verranno prodotti nei prossimi anni. In questo contesto, il calcolo ad alte prestazioni, la simulazione numerica, l'intelligenza artificiale e la gestione dei *Big Data* saranno essenziali e strategici per comprendere e affrontare le grandi sfide sociali e per stimolare un processo di crescita sostenibile e di sviluppo umano consentendo al mondo accademico, all'industria e alle istituzioni di sviluppare servizi e scoperte. A tale scopo, l'INFN ha un ruolo di leadership nel creare, insieme a CINECA, GARR e agli altri partner del Centro Nazionale, l'infrastruttura digitale nazionale per la ricerca e l'innovazione. Questa infrastruttura, a partire dalle attuali infrastrutture HPC (*High Performance Computing*), HTC e Big Data, evolverà verso un modello *cloud datalake* accessibile dalle comunità scientifiche e industriali e permetterà di costituire un data center unico nel panorama europeo per capacità di calcolo e di gestione ed analisi di dati sperimentali. Questo hub di calcolo è uno degli elementi chiave del modello *datalake* che l'INFN intende adottare per la gestione della grande quantità di dati prodotta a HL-LHC (*High Luminosity-LHC*). Un secondo *hub* del modello *datalake* è costituito dalla infrastruttura di calcolo realizzata nel Sud Italia dal progetto IBiSCo nell'ambito del programma PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 finanziato dal MUR e di cui l'INFN è stato coordinatore.

Nell'ambito del Centro Nazionale ICSC è in corso il potenziamento e l'ampliamento di tutti i centri di calcolo dell'infrastruttura distribuita di calcolo scientifico dell'INFN e si stanno ulteriormente creando 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*.

L'INFN partecipa inoltre a diversi progetti legati all'iniziativa europea EOSC e in EuroHPC è partner principale, insieme a CINECA, del consorzio che nel 2022 ha portato in Italia al Tecnopolo di Bologna "Leonardo" cui, dal 2024, si affianca anche il *Tier-1* WLCG 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 (*Joint Undertaking*).

L'INFN partecipa alle attività di ICDI (Infrastruttura Calcolo e Dati Italiana). È però chiaro che nei prossimi anni l'impegno principale dell'INFN sarà nell'ambito dei progetti PNRR. Il Centro Nazionale ICSC rappresenta la realizzazione dei principi per cui era stata creata l'iniziativa ICDI, con però una capacità organizzativa e finanziaria che non erano immaginabili nel momento in cui ICDI era stato istituito. Inoltre, grazie all'iniezione di nuovo personale avvenuta nel 2023 nei diversi progetti PNRR, si è potenziata significativamente la capacità dell'INFN di sviluppare

algoritmi in grado di sfruttare le nuove tecnologie hardware e software nell'ambito della ricerca fondamentale, che continua a costituire la missione principale dell'ente.

Nel prossimo decennio, le risorse necessarie per il calcolo scientifico aumenteranno in maniera consistente. Oltre alla crescita prevista di circa un ordine di grandezza per gli esperimenti a HL-LHC, diventeranno più significative le necessità di altri esperimenti, anche in ambito astroparticellare, che raggiungeranno la scala attuale di un esperimento a LHC. Per affrontare questa sfida, 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.

Calcolo ad alte prestazioni

Nei prossimi anni i sistemi HPC alla scala dell'ExaFlops e successivamente post-ExaFlops raggiungeranno la maturità tecnologica necessaria per entrare in produzione nei centri di calcolo. Il costo per l'impiego in campo scientifico è oggi stimato in diversi (3-5) miliardi di euro e dovrà quindi essere affrontato a livello continentale. La strategia della politica Europea per il supercalcolo viene attuata attraverso l'iniziativa EuroHPC JU che colleziona i finanziamenti a livello Europeo in ambito HPC e realizza un comitato multinazionale di indirizzo scientifico e finanziamento economico all'infrastruttura di supercalcolo Europeo. L'INFN continuerà ad operare attivamente in questo ambito, per garantire l'evoluzione del sistema realizzato. In parallelo l'INFN partecipa attivamente alle attività di ricerca finalizzate all'esplorazione tecnologica ed al progetto di sistema per piattaforme *ExaScale* europee come previste a partire dal 2024, dall'ulteriore *pillar* di EuroHPC JU. In questo quadro e con l'obiettivo di indirizzare le scelte future per l'HPC Europeo verso le necessità del calcolo scientifico dell'ente, diversi gruppi INFN sono attualmente coinvolti, con ruoli chiave di management e contribuzione scientifico/tecnologica, nella redazione di proposte per la partecipazione alle call EuroHPC, apportando contributi per la parte di disegno architetturale e sistemistico e proponendo significativi *use case* applicativi per il *co-design* ed il *benchmark* dei nuovi sistemi. L'INFN ha già dimostrato di poter integrare in modo trasparente risorse HPC fornite da CINECA con la propria infrastruttura di calcolo distribuito. Queste tecniche sono essenziali per poter condividere in modo efficace le risorse presenti e future messe a disposizione dal Centro Nazionale, dalla EuroHPC JU e dagli altri canali di finanziamento.

Calcolo quantistico

Le proprietà di sovrapposizione, entanglement e interferenza, tipiche dei processi di meccanica quantistica, sono alla base dei computer quantistici, rendendoli potenzialmente più veloci di un sistema classico. 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. Il 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, sta producendo una rapida accelerazione verso enormi progressi tecnologici, con sistemi dotati di un centinaio di qubit o più, accessibili via modalità *cloud*.

L'Europa ha deciso di scommettere sulle tecnologie quantistiche (un *superset* del calcolo quantistico) come motore per lo sviluppo europeo, attraverso un progetto multimilionario e pluriennale *flagship*: l'INFN può e vuole far parte del filone di ricerca e sviluppo sulle tecnologie quantistiche. Anche se non è realistico immaginare che l'INFN costruisca un computer quantistico nei suoi laboratori, le sue comunità intendono 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 contribuirà 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, che garantisce l'accesso all'hardware più recente fornendo capacità di calcolo ad alta priorità a diversi gruppi teorici e sperimentali. L'INFN è entrato inoltre nella rete europea QuantERA e sarà in grado di partecipare alle call in cui vengono svolti test per gli sviluppi delle tecnologie e degli algoritmi. L'obiettivo è di partire da semplici applicazioni, per lo più su emulatori quantistici e poi passare ad applicazioni più complesse, al fine di essere pronti a trarre profitto dalla "supremazia quantistica" in caso di scoperte tecnologiche nei prossimi anni. Tramite la partecipazione alle attività su quantum computing del Centro Nazionale ICSC, che fra l'altro acquisirà un acceleratore quantistico per "Leonardo" e al partenariato esteso QST, l'INFN consolida ulteriormente il proprio ruolo in quest'ambito.

6. Le Infrastrutture di ricerca

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

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; la costruzione e l'installazione 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, che verrà 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 tre 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: vale a dire che, oltre a dare supporto alle attività sperimentali che i propri ricercatori svolgono in altri laboratori, ciascuno di loro porta avanti importanti progetti di ricerca in loco.

LNF – Laboratori Nazionali di Frascati

I Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) sono il più antico e più grande, per numero di persone, laboratorio dell'INFN. Essi si caratterizzano principalmente per la competenza a costruire ed operare acceleratori di particelle dedicati alla ricerca in fisica fondamentale ed allo sviluppo e costruzione dei grandi rivelatori utilizzati in essi.

Attualmente a LNF operano due grandi complessi di acceleratori:

- DAΦNE, l'unico collisionatore e+e- attualmente in funzione in Europa che opera ad energia nel centro di massa intorno al picco del mesone $\Phi(1020)$, e con luminosità istantanea pari a circa $1 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Attualmente il collisionatore serve un esperimento per la ricerca di atomi kaonici, SIDDHARTA2;
- SPARC_LAB, una infrastruttura concepita per la ricerca e lo sviluppo di nuove tecniche di accelerazione inclusi esperimenti sull'accelerazione al plasma, e lo sviluppo di sorgenti di radiazione TeraHertz e Compton.

Il complesso DAFNE serve anche:

- un laboratorio di luce di sincrotrone, DAΦNE -Light, dotato di sette linee di fascio nell'intervallo spettrale tra i raggi-X molli e l'infrarosso;

- la *Beam Test Facility*, BTF, con due linee di fascio (BTF1, BTF2) di elettroni e positroni con energia variabile fino a 700 MeV, concepite per studi su nuovi rivelatori, test di irraggiamento, e studi di diagnostica dei fasci. Di recente il fascio di BTF1 è stato anche utilizzato per servire un esperimento di fisica fondamentale, PADME, volto alla ricerca di nuove particelle.

LNF ospita inoltre numerose altre infrastrutture volte allo sviluppo ed al test delle tecniche di accelerazione e rivelazione di particelle, come il laboratorio plasmici, il laboratorio TEX, laboratori di criogenia, laboratori di caratterizzazione spaziale, officine meccaniche, elettroniche ed un potente centro di calcolo.

Nel luglio 2023, a LNF si contavano 280 unità di personale a tempo indeterminato, 47 a tempo determinato, e 165 associati inclusi anche quelli afferenti al Gruppo Collegato di Cosenza presso UniCal.

Gli associati includono studenti universitari di ogni ordine e grado, giovani post-Doc, e dipendenti di altre istituzioni scientifiche italiane ed estere.

La strategia scientifica a lungo termine del laboratorio prevede tre obiettivi fondamentali:

- 1) costruire il nuovo acceleratore EuPRAXIA@SPARC_LAB, che dovrà essere il centro dell'attività scientifica di LNF a partire dalla fine del presente decennio. A questo scopo è rilevante guidare la transizione da DAFNE ad EuPRAXIA@SPARC_LAB nel modo più efficace e scientificamente proficuo;
- 2) dare supporto ad alcune attività interne di fisica fondamentale o applicata che mostrino potenziali di crescita ed impatto rilevanti nei rispettivi ambiti di ricerca;
- 3) partecipare ad alcune e ben selezionate imprese internazionali in laboratori esterni con contributi di alto profilo tecnico-scientifico.

Nel breve termine va inoltre aggiunto l'obiettivo di portare a termine con successo tutti i progetti PNRR nei quali il laboratorio è coinvolto.

EuPRAXIA@SPARC_LAB consisterà di una sorgente di radiazione FEL pilotata da un acceleratore al plasma con tecnica *particle driven* (PWFA) e sarà la prima user facility al mondo ad utilizzare questa tecnica innovativa. Essa è parte di un programma europeo, inserito nel 2021 nella roadmap di ESFRI, che prevede la costruzione di due differenti acceleratori al plasma, uno *particle driven*, quello di Frascati, e uno *laser driven* (LWFA) in una sede ancora da definire. Il Governo italiano ha garantito un finanziamento per oltre 100 M€ per la costruzione della infrastruttura di LNF. Allo stato attuale il disegno dell'edificio è stato completamente definito ed i lavori di costruzione sono previsti iniziare entro il 2024.

Fino al 2028, data prevista per l'entrata in funzione di EuPRAXIA@SPARC_LAB, si prevede di operare DAFNE con un profilo d'uso progressivamente decrescente. Nel 2024 si completerà la presa dati di SIDDHARTA2, nel seguito il programma è ancora da definire. Le operazioni di BTF e di luce di sincrotrone saranno comunque garantite.

I LNF si sono sempre distinti come polo di sviluppo per nuovi rivelatori di particelle, in particolare per i rivelatori a ionizzazione e a scintillazione. Questo tipo di competenze devono essere preservate, anche nell'ambito delle grandi collaborazioni internazionali in corso di formazione per la costruzione di rivelatori ai futuri collider. In anni recenti, inoltre, si va formando competenza intorno all'uso di rivelatori criogenici, sia per la ricerca di assioni (esperimento QUAX) che per studi di nuove tecnologie quantistiche, anche in ambito applicativo. Questa linea di ricerca è considerata come uno degli asset portanti per la ricerca fondamentale dei LNF per il prossimo futuro e sarà, dunque,

supportata in maniera crescente nel corso del tempo. In particolare, è in atto uno studio di fattibilità per la riutilizzazione del grande magnete superconduttore dell'esperimento FINUDA (che non è in uso da circa 15 anni) allo scopo di costruire un nuovo grande rivelatore di assioni di origine cosmica.

Qualora il test dovesse risultare positivo, il prossimo quinquennio sarà dedicato allo sviluppo ed implementazione di questo progetto (esperimento FLASH).

Riguardo alla partecipazione ad esperimenti in laboratori esterni, ci sono attualmente due principali impegni costruttivi presi da ricercatori LNF: 1) la partecipazione alla costruzione del tracciante interno dell'esperimento ATLAS al CERN (ITK), per la fase-2 di LHC; 2) la realizzazione di una parte del near detector dell'esperimento DUNE a FERMILAB, che farà uso di un componente rilevante dell'apparato KLOE, attualmente in fase di smontaggio a LNF.

Tutte le principali attività portate avanti nei LNF durante il corso del 2022 sono descritte nel relativo rapporto di attività, consultabile online all'indirizzo: <https://library.lnf.infn.it/rapporto-di-attivita-2022/>, e sono riassunte qui nel seguito.

Riguardo EuPRAXIA@SPARC_LAB, è stato testato con successo il primo prototipo del modulo di accelerazione al plasma di 40 cm di lunghezza, cioè la lunghezza nominale della facility in via di costruzione. La *facility* TEX, inaugurata nel 2021, opera ora su base regolare con l'obiettivo di testare tutte le strutture acceleranti in banda-X, altro elemento essenziale per le operazioni della macchina. Inoltre, a livello di progetto europeo, la commissione EU ha garantito finanziamenti per la fase preparatoria e per la partenza di un programma di borse di dottorato dedicate specificamente allo stesso.

Nell'autunno 2022, come già indicato più sopra, la BTF ha fornito fascio all'esperimento PADME allo scopo di trovare evidenza di una nuova ipotetica particella, la cosiddetta X17. L'esistenza della stessa è una possibile conseguenza osservativa di una serie di esperimenti di fisica nucleare eseguiti al laboratorio Atomki di Debrecen in Ungheria. L'analisi di questi dati è attualmente in atto, e si attendono i primi risultati entro l'estate 2024.

Nel luglio 2022, il team dell'esperimento QUAX ha terminato l'installazione ed ha messo in operazione a scopo di test, l'antenna criogenica per l'osservazione di assioni cosmici. La presa dati vera e propria avrà inizio a fine 2023.

Tra fine 2022 ed inizio 2023 sono terminate le installazioni ad opera di ricercatori e tecnici LNF dei rivelatori per muoni dell'esperimento ATLAS al CERN e del rivelatore RICH dell'esperimento CLAS12 al laboratorio TJNAF negli Stati Uniti.

Le attività di trasferimento tecnologico hanno riguardato differenti settori tecnico-scientifici del laboratorio. Il laboratorio SCF_LAB, che si occupa della costruzione e caratterizzazione di strumenti per la ricerca su satelliti nello spazio, è stato coinvolto nella realizzazione di un microsatellite dalla Agenzia Spaziale Norvegese (NOSA), il cosiddetto NorSat-TD.

Il gruppo di SCF_Lab ha disegnato e realizzato un riflettore laser miniaturizzato per tracciare il satellite da terra. NorSat-TD è stato lanciato il 15 aprile 2023.

I ricercatori del LEMRAP (*Laboratory for Environmental and Medical Radiation Physics*) hanno brevettato nel 2021 un UCD (*Unbalanced Core Dosimeter*), un dosimetro da utilizzare nella radioterapia FLASH. Nel 2022 l'UCD è stato testato estensivamente (più di 100 ore di tempo fascio) in collaborazione con la compagnia italiana SIT - Sordina IORT Technologies S.p.A. (Aprilia), specializzata nel campo di rivelatori a scopo medicale. È stato dimostrato come questa

apparecchiatura abbia performance simili ai suoi diretti competitori, i dosimetri a diamante, ma sia un ordine di grandezza circa più economica.

Le attività di divulgazione ed informazione fanno parte delle fondamentali missioni del laboratorio. Esse sono ideate e gestite dal Servizio Informazione e Divulgazione Scientifica (SIDS) della Divisione Ricerca. Lo spettro di attività, che avvengono sia in presenza che su piattaforme informatiche, è molto ampio.

Durante il 2022 si sono tenute:

- attività in presenza per studenti di scuole di ogni ordine e grado, incluse le Università: numero totale di partecipanti 1500;
- attività online per studenti di scuola secondaria: numero totale di partecipanti 1800;
- attività in presenza per insegnanti di scuola secondaria: numero totale di partecipanti 235;
- visite guidate per il grande pubblico al Visitor Center del laboratorio: numero totale di partecipanti 380;
- visita alle infrastrutture del laboratorio in occasione dell'Open Day: numero totale di partecipanti 2200;
- Notte Europea dei Ricercatori: numero totale di partecipanti 6000;
- eventi organizzati fuori dal perimetro del laboratorio (Pint of Science, Lucca Comics ecc.): numero totale di partecipanti 4000;

In totale più di 14000 persone hanno visitato il laboratorio nel 2022.

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 m³), 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*. I LNGS attraggono ogni anno centinaia di ricercatori provenienti dalle più importanti università e istituzioni di ricerca europee e internazionali, nel 2019, periodo pre-pandemia, il numero di utenti registrati è risultato di ben 1000 unità, oltre il 60% da enti stranieri, il numero di scienziati attualmente coinvolti nelle attività di ricerca conta alcune migliaia di unità.

All'esterno del sito sotterraneo, in prossimità dell'ingresso del traforo autostradale, sono ubicati il centro direzionale, gli uffici per il personale e per gli ospiti che partecipano alle attività di ricerca, le strutture di servizio che provvedono al funzionamento del laboratorio sotterraneo, 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 con competenze ad altissima specializzazione tecnologica. Tra queste vanno ricordate:

- NOA (Nuova Officina Assergi) si compone di una camera pulita di oltre 400 m² di superficie configurata per poter funzionare in assenza di radon nell'aria, attrezzata con strumentazione per manipolare, testare e realizzare componenti ottici al silicio e i relativi circuiti elettronici. NOA è configurata per garantire il packaging e la realizzazione di fotorivelatori integrati basati su SiPM.
- L'officina 3D permette la realizzazione di componenti meccanici con tecniche additive utilizzando una grande varietà di materiali. Partendo dal disegno meccanico avanzato, si selezionano i materiali attraverso sistemi di "atomizzazione" e si arriva alla realizzazione dei componenti avanzati sia per la ricerca scientifica che per applicazioni industriali richieste da partner aziendali esterni al laboratorio.
- Il centro di calcolo è configurato per supportare l'acquisizione dati di tutti gli esperimenti, garantire un sistema di storage sicuro e affidabile, distribuire i dati raccolti in tutto il mondo dove hanno sede le collaborazioni

scientifiche. Nel 2023 il centro di calcolo si è dotato di una avanzata struttura di calcolo HPC che attualmente è in fase di test, diverrà così il nodo di riferimento per lo studio di eventi naturali in collaborazione con un gran numero di università e centri di ricerca.

- Nel laboratorio di spettrometria di massa sono presenti diverse classi di spettrometri, che vanno da un sistema quadrupolare per lo screening veloce ad un apparato a settore magnetico ad alta sensibilità fino ad un multicollettore per analisi isotopiche. È inoltre in fase di installazione uno spettrometro ad ablazione laser finanziato dal ministero della ricerca tedesco.
- Per trasferire le tecnologie sviluppate nella fisica underground allo spazio è in fase di realizzazione un laboratorio specificatamente progettato. Questo nuovo laboratorio consentirà di migliorare le sinergie tra questi due mondi della ricerca che solo a prima vista sembrano molto diversi.

All'interno dell'area sotterranea sono stati sviluppati laboratori avanzati che sfruttano la schermatura offerta dalla montagna del Gran Sasso per raggiungere elevate prestazioni e sensibilità. Il laboratorio STELLA è dedicato alla misura di tracce infinitesimali di contaminanti radioattivi nei materiali tramite spettroscopia gamma con rivelatori al germanio iperpuro (HPGe). Per massimizzare le prestazioni di misura i LNGS sono attivamente coinvolti nello sviluppo di nuovi HPGe: in questo ambito i LNGS sono considerati da tutti i laboratori del mondo come un punto di riferimento.

Una nuova officina meccanica in sotterraneo è in fase di realizzazione per salvaguardare i materiali iperpuri dall'esposizione ai raggi cosmici in modo da ottenere una sostanziale riduzione della radioattività cosmogenica. Questa nuova infrastruttura garantirà un ulteriore incremento della sensibilità per gli esperimenti sotterranei alla ricerca di eventi rari.

Il laboratorio sotterraneo verrà inoltre dotato di una nuova facility per lo sviluppo di rivelatori criogenici di particelle (bolometri) e per studi su *quantum sensors* e *quantum computing*. Nello sviluppo di rivelatori bolometrici, il laboratorio vanta una lunga tradizione e ospita diversi esperimenti che utilizzano questa tecnologia. Nella nuova facility ci saranno due refrigeratori a diluizione: uno di piccole dimensioni che consentirà test su piccoli moduli e lo sviluppo di sensori alle temperature dei mK; un secondo refrigeratore, finanziato dal ministero della ricerca tedesco, avrà dimensioni e spazio sperimentale sufficiente a testare prototipi di esperimenti criogenici. La facility consentirà alle collaborazioni scientifiche di accedere a strumentazioni per test avanzati con il supporto del servizio di criogenia del laboratorio.

Le tecnologie sviluppate dai LNGS hanno generato importanti ricadute anche fuori dal contesto della ricerca della fisica astroparticellare. Collaborazioni con aziende altamente tecnologiche sono in corso per trasferire le tecnologie provenienti dagli studi di fisica fondamentale al di fuori dei laboratori di ricerca.

Grazie all'offerta estremamente varia e altamente specializzata di servizi integrati e spazi per la ricerca, i LNGS si sono caratterizzati fin dalla loro fondazione, nel 1987, come attrattore per progetti scientifici internazionali di primissimo piano nelle più importanti ricerche nel campo della fisica astro-particellare, dell'astrofisica nucleare nonché negli studi degli effetti biologici delle radiazioni e nel monitoraggio geofisico/geologico. Su quest'ultimo punto una collaborazione con l'INGV ha permesso la realizzazione di un array sismico integrato all'interno dei LNGS sfruttando sismografi avanzati e nuove tecnologie che garantiscono precise misurazioni delle faglie nella regione del Gran Sasso.

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. L'esperimento Borexino, che ha concluso la presa dati nell'ottobre 2021, è stato in grado di ricostruire il completo ciclo dei processi nucleari che avvengono

all'interno del Sole e validare alcuni comportamenti specifici del neutrino che conducono alle oscillazioni di sapore. Borexino è stato l'unico esperimento mai realizzato in grado di analizzare tutte le reazioni che mantengono "acceso" il nostro Sole. Nel 2022 si è proceduto allo svuotamento dello scintillatore liquido mentre nella prima metà del 2023 è stata rimossa l'acqua presente nell'apparato. Il piano di dismissione delle varie componenti dell'apparato è stato completato salvaguardando la strumentazione che potrebbe essere riutilizzata per futuri esperimenti.

Esperimenti di ultima generazione sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini, come CUORE e GERDA, e i loro successori nel prossimo futuro, CUPID e LEGEND, studiano 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 quasi assoluta 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 che si stanno predisponendo per affrontare questa sfida anche grazie ai finanziamenti del programma PNRR.

I LNGS si sono affermati inoltre come laboratorio leader a livello mondiale nello studio della materia oscura. La natura della massa mancante, che ammonta a circa il 95% della massa totale dell'Universo, è sicuramente uno dei quesiti più importanti delle attuali osservazioni astrofisiche dell'universo. Esperimenti come XENONnT, CRESST, DAMA e DarkSide sono all'avanguardia in questa sfida che coinvolge moltissimi paesi in tutto il mondo e nei LNGS si concentrano gli esperimenti più sensibili mai realizzati. L'intenso programma di ricerca si arricchirà nei prossimi anni di ulteriori avanzati esperimenti quali CYGNO, SABRE e COSINUS giusto per citarne alcuni. Questo continuo sviluppo di nuovi progetti impegna i LNGS non solo nel supporto alle collaborazioni scientifiche, ma anche nella ricerca di nuovi spazi sperimentali al di fuori delle gallerie sotterranee dove realizzare gli apparati sperimentali. In questa ottica nel 2023 i LNGS hanno acquisito un nuovo edificio che diverrà sede di laboratori avanzati e fornirà altro spazio alle sempre più numerose collaborazioni scientifiche internazionali che frequentano i laboratori.

I LNGS perseguono inoltre un'attività di ricerca nell'ambito dell'astrofisica nucleare. La nuova *Enrico Bellotti Ion Beam Facility* è stata inaugurata nel 2023 e l'attività di ricerca del nuovo acceleratore da 3.5 MV è iniziata. Questa nuova facility permetterà di studiare con maggiore accuratezza le reazioni che avvengono all'interno dei nuclei stellari per comprendere l'origine degli elementi che hanno portato all'evoluzione dell'Universo. L'accesso alle risorse sperimentali verrà inoltre aperta a tutta la comunità nucleare che richiedesse un acceleratore schermato dai raggi cosmici. In parallelo l'acceleratore da 400 kV continua a produrre risultati per processi a più bassa energia ed è in fase di implementazione 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, renderà il laboratorio un attrattore per futuri studi nel campo della fisica delle astroparticelle: il primo esperimento a beneficiare del potenziamento sarà DarkSide-20k, progetto di punta LNGS per la ricerca di materia oscura.

Grazie ad un finanziamento del Ministero dell'educazione e della ricerca tedesco (BMBF), i LNGS si stanno dotando di nuove infrastrutture: una nuova infrastruttura di criogenia a bassissime temperature; il potenziamento del laboratorio di spettrometria di massa ad alta sensibilità; una nuova generazione di spettrometri HPGe sviluppata in collaborazione tra LNGS e laboratori di ricerca tedeschi; una nuova officina per la meccanica additiva con un laboratorio sotterraneo per non esporre i materiali all'attivazione dei raggi cosmici. Oltre a questi progetti specifici la collaborazione con il BMBF permetterà lo sviluppo di strumenti per misurare e ridurre il flusso di neutroni sugli

esperimenti, per trattare gas ultrapuri e contribuirà alla riconfigurazione di parte degli impianti elettrici del laboratorio sotterraneo.

L'installazione del nuovo centro di calcolo basato su un nuovo sistema HPC è in fase di completamento e porterà al potenziamento delle risorse di calcolo a cui gli esperimenti potranno accedere, sia per puro calcolo che per immagazzinamento dati. Fornirà inoltre supporto di calcolo al consorzio HPC4DR (*HPC for Disaster Resilience*) per condurre studi avanzati nell'ambito dei disastri naturali. La collaborazione dei LNGS con le Università del territorio sta inoltre definendo progetti che porteranno ad un ulteriore potenziamento del centro di calcolo, il tutto inserito in una strategia mirata a realizzare un nuovo importante nodo in grado di supportare attività di ricerca nelle regioni del centro Italia.

Nell'ambito del PNRR il progetto presentato sulla linea delle Infrastrutture di Ricerca, LNGS-FUTURE, ha ottenuto una eccellente valutazione risultando al terzo posto tra i progetti proposti in ambito nazionale. È importante ricordare che LNGS risulta essere una delle poche infrastrutture di ricerca classificate di "Livello Globale" e di fatto l'unica operante effettivamente in Italia. LNGS-Future punta ad ammodernare molte infrastrutture dei LNGS per renderle idonee ai futuri grandi progetti legati in particolare alla ricerca del doppio decadimento beta e della materia oscura. Sempre nell'ambito del PNRR, sulla linea connessa al Centro Nazionale sul calcolo avanzato, i LNGS saranno chiamati a realizzare 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 sulla linea della ricostruzione post terremoto del centro Italia. 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: questo progetto garantirà una completa riqualificazione del sito sperimentale dell'esperimento Borexino. Il progetto "*MISTER*" finanzierà invece la realizzazione della nuova infrastruttura per l'officina meccanica in sotterraneo e permetterà il potenziamento della *Enrico Bellotti Ion Beam Facility* ricollocando l'acceleratore da 400 kV.

Nell'ambito dello sviluppo tecnologico dell'Additive Manufacturing è stato invece finanziato il progetto PON MAD (Metamorfosi Additiva del Design), in collaborazione con università e grandi aziende del centro-sud Italia. I LNGS guideranno il progetto MAD promuovendo nuovi sviluppi nella stampa 3D e l'utilizzo di materiali avanzati. Altri progetti di entità minore sono stati inoltre finanziati e renderanno i prossimi anni particolarmente impegnativi per i LNGS, ma l'obiettivo primario è sicuramente quello ribadire il ruolo di riferimento che i LNGS ricoprono a livello Internazionale, Nazionale e Locale.

I LNGS sono inoltre direttamente coinvolti nello sviluppo di sistemi e infrastrutture per il calcolo quantistico grazie alle competenze in ambito criogenico, oltre alla possibilità di effettuare misure in sotterranea minimizzando l'effetto dei raggi cosmici. Il progetto SQSM, nato da una collaborazione tra l'INFN e il FNAL (Fermi National Laboratory - USA) e finanziato pressoché integralmente dal DoE (Department of Energy), studia gli aspetti connessi allo sviluppo dei computer quantistici. Nel progetto è stato dimostrato che l'interferenza dei raggi cosmici e della radioattività ambientale possano interferire con la stabilità di un singolo qubit: tale risultato apre nuove prospettive rispetto all'ottimizzazione dei tempi di latenza nei computer quantistici. È importante qui rimarcare che questa tipologia di studi possono di fatto 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.

L'accordo siglato tra INFN e INGV nel 2021 sta portando alla realizzazione del primo array sismico sotterraneo in Italia e uno dei più estesi al mondo. Grazie alle competenze dei due enti e le avanzate infrastrutture dei LNGS, che metterà a disposizione i suoi servizi, specifici strumenti ad alta sensibilità verranno sviluppati. Inoltre, i LNGS sono entrati a far parte del "*Centro internazionale per la ricerca sulle scienze e tecniche dalla ricostruzione fisica, economica e*

sociale – STRIC finanziato attraverso il fondo post sisma 2016. Il centro avrà sede principale presso l'Università di Camerino e una sede secondaria decentrata proprio ai LNGS. La collaborazione dell'INFN nell'ambito del centro prevede il potenziamento delle infrastrutture di misura sismica oltre allo sviluppo di modelli sismici utilizzando il centro di calcolo dei LNGS che contribuiranno inoltre allo sviluppo di nuovi strumenti per il monitoraggio basati su tecniche sviluppate negli studi di fisica fondamentale. In particolare, la tecnologia dei Ring Laser utilizzata per studi di relatività generale verrà adattata a studi rotazionali della crosta terrestre con sensibilità che sono attualmente non immaginabili. Questa fase di sviluppo porterà i LNGS a contribuire agli aspetti del monitoraggio ambientale e a gettare 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, ha iniziato ad analizzare l'attuale approccio dell'INFN al TT e sta gettando le basi per un'evoluzione che consenta di 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 in ambito trasferimento di conoscenza con l'obiettivo di migliorare e strutturare le metodologie di trasferimento.

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. Importanti sviluppi nell'ambito delle applicazioni legate al Cultural Heritage sono stati implementati coinvolgimento diretto in attività di respiro sia nazionale che internazionale. È qui da rimarcare come alcune tecnologie sviluppate per esperimenti underground stiano diventando oggi di specifico interesse nell'ambito spaziale e in questo senso i LNGS stanno realizzando specifici laboratori per meglio supportare l'interazione con le aziende dell'aerospazio.

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 laboratori 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 μ 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. I principali obiettivi degli LNL sono i seguenti:

- il completamento delle installazioni del progetto SPES, e l'operazione del ciclotrone B70 nelle condizioni di progetto;
- l'estrazione dal sistema target-sorgente di SPES di fasci radioattivi di bassa energia, la loro caratterizzazione e rilascio all'utenza per la prima sperimentazione;

- il completamento della linea di interfaccia fra SPES ed il post-acceleratore ALPI, con la messa in operazione del sistema di *Charge Breeder*, l'installazione e la messa in funzione del pre-acceleratore RFQ normale conduttivo per l'iniezione in ALPI e il *commissioning* della fase di riaccelerazione;
- la riaccelerazione con ALPI dei primi fasci esotici prodotti da SPES con una elevata selettività dalla sorgente laser e inizio della sperimentazione con gli apparati di rivelazione presenti ai LNL (AGATA, NEDA, PRISMA, ATS, GARFIELD, PISOLO);
- l'installazione del separatore di massa ad alta risoluzione (HRMS);
- 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 β - γ 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 continuazione della campagna sperimentale dello spettrometro a tracciamento gamma AGATA, i cui obiettivi programmati nel prossimo triennio sono:
 - 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;
 - lo sviluppo e il rilascio all'utenza di un fascio di ^{238}U per esperimenti di fisica nucleare;
- il completamento del nuovo DATA Center in costruzione ora presso i LNL. Questo Data Center sarà a supporto delle attività di presa e analisi dati di AGATA, nonché dei sistemi di acquisizione dati dei nuovi apparati previsti nella sperimentazione con SPES, ed inoltre, nell'ambito dei progetti di PNRR, garantirà un ampliamento del TIER-2;
- l'inizio della sperimentazione nel bunker dedicato alle misure di sezioni d'urto di produzione di radionuclidi di interesse medico e altre applicazioni.

Sono inoltre previste le seguenti attività di upgrade:

- il completamento della progettazione e il rifacimento delle infrastrutture elettriche e idrauliche della prima sala sperimentale del complesso di acceleratori Tandem-ALPI-PIAVE nonché di quella dell'acceleratore AN2000;
- l'accoppiamento del rivelatore per neutroni NEDA e altri rivelatori complementari ad AGATA per ulteriori campagne sperimentali;
- l'accoppiamento ad AGATA della facility EXOTIC che permetterà di utilizzare fasci di ioni leggeri radioattivi per studi di struttura nucleare;
- il completamento dei tre bunker e dei laboratori di radiochimica e bersagli inerenti al progetto LARAMED;
- lavori per il rinnovo del sistema di accesso dei Laboratori, lavori di manutenzione e modernizzazione dei fabbricati esistenti, fra cui la risistemazione del fabbricato denominato AURIGA;
- studio per l'efficientamento energetico del laboratorio per affrontare problemi di sostenibilità;
- progetto di aggiornamento dei sistemi antincendio e inizio lavori di aggiornamento e miglioramento cabine elettriche di media tensione;

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 2023, grazie al loro corretto funzionamento, il numero delle ore fascio fornite all'utenza raggiungerà valori notevoli.

Oltre all'affidabilità del complesso TAP (Tandem Alpi Piave) 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 ^{208}Pb ad energia superiore a 1.3 GeV è stato 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.

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

Il miglioramento della disponibilità delle grandi macchine ha permesso anche di sottoscrivere un contratto per la fornitura di fascio ad una ditta esterna. L'esperienza si è conclusa con successo tanto che sono arrivate e stanno tuttora arrivando richieste di tempo macchina da parte di altre ditte.

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

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

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 in carico la realizzazione del DTL (Drift Tube Linac); in un laboratorio gestito ed operato

dell'INFN nella galleria dell'RF di ESS si realizza il montaggio dei 5 tank (lungi circa 8 m ciascuno) che costituiscono questo acceleratore. Nel 2022 ai LNL è stata completata la produzione di tutti i componenti dei DLT. In agosto 2021 il tank 1 è stato installato nel tunnel dell'acceleratore, altri 3 tank sono stati installati nel corso del 2022, mentre l'ultimo è in fase di assemblaggio, tuning e test. Le lavorazioni delle varie componenti in Italia sono sostanzialmente terminate, concernono la preparazione di parti di ricambio e in attività di supporto e consolidamento per i montaggi a Lund (SE).

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

- All'interno del nuovo Centro Nazionale di HPC, Big Data e Quantum Computing (ICSC) i LNL prevedono nell'ambito dello Spoke 0 lo sviluppo ed il miglioramento del centro TIER2 per il calcolo scientifico ed altri servizi per quanto riguarda le reti INFN con un moderno DATA CENTER, nonché (spoke 10) alcuni sviluppi nell'ambito del quantum computing.
- Nell'ambito dei partenariati estesi LNL è coinvolto nella linea 4 "Scienza e Tecnologie Quantistiche" con il progetto NQSTI che si dedica alla ricerca e sviluppo a livello di *proof of concept* sperimentale in laboratorio, nel campo delle scienze, delle tecnologie quantistiche per applicazioni radicalmente innovative nel sensing, nella comunicazione sicura e nell'elaborazione della informazione quantistica e nella simulazione.
- Nell'ambito del Piano di Investimenti Complementari del PNRR riguardante *Research initiatives for technologies and innovative trajectories in the health and care sectors*, l'INFN è risultato vincitore, in qualità di affiliato, del progetto ANTHEM (*AdvaNced Technologies for Human-centrEd Medicine*), al quale LNL partecipa per la sua competenza nell'ambito dello sviluppo di acceleratori.

Ad integrazione di queste attività i LNL hanno un significativo programma di trasferimento tecnologico, soprattutto nei campi del trattamento delle superfici, della produzione di bersagli solidi, dello sviluppo di radionuclidi innovativi per applicazioni mediche, dello sviluppo di rivelatori HPGe, della diagnostica con fasci calorimetrici e dell'irradiazione con fasci di ioni di componenti spaziali. Il Master in *Material and Surface Treatments Sustainable Technologies for Industrial Applications*, organizzato congiuntamente da INFN e Università di Padova, è giunto alla sua ventesima edizione, ha visto la partecipazione di un maggior numero di studenti e di partnership industriali.

Per quanto riguarda la Terza Missione gli 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 ad ottobre 2023 è di 138 (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 134.

Grazie ai fondi aggiuntivi del PNRR, i LNS hanno beneficiato di nuove posizioni di tecnici e tecnologi risolvendo temporaneamente il problema della carenza di personale. È tuttavia ancora necessario uno sforzo significativo per sostenere il ricambio generazionale (altre selezioni sono in corso).

Il budget nel 2022 ammonta a circa 6 M€ per i costi operativi e 3,4 M€ dalle CSN per la Ricerca, usufruendo di circa 58 M€ 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 e 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^{14} pps. Inoltre, 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 per un importo totale di 19,3 milioni di euro, nell'ambito del PON Ricerca e Innovazione 2014-2020. La maggior parte delle attrezzature acquistate è stata o sarà consegnata ai LNS entro la fine del 2023; tutti i lavori civili finanziati dal PON sono stati completati e testati, ad eccezione di alcune parti residuali.

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 prevista per settembre 2024. Al momento, sono in corso misure magnetiche preliminari per verificare la qualità del campo ed eventualmente apportare correzioni meccaniche in vista delle misure magnetiche finali. In attesa della consegna del nuovo magnete, il Tandem verrà messo in funzione per riprendere l'attività sperimentale. La sua ripartenza è però subordinata al completamento dell'iter autorizzativo avviato nel 2021, riguardante sia la radioprotezione, attraverso l'Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Protezione dalle Radiazioni (ISIN), che l'attuazione delle normative antincendio.

I LNS sono coinvolti in progetti estremamente impegnativi che hanno importanti implicazioni per la fisica nucleare fondamentale, come descritto nel paragrafo successivo. Inoltre, le attività tecniche e scientifiche di KM3NeT uniscono diverse discipline scientifiche e promuovono la collaborazione tra esperti di astrofisica, fisica delle particelle, oceanografia e altre scienze, consentendo una più ampia comprensione del nostro universo così come del mondo marino.

La disponibilità di nuovi fasci aprirà a nuovi importanti progressi scientifici a livello internazionale.

Il progetto NUMEN, in particolare, è un'impresa il cui obiettivo di determinare gli elementi di matrice nucleare (NME) del doppio decadimento beta ha attirato l'attenzione della comunità scientifica internazionale. Aumentando l'intensità del fascio di un ordine di grandezza o più e aggiornando lo spettrometro magnetico MAGNEX, i LNS saranno in grado di determinare le NME attraverso reazioni di doppio scambio di carica, comprese quelle che coinvolgono il ^{76}Ge , di interesse per l'esperimento GERDA in CSN2.

In seguito al ritardo della consegna del sistema magnetico del Ciclotrone Superconduttore, il progetto NUMEN anticiperà il suo programma sperimentale che prevede l'utilizzo dei fasci Tandem per studiare la dipendenza

energetica degli elementi di matrice nucleare attraverso le reazioni di doppio scambio di carica nel regime di minore energia.

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

Sono previste anche altre attività con i nuovi fasci, come nuovi studi sull'Equazione di Stato (EoS) della materia nucleare e l'esplorazione di fenomeni di clustering esotici. Questi studi saranno condotti dalla collaborazione CHIMERA nell'ambito del programma di ricerca 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 a una maggiore conoscenza 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, compresa la dinamica delle oscillazioni che influenzate dalla EoS di cui sopra determinano l'emissione delle onde gravitazionali, in vista dell'impegno su ETIC.

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, rafforzando le attività di astrofisica nucleare all'interno dell'INFN.

Il gruppo continuerà a sfruttare i fasci Tandem e, in particolare, la possibilità di accelerare specie radioattive a lunga vita prodotte in modalità batch, come il ^{10}Be , il ^{26}Al e il ^{44}Ti , grazie anche al MoU con altre istituzioni che forniranno gli isotopi. La tecnica è già stata testata con successo con il ^{10}Be , raggiungendo un'intensità di 1010 pps, la più alta disponibile al mondo. Le reazioni che utilizzano questi fasci sono legate all'astrofisica multi-messaggero. Inoltre, sulla scia di un risultato recentemente pubblicato su *Nature Communications Physics*, riguardante la misura della lunghezza di *scattering* p-p *Coulomb-free* dalla sezione d'urto di *scattering* p-p *off-shell*, il gruppo Asfin ha in programma la misura dello *scattering* n-n.

Nell'ultimo anno è stata affrontata la questione di rendere i nuovi fasci disponibili a tutti gli utenti e il piano attuale prevede la realizzazione di una linea di fasci nell'area intorno alle vecchie sale CICLOPE e 0° . Ciò consentirà di fornire sia fasci di frammentazione che fasci stabili a intensità superiori di oltre un ordine di grandezza rispetto al passato. Le operazioni richiedono un finanziamento ad hoc.

I LNS sono dotati di una linea di fasci ad uso 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 tra il 2022 e il 2023. Grazie al finanziamento del progetto IDMAR, il nuovo sistema DCFO, composto da un cavo 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 di 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.

Un'altra importante fonte di finanziamento consente ulteriori passi verso il completamento di KM3NeT: il progetto KM3NeT4RR-PNRR, che prevede la costruzione e installazione di altre 50 DU e 5 *junction boxes*, da collegare all'IDMAR-DCFO. Il rivelatore KM3NeT-ARCA è attualmente composto da 16 DU operativi e i primi risultati sull'accuratezza del puntamento del rivelatore e sulle oscillazioni dei neutrini sono stati pubblicati, confermando le specifiche di progettazione.

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 nel 2022 e la costruzione sarà avviata nel 2024. Uno studio di fattibilità (effettuato utilizzando la *Flexible Plasma Trap*) condotto presso i LNS ha dimostrato che è possibile identificare regioni di densità e temperatura degli elettroni che possono essere indagate in PANDORA.

La collaborazione sta anche discutendo con GANIL e CNRS la possibilità di integrare nel sistema una nuova diagnostica implementata dall'uso della parabola di Thompson. Per quanto riguarda l'iniezione di isotopi nella trappola, sono state effettuate stime dettagliate delle quantità richieste presso LNL. 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}Nb . L'utilizzo dei cristalli della collaborazione GAMMA consentirà la misura dei raggi gamma emessi dalle specie figlie dopo il decadimento beta.

Da una recente modellizzazione teorica del plasma, le previsioni del tasso di decadimento indicano un aumento del tempo di dimezzamento del ^{134}Cs di oltre un fattore di 3 rispetto ai lavori precedenti basati sulla sistemistica esistente.

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 dell'apparato I-LUCE (Laser induced acceleration), finanziato grazie a contributi PNRR denominati EuAPS, SAMOTHRACE e ANTHEM. I-LUCE sarà una nuova struttura dedicata agli elettroni (scala GeV), ai protoni e agli ioni (scala MeV), alla produzione di radiazioni gamma e neutroni e agli studi fondamentali basati sul plasma. I-LUCE sarà dotato di due uscite laser: 45 TW/10 Hz e 350 TW/1 Hz) e due linee di fascio laser trasportate in camere di interazione diverse: una dedicata alla produzione di radiazioni e l'altra all'interazione del plasma con fasci TANDEM e CS per lo studio delle reazioni nucleari nel plasma. Quest'ultima rappresenta un'opportunità attualmente presente solo al GSI.

Nel 2022-2023 sono state svolte le seguenti attività tecnologiche presso i LNS: NDA-Tetra Pak; NDA-Neodata; NDA-IBA; IP-Management Agreement TORET-device; contratto LNS-CIVIDEC per la fornitura di sensori.

I LNS hanno organizzato un ampio numero di progetti sostenuti dalla CC3M e sono stati coinvolti nei progetti nazionali LAB2GO, *Art&Science* e HOP. I LNS ospitano anche progetti organizzati nell'ambito del programma PCTO dove il personale svolge il ruolo di tutor, esperto e guida. Da segnalare l'impegno al servizio del pubblico con visite guidate al Visitor Centre, accogliendo gli studenti delle scuole secondarie e, dal 2023, anche quelli 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 2023 ha coinvolto oltre 1700 studenti e insegnanti delle scuole secondarie.

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 ospitata al CNAF è il Tier1, il maggiore data center dell'INFN, che fornisce risorse e servizi di calcolo e storage ad oltre 40 collaborazioni scientifiche (il dato si riferisce al 2022) 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 60000 core organizzati in una farm di calcolo, una capacità di memorizzazione veloce (online su disco) di 56 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. 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 configurato anche l'unico Tier2 italiano per l'esperimento LHCb.

Il personale del CNAF è composto da 61 unità, principalmente tecnologi e tecnici, docenti ed amministrativi. Il personale a tempo determinato è circa il 35%. In generale, il finanziamento del CNAF deriva in parte dal FOE ed in parte dai progetti sia europei che nazionali. Nel 2023, in particolare, vi è stato il finanziamento derivante dai progetti PNRR (ICSC, Terabit, DARE, Ecosister).

È in fase di rilascio il nuovo data center al Tecnopolo (presso la "ex Manifattura Tabacchi" di Bologna). Il nuovo data center è contiguo alla hall nella quale è stato installato Leonardo, la macchina pre-exascale del CINECA, rendendone agevole l'uso come estensione della farm di calcolo del Tier1.

Gli impianti tecnologici, condivisi con il data center del CINECA, permetteranno di ospitare nella hall INFN, nella prima fase (fino al 2027), risorse fino a 3 MW di consumo per poi salire, nella seconda fase, fino a 10 MW. Per confronto, la potenza massima installabile nell'attuale data center è di 1.4 MW.

La hall INFN ha una superficie utile superiore a 2000 mq (il data center attuale ha una superficie di 800 mq): parte di essa (500 mq) sono lasciati come spazio per una possibile espansione futura.

Le stime di crescita delle risorse installate al Tier1 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 scientifiche avranno necessità di grandi quantità di calcolo e spazio per la memorizzazione dei dati, anche al di fuori della nostra comunità scientifica di riferimento (come ad es. la già citata ACC). Inoltre, dal prossimo anno, il data center del CNAF ospiterà anche parte delle risorse per i progetti PNRR.

Il CNAF partecipa a vari progetti di ricerca e sviluppo nel campo del calcolo distribuito, sia a livello nazionale che internazionale, svolti in collaborazione anche con aziende ICT e pubbliche amministrazioni. Particolare rilevanza ha, da qualche anno, l'attività di innovazione nel campo delle tecnologie *cloud* che, dapprima, ha portato alla nascita, a livello locale, di Cloud@CNAF e, successivamente, a livello nazionale, alla realizzazione di INFN CLOUD, il *cloud* del nostro Ente. Cloud@CNAF è federata con INFN CLOUD. INFN CLOUD è complementare al *Tier1* offrendo servizi *on demand* ai ricercatori INFN e coprendo così esigenze quali l'accesso interattivo e più in generale permettendo l'accesso a risorse di calcolo a collaborazioni che non abbiano ancora risorse finanziate come sono invece quelle dell'infrastruttura dei *Tier*. Tramite INFN CLOUD, l'INFN partecipa alle iniziative europee dell'EOSC (*European Open Science Cloud*), un'azione strategica europea a lungo termine per creare un ambiente virtuale e federato comune a tutte le discipline scientifiche. All'interno dell'EOSC sono presenti, fin dal 2015, progetti di esplorazione e prototipazione, ai quali il CNAF partecipa (ad es. EOSC-Future, 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 ospita nei propri sistemi di memorizzazione i loro *database*, garantendone la privacy e la protezione.

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).

I lavori di realizzazione del nuovo data center al Tecnopolo, iniziati nel 2021, sono terminati alla fine del 2023. La migrazione delle risorse dall'attuale data center inizierà a inizio 2024 per concludersi entro lo stesso anno. La migrazione, che verrà effettuata senza interruzione di servizio, sarà una delle principali attività del CNAF nel 2024. Tale attività è tracciata nel TDR del progetto "CNAF Reloaded"; il progetto prevede anche una parte di evoluzione dei servizi offerti dal data center.

Nel corso del 2023 parte dell'attività sull'evoluzione dei servizi è confluita nel progetto nazionale *Datacloud* che sarà una degli impegni strategici rilevanti per il CNAF nel 2024, insieme soprattutto ai vari progetti PNRR (ICSC, Terabit, Ecosister e DARE) ai quali è sinergico.

Datacloud, coordinato in seno al C3SN, ha il compito di fare evolvere le infrastrutture informatiche dell'Ente (la struttura dei Tier e il cloud) facendole convergere nel *Data Lake* italiano della ricerca. 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 meglio rispondere alle esigenze strategiche dell'INFN (il paradigma *cloud/data lake* si sta affermando come standard per WLCG). Del *Data Lake* il CNAF sarà la componente INFN principale.

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 utilizzati dalle nostre comunità di riferimento. 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 (in primis WLCG).

Nel corso del 2024 particolare rilevanza assumerà l'evoluzione di IAM per poter essere utilizzato come strumento per l'autorizzazione nei progetti biomedicali.

Oltre alle già citate collaborazioni in campo biomedico, personale del CNAF partecipa alla rete CHNET sui Beni Culturali (in particolare ai progetti Europei Ariadneplus e 4CH). Inoltre, alcuni dipendenti del CNAF hanno incarichi di docenza per corsi universitari (laurea, master, dottorato). Nel corso del 2023 vi sono stati alcuni incontri con classi di scuole superiori con visita al data center: questa attività proseguirà anche nel 2024.

GGI – Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics

Il GGI ([Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics](#)) è Centro Nazionale di Studi Avanzati dell'INFN dedicato alla organizzazione di programmi di ricerca (*workshop*) di lunga durata su argomenti di punta della fisica teorica.

Il successo del GGI si deve al particolare formato dei programmi di ricerca che lascia ampio spazio a discussioni e collaborazioni tra i partecipanti, ed al contesto stimolante ed informale in cui i ricercatori si trovano immersi. A testimonianza del suo valore, il GGI è risultato vincitore di un *grant* molto prestigioso della *SIMONS Foundation*. Grazie a questo contributo Il GGI ha dato inizio nel settembre 2015 ad un programma di Simons Visiting Scientists per supportare la partecipazione di eminenti scienziati. A causa della pandemia, è stato chiesto e ottenuto una *no-cost extension* di tale *grant* che si è concluso il 30 giugno 2023.

Alla fine del 2024 si saranno tenuti al GGI 54 [workshop](#) 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 1400, fonte [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 2024 vi saranno 4 long-term workshop, ([Resurgence and Modularity in QFT and String Theory](#), [BPS Dynamics and Quantum Mathematics](#), [Neutrino Frontiers](#), [Mathematical Structures in Scattering Amplitudes](#)), ognuno dei quali includerà sia una *focus week* su un particolare specifico argomento di punta, che una *training week* rivolta alla formazione dei giovani ricercatori.

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. Le scuole sono organizzate su 2-3 settimane di immersione totale. Oltre alle lezioni alla lavagna, vengono infatti stimulate discussioni, sia guidate che spontanee, nelle varie aree disponibili al GGI. 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. Il GGI ha un canale dedicato su [YouTube](#) dove sono collezionati i video di tutte le lezioni delle 5 scuole fin 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.

Contestualmente alla formazione del Centro Nazionale di Studi Avanzati nel 2018, l'INFN ha istituito un premio, la [Galileo Galilei Medal](#), in onore del padre fondatore del metodo scientifico e della fisica moderna. Tale prestigioso premio viene consegnato ogni due anni a fisici che hanno dato, nei precedenti 25 anni, contributi rilevanti nel campo della fisica teorica. 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 per lo sviluppo di potenti metodi di calcolo di teoria quantistica dei campi ad elevato

ordine perturbativo. Questi metodi sono stati essenziali per il confronto delle predizioni teoriche con i risultati sperimentali di LHC.

Nel 2021 nasce il programma di assegni di ricerca [GGI BOOST](#) dedicati ai neodottori di ricerca in fisica teorica per completare al GGI la loro formazione e affrontare con maggior maturità il percorso post dottorale. I post-doc del GGI hanno creato un network di giovani ricercatori teorici che prendono parte alle [Theory Lectures by Young Researchers](#). Il loro percorso di ricerca presso il Centro è 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. Il programma BOOST è attivo anche per il 2024, ed avremo altri 3 giovani post-doc al GGI. Per le future edizioni sarebbe opportuno offrire la possibilità di chiedere il rinnovo di una annualità, come previsto per gli assegni di ricerca.

Il Comitato Scientifico selezionerà i programmi di ricerca che si svolgeranno al GGI nei prossimi anni e le 5 scuole di dottorato seguiranno la programmazione ordinaria. A questa attività istituzionale si aggiungono iniziative di minor durata temporale proposte dalla comunità scientifica internazionale ed ospitate dal GGI dietro approvazione del Consiglio di Centro. Ad esempio nel 2023 si è svolta la seconda edizione del mini-workshop [New horizons for horizonless physics: from gauge to gravity and back II](#) che è stato riproposto vista la importanza e l'attualità dei temi trattati e ha confermato il successo di partecipazione della prima edizione e, molto eccitante, il *mini-workshop* [Quantum Observables for Collider Physics](#) (6-10 Nov. 2023) che ha visto teorici e sperimentali porre le basi per future collaborazioni.

Nel 2023 il GGI ha lanciato una *call* per l'organizzazione di una nuova scuola di dottorato dedicata alla sinergia della ricerca in fisica teorica e sperimentale. Abbiamo avuto sei proposals. Il Comitato di selezione, formato dalla Direttrice del GGI e dai presidenti delle 5 Commissioni Scientifiche Nazionali INFN ha scelto, [The high intensity frontier of particle physics](#), come argomento della prima scuola "Theory meets Experiments", rivolta a studenti di PhD teorici e sperimentali con lo scopo di creare un terreno comune di conoscenza di base. Visto l'alto numero e la qualità dei *proposal* ricevuti per questa prima edizione, verranno analizzati gli *exit report* compilati da studenti, *lecturers*, *tutors* e organizzatori, e sarà valutata la possibilità di organizzare due scuole "Theory meets experiments" su argomenti diversi, il prossimo anno.

Outreach: Il GGI è risultato vincitore di 2 assegni di ricerca biennali, rispondendo al bando per progetti di alta formazione "Giovani Si" di Regione Toscana. Il progetto finanziato "GGPaths: Sulle tracce di Galileo Galilei: sentieri di scienza in Arcetri" ha come partner il Sistema Museale di Ateneo (UNIFI). I due assegnisti, in servizio dal 1° luglio 2022, uniscono le loro competenze artistico-museali e scientifiche, per progettare eventi collettivi, attività didattiche e incontri divulgativi. Questo permette al GGI di assumere un ruolo attivo nella divulgazione della ricerca che qui si svolge. "[Grasping the Cosmos](#)" fa parte di questo progetto. Attraverso il dialogo tra scienza, storia della scienza, arte contemporanea e società, il progetto si compone di più fasi di offerta culturale. La prima fase "[Il senso delle stelle](#)" ha visto l'artista Federica di Carlo, in residenza presso Villa Galileo, partecipare alla scuola del GGI "Theoretical Aspects of Astroparticle Physics, Cosmology and Gravitation" (March 20-31, 2023), e stabilire un dialogo con i giovani scienziati. Come risultato dell'interazione sono state prodotte ed esposte opere dall'artista alla mostra "tendo ad esistere" inaugurata il 22 aprile 2023. La seconda fase vede la partecipazione alla Biennale di Arte e Scienza "La Science de l'Art" con 2 nuove artiste in residenza e le mostre "[Cosmogonic orchestra](#)" (14-28 ottobre 2023), e "An entangled Time Machine" (11-25 Nov. 2023). La terza e ultima fase del progetto vedrà ancora una artista in dialogo con i partecipanti alla scuola "Theoretical Aspects of Astroparticle Physics, Cosmology and Gravitation" nella primavera 2024.

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'Azienda 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. Il TIFPA gestisce anche l'accesso alla linea sperimentale situata presso il centro di protonterapia dell'Azienda Sanitaria Provinciale, 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 budget del Centro si basa in parte sui finanziamenti regolari dell'INFN ma può anche contare su un certo numero di progetti proposti dai ricercatori (come PRIN, CARITRO, ecc.). Alcuni esperimenti sono inoltre cofinanziati da agenzie esterne come l'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) e attraverso collaborazioni internazionali.

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 privilegiato 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 rilevatori), 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'Azienda Sanitaria Provinciale collabora concretamente nel funzionamento della linea di ricerca presso l'impianto di protonterapia, ma sta aprendo il suo interesse anche verso altri aspetti della ricerca svolta nel Centro.

Questa varietà di collegamenti si riflette nella ricerca scientifica spaziale, nello sviluppo di sensori e rilevatori, 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.

Le principali priorità e obiettivi del TIFPA sono: a) rafforzare i legami 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 al rilevamento quantistico (in stretta collaborazione con FBK e l'Università di Trento) e al calcolo quantistico, con una forte partecipazione di vari Dipartimenti dell'Università.

Tra i progressi scientifici e tecnici recenti va menzionata la possibilità di sperimentare il cosiddetto protocollo di terapia FLASH, basato sulla somministrazione di dosi molto più elevate di radiazioni sui tessuti rispetto ai protocolli terapeutici standard, ma in un intervallo di tempo molto più breve. Il gruppo a Trento è all'avanguardia in tali sperimentazioni. La fattibilità dell'aggiornamento della linea di fascio per consentire la distribuzione di tali impulsi è

stata interamente sostenuta dal TIFPA, che ha coperto i costi dell'operazione. Sono stati compiuti notevoli progressi anche nella missione spaziale LIMADOU, che mira allo studio della fenomenologia del clima spaziale. Il progetto è giunto alla fase finale, e i componenti finali dovrebbero raggiungere presto la destinazione finale.

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 tipi di produzioni. In generale, la presenza di FBK garantisce un canale privilegiato per raggiungere l'industria locale e nazionale. Per quanto riguarda la divulgazione, 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).

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) e ad attività di impiantazione ed 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 UniFi e personale a tempo determinato (circa il 30% del totale) sia INFN che UniFi.

Il LABEC fa parte di ACTRIS, 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). Recentemente, ACTRIS è diventato un consorzio ERIC.

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 recentemente elaborata una proposta di aggiornamento per superare alcune criticità dovute all'obsolescenza di parte dell'attrezzatura e consentire una maggiore fruibilità dell'infrastruttura. Il progetto, presentato recentemente 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 a tensione più bassa 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.

Nell'ambito del LABEC è stato progettato e realizzato un innovativo acceleratore di protoni da 2 MeV di piccole dimensioni (2.5x1.0 m²), di tipo HF-RFQ e con corrente media di alcuni nA. L'acceleratore, sviluppato in collaborazione col CERN nell'ambito del progetto MUR-FISR "MACHINA", è progettato per effettuare misurazioni diagnostiche per i beni culturali. L'obiettivo principale è utilizzare MACHINA nei laboratori di restauro e diagnostica dei grandi musei. Il primo prototipo verrà installato all'Opificio delle Pietre Dure; un secondo prototipo, da installarsi a L'Aquila, è già in costruzione, 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, sia 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 alla 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; applicazioni in campo medico, mediante acceleratori convenzionali RF ad alta frequenza e tecniche di accelerazione laser; 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%.

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 10^8 Gy/s. 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.

Nel prossimo triennio, a valle degli investimenti fatti attraverso il progetto PNRR IRIS e gli altri progetti sopra menzionati, l'INFN ha in programma di ridiscutere tutta l'organizzazione della propria ricerca nel campo degli acceleratori e delle superconduttività, per migliorare il coordinamento nazionale, la propria competitività a livello internazionale e la collaborazione con il sistema industriale del paese.

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 tunnel, ciascuno lungo 3 km e mantenuto sotto ultra-alto vuoto ($P=10^{-9}$ mbar risultando il più grande sistema di ultra 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 l'altra 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 2108-19 è iniziata la preparazione del run O3 che è durato dall'aprile 2019 all'aprile 2020, interrotto un mese prima del previsto a causa della pandemia. Il run O3 insieme alle precedenti (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 in tempo e la collaborazione ha deciso di non unirsi al run O4 dall'inizio, che quindi è iniziato solo con LIGO., e di partecipare al run dal 2024. L'inizio dell'O5 dipenderà dalla conclusione del run O4 e dai risultati ottenuti.

Il personale di EGO è rimasto sostanzialmente costante negli anni, con circa 60 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 dominante 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. Attualmente sono in fase di valutazione due possibili configurazioni, entrambe richiedono importanti modifiche dell'infrastruttura e nuovi investimenti. Se approvato dalle agenzie finanziatrici questo progetto 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.

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 multipli 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 di preparare una serie di colloqui e MOU per la collaborazione 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 2023 abbiamo avuto circa 9000 visitatori, di cui il 65% è rappresentato da scuole di ogni ordine e grado e università. Il 15% dei visitatori proviene da Paesi esteri. Le visite attualmente sono al completo fino a giugno 2024.

Negli ultimi anni un gran numero di [eventi pubblici](#), mostre, laboratori e varie altre iniziative sono state organizzate in Italia, in tutta Europa. 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 in coordinamento sia con le *Funding Agencies* di EGO, sia 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 invece 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 diverse decine di stringhe per volta.

ARCA, pur in configurazione ridotta, è attiva ed in presa dati continua. 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

EuPRAXIA è una iniziativa internazionale, supportata da fondi EU, volta alla costruzione della prima infrastruttura di ricerca che utilizzi acceleratori di particelle basati sulla tecnologia della accelerazione al plasma.

Il progetto è stato inserito nella Roadmap di ESFRI nel 2021 e prevede la costruzione di due facilities di questo tipo, una basata sulla tecnica "*beam driven acceleration*", che verrà realizzata ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, ed una basata sulla "*laser driven acceleration*" il cui sito è ancora da stabilire.

All'impresa partecipano attualmente, attraverso tre differenti consorzi, 54 istituti di ricerca di 18 paesi. I Laboratori Nazionali di Frascati ospitano il quartier generale del progetto e, come detto, saranno la sede dell'acceleratore basato sulla tecnica "*beam driven*" che viene identificato come EuPRAXIA@SPARC_LAB.

Per quest'ultimo progetto il Governo italiano ha già stanziato 108 milioni di euro, mentre per l'intera impresa europea, che è allo stadio di "*preparatory phase*" l'Unione Europea ha stanziato circa 4 milioni di euro.

Il nuovo acceleratore EuPRAXIA@SPARC_LAB è pensato essere il centro dell'attività scientifica di LNF a partire dalla fine del presente decennio. Esso consisterà di una sorgente di radiazione FEL pilotata da un acceleratore al plasma con tecnica "*particle driven*" (PWFA) e sarà la prima user facility al mondo ad utilizzare questa tecnica innovativa. Allo stato attuale il disegno dell'edificio è stato completamente definito, le autorizzazioni a costruire sono state ottenute ed i lavori sono previsti iniziare entro il 2024.

Nel contempo viene elaborato il Technical Design Report (TDR), che descriverà in dettaglio tutte le soluzioni tecniche ed infrastrutturali pensate per la realizzazione del progetto. Il documento è previsto essere finalizzato entro il 2025.

Ad LNF viene inoltre portata avanti la sperimentazione per testare molte di queste soluzioni tecniche, in laboratori concepiti allo scopo: TeX, dedicato agli studi di radiofrequenza in banda X ed in generale agli sviluppi di tutte le tecnologie e sistemi al contorno di un acceleratore di particelle; PLASMALAB, laboratorio in cui vengono sviluppati e testati i capillari nei quali avviene l'accelerazione; SPARC_LAB, l'acceleratore nel quale allo stato attuale vengono effettuati test completi di accelerazione al plasma e produzione di luce laser prodotta da essa.

In altri laboratori già preesistenti ad EuPRAXIA vengono studiate soluzioni tecniche concernenti altri aspetti dell'acceleratore, quali ad esempio il sistema di vuoto, i controlli, le sicurezze ecc.

Nel corso dell'ultimo anno è stato testato con successo il primo prototipo del modulo di accelerazione al plasma di 40 cm di lunghezza, cioè la lunghezza nominale della facility in via di costruzione. Risulta ancora da stabilire con

precisione, ed eventualmente migliorare, la durata di operazione di questi moduli, un parametro particolarmente rilevante considerato il costo degli stessi.

La facility TEX, inaugurata nel 2021, opera ora su base regolare con l'obiettivo di testare tutte le strutture acceleranti in banda-X, altro elemento essenziale per le operazioni della macchina. I disegni di molte componenti RF dell'acceleratore sono stati completati e sono attualmente sotto test.

A SPARC_LAB stanno proseguendo gli esperimenti che hanno portato nel 2022 alla prima osservazione al mondo di emissione di luce coerente da un fascio accelerato con la tecnica PWFA. Quest'ultimo risultato, pubblicato sulla rivista Nature, è particolarmente importante perché rappresenta la prova sperimentale che il concetto su cui si basa l'idea di "user facility" è valido e funzionante.

Le attività previste ad EUPRAXIA permetteranno il coinvolgimento dell'industria italiana nell'ambito della tecnologia degli acceleratori, dei laser di potenza e della strumentazione diagnostica ed elettronica e di offrire ad una vasta comunità scientifica nazionale ed internazionale un ampio spettro di ricerche interdisciplinari di punta: dalla formazione d'immagini in funzione del tempo nella scienza dei materiali, in biologia, medicina, chimica per l'ambiente, alla conservazione dei beni culturali e sicurezza nazionale, all'estensione di molteplici applicazioni di ottica non lineare a nuove regioni spettrali.

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, 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 Governamental Representatives* (BGR), i cui membri sono nominati dai governi delle nazioni interessate (Italia, Paesi Bassi, Belgio, Polonia, Regno Unito, Spagna e Francia, con Germania e Austria presenti come osservatori), che si occupa delle attività di indirizzo politico-amministrativo e in un *Board of Scientific Representatives* (BSR), nominato dagli enti di ricerca coinvolti, che si occupa degli aspetti scientifici e tecnologici 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 *baseline* del progetto prevede la costruzione di un interferometro sotterraneo a tre bracci configurato come un triangolo equilatero di lato 10 Km. In alternativa, si sta considerando la configurazione à la LIGO, con due

interferometri a due bracci posti a grande distanza, che sembra avere una portata scientifica persino superiore e minori rischi tecnologici.

Il sito di ET verrà selezionato entro i prossimi 2-3 anni. Attualmente ci sono 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 TTR-ELAt.

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. 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. Facciamo parte del Comitato Tecnico Scientifico di ET istituito dal MUR e presieduto dal Premio Nobel Giorgio Parisi e partecipiamo 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, abbiamo 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 a supporto della candidatura.

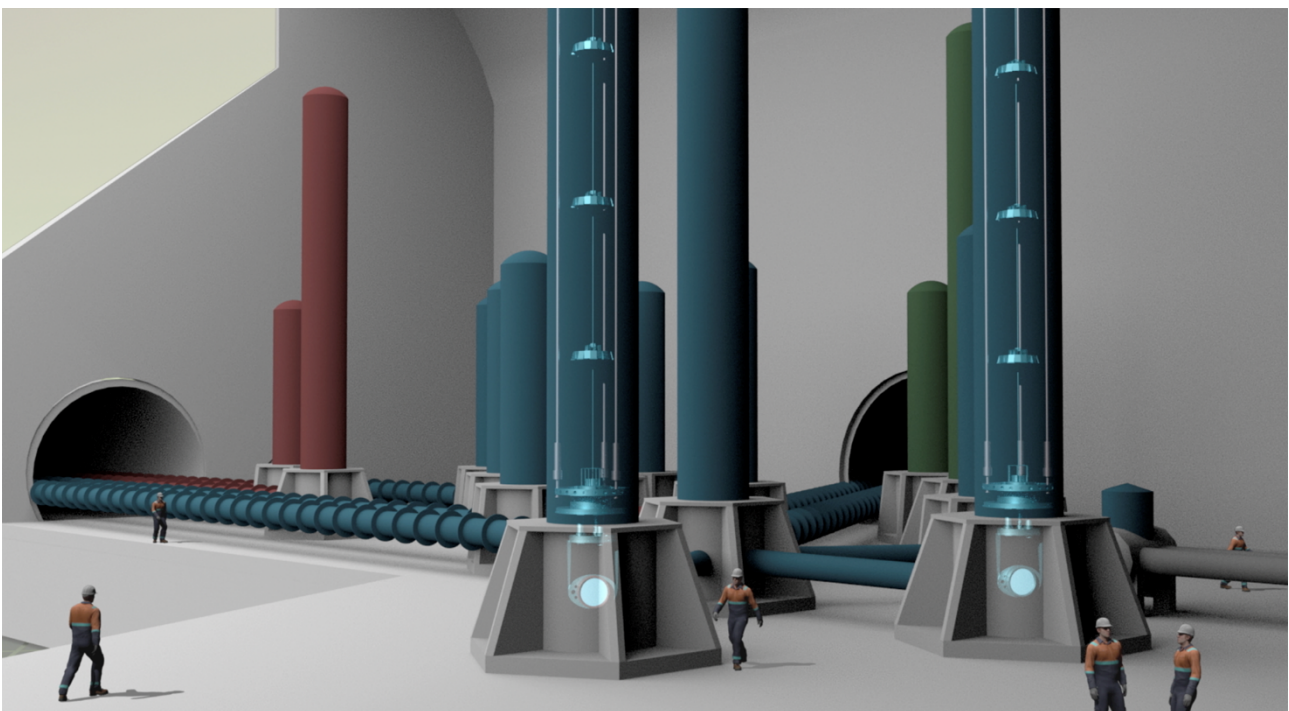


Figura 6.1 Rendering di ET nel sito di Sos Enattos

7. I progetti con altri Enti e Università, progetti europei, ERIC e fondi esterni

7.1 Università ed altri enti

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

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

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

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

7.2 Progetti europei ed ERIC

L'Istituto è impegnato nella realizzazione di Infrastrutture di Ricerca (IR) 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 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).

Il contenzioso relativo al progetto europeo ELI-NP, che lo ha fermato dal 2016, si è concluso con un accordo transattivo tra IFIN-HH (*Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara 'Horia Hulubei', Romania*) e il consorzio Eurogammas, che vede il rimborso delle fideiussioni all'INFN e ai partners. Grazie a questo evento, INFN e IFIN-HH si sono accordate per installare a Magurele la prima parte dell'acceleratore ELI-NP (Stage 1) che era stato già consegnato prima dell'inizio del contenzioso.

ESS, l'infrastruttura di ricerca multidisciplinare con la più potente sorgente di neutroni del mondo con sede a Lund (Svezia), ha un forte ritardo dovuto sia al rallentamento delle operazioni di costruzione dovute al COVID-19, sia all'aumento notevole dei costi per l'infrastruttura. Un nuovo management ha in corso un profondo processo di revisione della schedula che dovrebbe consentire di avere i primi fasci sul bersaglio per il 2026. Comunque, le attività di macchina in carico all'INFN sono quasi completamente concluse, senza sforamento di budget o di tempistica. I primi fasci sono stati iniettati nella parte iniziale del linac, di responsabilità INFN.

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

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

7.3 Fondi esterni

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

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

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

Nel 2006 l'INFN ha lanciato la linea di ricerca INFN-E, il cui fine è lo sviluppo di competenze e strumentazioni nel settore delle applicazioni della fisica nucleare al campo dell'energia, con particolare attenzione agli aspetti relativi alla sicurezza (intesa sia come *safety* sia come *security*). Le attività di INFN-E sono attualmente orientate sulle seguenti linee di intervento:

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

Per quanto riguarda le linee 1, 2, 3, va ricordata la recente costituzione da parte del MASE della Piattaforma per il Nucleare Sostenibile, a cui anche l'INFN è stato invitato a partecipare. Per quanto riguarda la linea 2, dal gennaio 2021 l'INFN è socio della Scarl DTT per la realizzazione della macchina sperimentale Divertor Tokamak Test a Frascati. Come soci, portiamo avanti varie attività di ricerca e sviluppo su componenti per il fascio di atomi neutri, i sistemi a radiofrequenza e le diagnostiche di plasma. I costi delle attività svolte sono rimborsati dalla Scarl in base a un'apposita rendicontazione annuale. Per quanto riguarda la linea 3, si è recentemente concluso con successo il progetto europeo MICADO e attualmente l'Istituto partecipa ad altri due progetti, PREDIS e CLEANDEM. Sempre nell'ambito di questa linea, è stata costituito il primo nucleo di unità partecipanti al progetto EyeRAD interno all'Ente, che ha come scopo la creazione di una rete di monitoraggio ambientale delle radiazioni.

8. I progetti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

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.

Complessivamente l'INFN gestisce fondi pari a 370 M€ negli anni 2023-2025, durata prevista ad oggi dei programmi del PNRR, in parte trasferiti ai partner. La quota INFN è pari a 308M€. Il riassunto completo della partecipazione dell'INFN è riportato nella Tabella 8.3. L'impegno INFN previsto dai progetti per le procedure di acquisto è pari a circa 245 M€, ad oggi sono state indette gare per un importo pari quasi al 90% dell'impegno previsto, come mostrato in Tabella 8.1.

	Budget per il procurement	Frazione di budget per cui è stata indetta la procedura d'acquisto gennaio 2024
Centro Nazionale ICSC	40	94%
Infrastrutture di ricerca	184	92%
Altri progetti	20	23%
Totale	244	87%

Tabella 8.1 Procurement per i progetti del PNRR

Alla fine del 2022 sono stati banditi concorsi per tecnologi e tecnici che permetteranno lo svolgimento dei progetti, per un totale di 235 posizioni a tempo determinato e per preparare le nuove leve per le ricerche dell'Istituto negli anni a venire. All'inizio del 2024 sono state coperte 223 posizioni. Il costo complessivo per il personale è di circa 30M€, il dettaglio dei profili è mostrato nella Tabella 8.2. Questo personale potrà essere in parte assorbito con il turn-over dei prossimi anni, più facilmente nel caso dei CTER mentre per i tecnologi, che sono la componente maggioritaria, esiste un problema sia di distribuzione territoriale che delle competenze.

Profilo	Personale previsto	Personale assunto gennaio 2024		
		Uomini	Donne	Totale
Dirigenti tecnologi	4	3	1	4
Primi tecnologi	2	1	1	2
Tecnologi	151	93	52	145
CTER	78	64	8	72
Totale	235	161	62	223

Tabella 8.2 Reclutamento per i progetti del PNRR

Nome progetto	Tipo	Istituzione leader	Valore progetto (M€)	Budget gestito INFN (M€)	Budget INFN (M€)
ICSC	Centro Nazionale	Fondazione ICSC	320.0	56.5	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
TOTALE			1866.7	370.0	308.0

Tabella 8.2 Progetti del PNRR a cui partecipa l'INFN

8.1 I progetti a guida INFN

ICSC – Centro Nazionale *HPC, Big data e Quantum Computing*. Nell'ambito dell'Investimento per la creazione dei centri nazionali su tecnologie abilitanti, l'INFN ha ottenuto il finanziamento per la realizzazione di ICSC. 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 un luogo 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 vicino il conseguimento di una cruciale milestone: l'aggiudicazione della gara, a base d'asta di circa 17M€, per lo studio di prefattibilità. Essa contiene i sondaggi, gli studi geologici, geotecnici, ingegneristici, ambientali e autorizzativi per partecipare alla competizione internazionale per ospitare l'infrastruttura di ET.

Gli obiettivi primari del primo anno in questo filone di attività sono stati l'aggiudicazione delle procedure di acquisto volte alla progettazione, realizzazione e/o potenziamento delle singole infrastrutture di ricerca. Lo stato attuale di questa complessa fase è da ritenersi positiva, risulta infatti impegnato il 97% dei fondi assegnati per le procedure di gara o acquisto di strumenti, impianti o servizi.

Nel 2024 gli obiettivi principali saranno l'avvio dello studio di prefattibilità con la produzione dei primi risultati intermedi, e l'inizio dell'implementazione delle realizzazioni, potenziamenti o acquisizioni nell'ambito delle infrastrutture di ricerca distribuite. Per il primo processo sarà cruciale configurare il team italiano di candidatura, che opererà come interfaccia fra il consorzio di aziende, aggiudicatario della gara per lo studio di prefattibilità, e la comunità scientifica italiana e internazionale di ET

[EuAPS](#) – *EuPRAXIA Advanced Photon Sources*. Il progetto EuAPS, di cui l'INFN è Ente capofila, e che vede la partecipazione del CNR e dell'Università di Roma Tor Vergata, si sviluppa nel contesto del progetto EuPRAXIA, finanziato con 3 M€ nell'ambito di Horizon 2020, che consiste nella realizzazione di una nuova generazione di acceleratori di particelle al plasma. EuAPS raggruppa diversi aspetti della scienza di frontiera delle sorgenti di fotoni che sono componenti chiave per il buon funzionamento del progetto EuPRAXIA. Saranno inoltre realizzate diverse strutture in Italia, rafforzando e garantendo la competitività internazionale degli istituti coinvolti e dei loro utenti. Il progetto EuAPS include una sorgente di radiazione di betatrone a raggi X pilotata da laser da mettere in funzione presso il laboratorio SPARC_LAB dei LNF dell'INFN. Questo schema, in parte già collaudato e incluso negli obiettivi scientifici di EuPRAXIA, presenta vantaggi intrinseci nella risoluzione temporale degli esperimenti grazie alle ridotte dimensioni del fascio di elettroni, sorgente della radiazione, nel plasma. Strumenti avanzati di diagnostica dei fotoni saranno sviluppati presso il CNR-ISM per caratterizzare completamente la radiazione betatrone a raggi X, mentre l'Università di Tor Vergata fornirà la stazione finale compatta e integrata per l'utente. La sezione di Milano dell'INFN offrirà il supporto teorico e numerico necessario al design ottimizzato dell'infrastruttura. EuAPS include inoltre lo sviluppo dei laser di altissima tecnologia: lo sviluppo di laser di potenza (fino a 1 PW) e ad alta ripetizione (fino a 100 Hz) è portato avanti dai laboratori CNR di Pisa e dai LNS rispettivamente, realizzando tra l'altro infrastrutture di ricerca per sviluppi scientifici e industriali basati su laser ultraveloci. Il lavoro in EuAPS inoltre svolge un ruolo cruciale nel complementare il progetto di costruzione di EuPRAXIA ai LNF, sviluppando e rafforzando ulteriormente l'alta tecnologia di EuPRAXIA, il suo programma scientifico e la sua base di utenti in Italia e oltre.

Il progetto ha iniziato la sua attività a inizio 2023, occupandosi delle acquisizioni delle apparecchiature, in particolare per i laser di potenza, nei vari laboratori (LNF, LNS e Pisa-CNR), che verranno completate entro il 2023. Anche il personale necessario a tempo determinato è stato acquisito.

[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 il 95% delle procedure amministrative, contando di aggiudicare la totalità 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, con particolare riferimento al Sud (sito di Salerno), 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. Oltre all'INFN, il progetto prevede la partecipazione, delle università di Milano, Genova, Napoli, Salerno e del Salento, oltre al CNR-SPIN. Presso il sito di Salerno verrà costruita un'infrastruttura di eccellenza, dedicata allo studio delle caratteristiche e al test di futuri cavi superconduttori ad alta temperatura, adatti al trasporto di energia elettrica ad alta potenza su grandi distanze, uno dei potenziali asset della transizione energetica.

Il progetto ha iniziato la sua attività a inizio 2023, occupandosi delle acquisizioni del contratto per il filo superconduttore, per l'infrastruttura di trasmissioni di potenza, delle apparecchiature nei vari laboratori e dell'avvio delle gare per le infrastrutture civili al LASA (Milano) e a Salerno. L'assegnazione delle gare avverrà a cavallo tra la fine del 2023 e l'inizio del 2024, in buon accordo con quanto richiesto dal bando ministeriale. Anche il personale necessario a tempo determinato è stato acquisito

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;
- PC-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.

Il progetto sta aggiudicando nel 2023, come richiesto dal bando, le gare per il potenziamento delle infrastrutture. Le gare GARR prevedono 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 in architettura con quello di

GARR-T a livello nazionale che include gli interventi finanziati a GARR da ICSC per la rete nel centro-sud e i fondi istituzionali di GARR per il centro-nord.

La gara per PRACE-Italy prevede il potenziamento a Tier 1 del nodo italiano ospitato al CINECA, sviluppando un'architettura ibrida e collegandolo agli altri centri Exascale di EuroHPC come Leonardo, parte di ICSC.

Le gare INFN potenziano HPC-BD-AI nello storage a disposizione dell'infrastruttura che acquisisce sistemi HPC ibridi fra CPU e GPU e di potenza intermedia fra la macchina singola del ricercatore e PRACE-Italy. Tali sistemi definiscono una *bubble* HPC, che possa essere distribuita, più vicina *all'edge* ed all'utente. L'attività prevede di creare una maggiore 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.

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

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 quattro 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.

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](#) (*Tuscan 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](#)).

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.

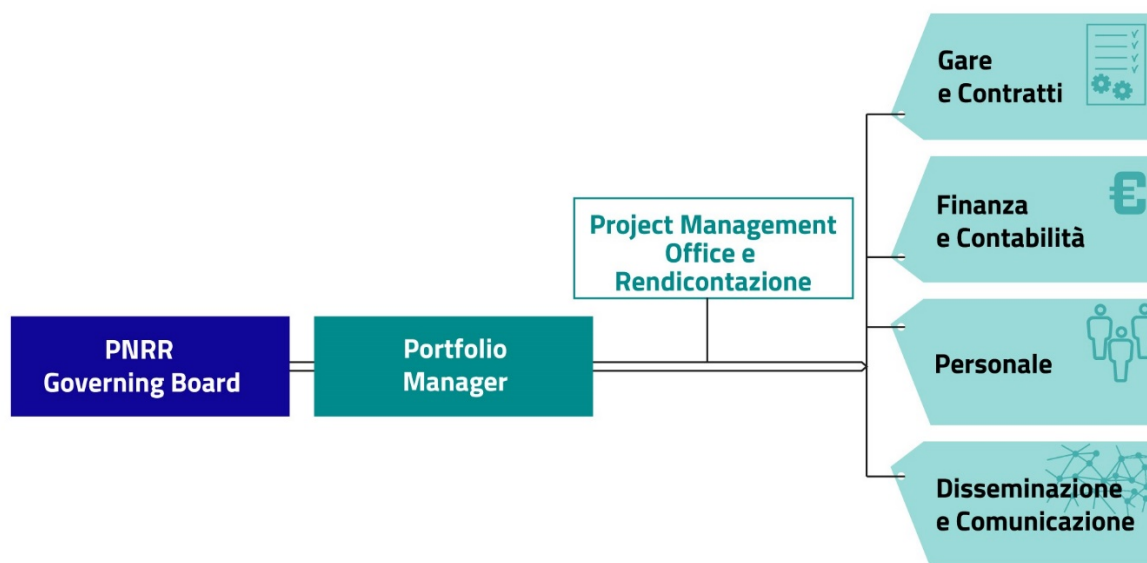


Figura 8.1 Struttura temporanea di governance dei progetti PNRR

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.

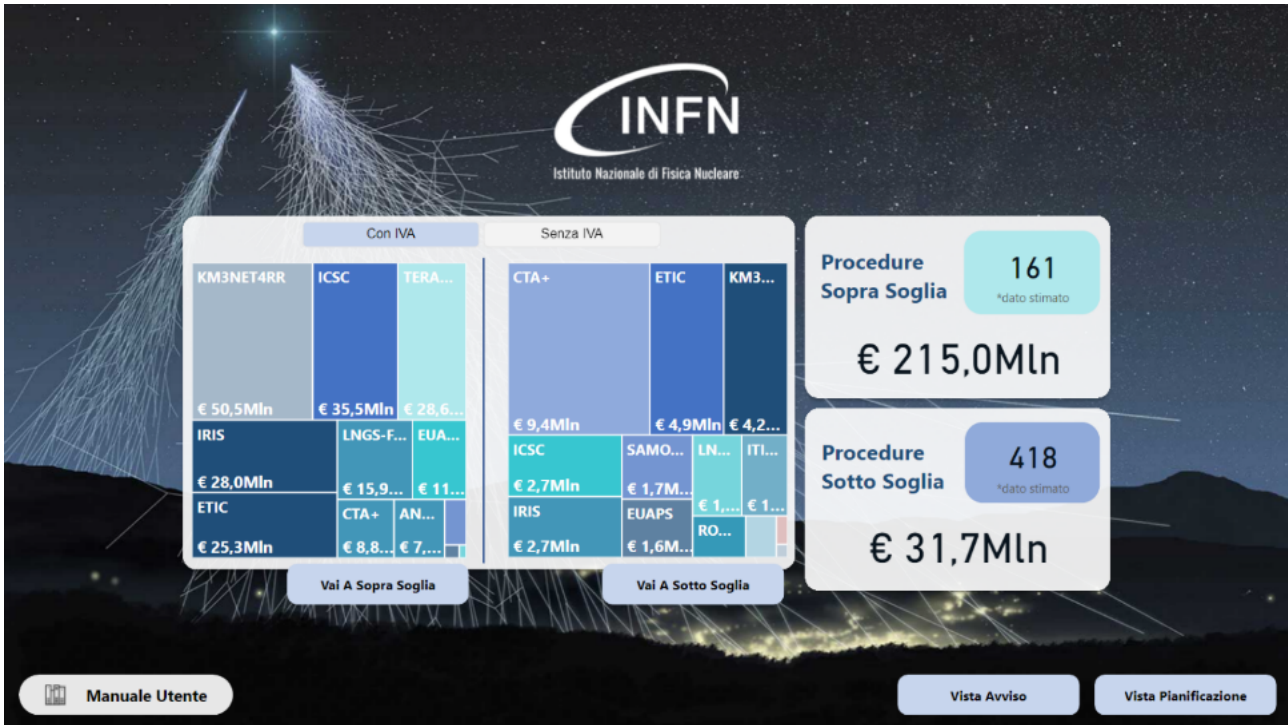


Figura 8.2 Portale di ingresso al monitoraggio delle gare PNRR

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 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

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. Consapevole di questo ruolo e del fatto che è dovere di un ente pubblico condividere con la società le proprie attività e i risultati che ne derivano, l'Istituto è sempre più impegnato nella comunicazione e 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 rilevante nella comunicazione della fisica a livello internazionale, nazionale e locale, promuovendo, progettando e realizzando iniziative per la diffusione e la promozione della cultura scientifica al grande pubblico e verso target specifici. Oltre alle iniziative tradizionali, quali seminari, laboratori didattici, open day e conferenze pubbliche, l'INFN progetta e propone nuove forme di comunicazione, valorizzando il rapporto esistente tra la fisica e gli altri ambiti del sapere. L'Istituto contribuisce in misura importante alla formazione degli studenti attraverso borse di studio, stage, formazione dei docenti e progetti di alternanza scuola-lavoro. L'impegno dell'INFN in queste attività ha come obiettivo primario quello di valorizzare il ruolo della ricerca in fisica fondamentale nella produzione culturale e nell'incentivare lo sviluppo della società e il ruolo attivo e consapevole dei cittadini di oggi e di domani.

La strategia di comunicazione dell'INFN è definita congiuntamente dalla Giunta Esecutiva dell'Ente e dall'Ufficio Comunicazione (UC), che opera presso la presidenza dell'INFN. La strategia di comunicazione e public engagement è quindi condivisa e implementata in stretta collaborazione con il Comitato di Coordinamento della Terza Missione (CC3M), che coordina, supporta e valorizza le attività nazionali promosse dalle Sezioni e dai Laboratori Nazionali. Le attività sono diffuse su tutto il territorio nazionale e possono essere suddivise in due categorie: formazione degli insegnanti e progetti per gli studenti, focalizzati su argomenti monodisciplinari o multidisciplinari e implementati sul territorio nazionale, in collaborazione con università e altri centri di ricerca.

L'Ufficio Comunicazione e il Comitato di Coordinamento Terza Missione

L'Ufficio Comunicazione dell'INFN è l'attore principale nella comunicazione dell'immagine pubblica dell'INFN: è responsabile della pianificazione, del coordinamento e dell'attuazione della strategia di comunicazione a livello nazionale e internazionale. L'UC rappresenta l'INFN nei network di comunicazione internazionali e, grazie alle competenze professionali editoriali e grafiche del proprio staff, gestisce la comunicazione istituzionale, le attività di ufficio stampa, le relazioni con i media, la produzione di materiale grafico e video, i prodotti editoriali, la rivista istituzionale dell'Ente, la newsletter mensile, la formazione dei dipendenti in tema di comunicazione e public engagement, le attività centrali nazionali di public engagement, quali le grandi mostre e i grandi eventi pubblici, e fornisce supporto alle attività di comunicazione del CC3M e alla comunicazione delle iniziative locali di disseminazione della cultura scientifica.

L'obiettivo della comunicazione dell'INFN è quello di incrementare nell'opinione pubblica la consapevolezza sul valore della ricerca di base in fisica delle particelle, nucleare e astroparticellare e le applicazioni tecnologiche che da questa ricerca emergono con potenzialità di utilità sociale. L'UC funge da fonte di informazione affidabile e tempestiva per i media, tanto che l'INFN è diventato un punto di riferimento per i giornalisti scientifici italiani.

Il Comitato Terza Missione dell'INFN (CC3M) è composto da sette persone nominate dalla Giunta Esecutiva dell'INFN e da una rete di 25 referenti locali (uno per ogni struttura dell'INFN), per mantenere un forte legame tra il Comitato Nazionale e le attività locali. Il comitato CC3M si riunisce cinque volte l'anno per condividere le attività locali e per pianificare e monitorare i progetti nazionali. Il Comitato supporta progetti nazionali/multi-strutturali, richiedendo che le proposte abbiano obiettivi chiari, siano collegate alle strategie e ai temi di ricerca dell'INFN e riguardino gli obiettivi strategici del Comitato, che possono così essere riassunti:

- Avvicinare il mondo della scuola alla ricerca di base.
- Aggiornare i docenti di tutti i gradi scolastici.
- Sostenere l'equilibrio di genere nelle discipline STEAM.
- Rivolgersi ai gruppi minoritari e alle scuole rurali.
- Introdurre la valutazione delle attività sostenute.
- Incrementare le attività di Lifelong Learning.

Il CC3M promuove un dialogo bidirezionale tra il pubblico e la comunità scientifica. Uno degli obiettivi generali del Comitato è quello di sostenere e incoraggiare l'impegno diretto del personale dell'INFN nelle attività di trasferimento delle conoscenze, attraverso un crescente coinvolgimento dei ricercatori dell'Ente nelle azioni di sensibilizzazione promosse. Il Comitato, per aumentare la consapevolezza della ricerca e delle attività dell'INFN, incoraggia anche la partecipazione a bandi competitivi in tema di divulgazione scientifica con risultati positivi (nel 2021 l'Ente ha visto finanziati due progetti, uno su bando ERASMUS+ e uno del MUR L. 6/2000). L'interesse per le iniziative portate avanti dalla CC3M è testimoniato anche dal crescente numero di contributi a conferenze internazionali in ambito PE, con venti contributi (per il 2023) accettati negli atti finali.

Il CC3M, in maniera analoga alle CSN, esamina ogni anno le nuove proposte progettuali e le relative richieste di finanziamento, che vengono valutate con un meccanismo di valutazione tra pari.

Principali attività di comunicazione e public engagement

La strategia di comunicazione implementata a livello centrale dall'ufficio comunicazione ha come obiettivo quello di promuovere l'immagine pubblica dell'INFN incardinandola su alcuni valori fondanti: una comunità di ricerca eccellente e trasparente, autorevole a livello internazionale, capace di guadagnare ruoli manageriali di alto livello e di gestire efficacemente infrastrutture complesse e grandi progetti, in grado di rappresentare una valida risorsa per il Paese dal punto di vista scientifico, tecnologico, economico e culturale. La strategia di comunicazione si focalizza inoltre sulla valorizzazione della produzione di conoscenza scientifica, dell'impatto tecnologico ed economico, del ruolo della scienza e della ricerca nella società, della scienza come ambito di dialogo e scambio interculturale.

Attività di ufficio stampa. Nel 2023 l'INFN ha pubblicato 49 comunicati stampa e 66 notizie: è stato citato circa 6500 volte dalla stampa e sul web, e 272 volte in radio e tv. Nel 2023 la comunicazione istituzionale è stata caratterizzata dall'impegno per la presentazione e promozione della candidatura italiana a ospitare la grande infrastruttura di ricerca del futuro interferometro per onde gravitazionali in Europa, il progetto Einstein Telescope. L'INFN, infatti, coordina la comunicazione del progetto a livello nazionale, questo implica il coordinamento di tutte le attività di comunicazione con le altre istituzioni scientifiche e accademiche coinvolte, oltre alla partecipazione a progetti scientifici internazionali, e al comitato istituzionale INFN dedicato a Einstein Telescope. In particolare, le principali attività di comunicazione, programmate e condotte in coordinamento con il MUR, hanno riguardato la creazione del logo e dell'immagine coordinata del progetto, la progettazione, realizzazione e pubblicazione del sito ufficiale della candidatura www.einstein-telescope.it, il lancio delle pagine Instagram, LinkedIn e X, la realizzazione di eventi dedicati alla diffusione della conoscenza del progetto ed eventi istituzionali, rivolti sia a target specifici sia al grande

pubblico, l'organizzazione dell'evento ufficiale di presentazione della candidatura in coordinamento anche con la Presidenza del Consiglio dei Ministri, che si è tenuto il 6 giugno a Roma, attività di ufficio stampa.

Comunicazione istituzionale, canali web e social. L'UC gestisce e aggiorna il [sito web](#) ufficiale e istituzionale e il sito web di [Asimmetrie](#). L'UC sovrintende inoltre alla presenza dell'INFN sui social media, adottando una strategia di comunicazione differenziata in base ai diversi canali su cui pubblica contenuti giornalmente, che spaziano da approfondimenti a video e incontri in diretta per il pubblico generico e per il mondo della scuola. Nell'ultimo anno, sono stati prodotti numerosi video brevi per Instagram (*reel*) con l'obiettivo di raggiungere un'audience sempre più giovane. Infine, l'UC monitora costantemente la risposta degli utenti ai contenuti che propone loro per valutare l'impatto della propria attività e proporre, di conseguenza, contenuti sempre più affini alle esigenze degli utenti che frequentano i diversi canali social.

La rivista Asimmetrie. Asimmetrie è una rivista semestrale monografica focalizzata, di volta in volta, su un tema di frontiera oggetto di ricerche da parte dell'INFN. Il target di lettori è costituito principalmente da insegnanti e studenti delle scuole superiori. Nel 2023 i temi trattati sono stati Spazio (ad aprile) e Applicazioni (a ottobre). Nel 2023 sono state distribuite complessivamente 34.000 copie a 25.400 abbonati privati e le restanti alle Unità INFN, che le distribuiscono ai visitatori (principalmente docenti e studenti delle scuole superiori).

Il sito dell'INFN per il public engagement, [Collisioni.infn.it](#). Collisioni.infn.it è il sito dedicato alle attività culturali e didattiche, che presenta tutte le attività pensate e organizzate per coinvolgere il pubblico con i contenuti della ricerca INFN e le attività di ricerca, compresi i progetti didattici per le scuole.

La Mediateca INFN è un sito web dedicato ad un pubblico generico, ma in particolare rivolto agli studenti delle scuole superiori italiane e ai ricercatori e studenti universitari. Oggi comprende quasi 200 video per un totale di oltre 70 ore di interviste, documentari, telegiornali, conferenze e seminari, dando vita a un archivio digitale aperto a tutti per fare ricerca, raccogliere informazioni, esplorare e ripercorrere percorsi, aneddoti ed eventi della storia della fisica. L'archivio è arricchito da video dell'Accademia Nazionale dei Lincei, partner del progetto, e di Rai Teche.

Podcast. Nel 2023 sono stati rilasciati i podcast "Radici. Gli studenti raccontano" (10 episodi) - dieci storie di scienziati e scienziate protagonisti della fisica italiana, raccontati in podcast da ragazzi e ragazze delle scuole superiori di tutta Italia - e "[Traiettorie. I mestieri della fisica](#)" (6 episodi) - i percorsi universitari e lavorativi di persone con una formazione in fisica o in altre materie scientifiche, per l'orientamento degli studenti degli ultimi anni delle scuole superiori.

Newsletter mensile. L'INFN pubblica mensilmente una newsletter in italiano e in inglese. I principali lettori sono la comunità INFN, i rappresentanti dell'UE, i politici italiani a livello nazionale ed europeo, gli stakeholder nazionali e internazionali, i decisori politici e gli scienziati dei laboratori di fisica stranieri in Europa e nel mondo, con i quali l'INFN collabora. L'obiettivo principale della newsletter è quello di presentare la ricerca dell'INFN e le sue applicazioni tecnologiche, delineando i risultati internazionali, i progetti e le persone coinvolte.

Mostre e installazioni multimediali. L'Ente è particolarmente impegnato nella realizzazione di mostre ed installazioni multimediali. Il 2023 è stato un anno ricco di iniziative. Tra queste, citiamo la mostra *Quanto. La rivoluzione in un salto*, inaugurata a dicembre 2023, presso il MUSE di Trento. La mostra, che sarà visitabile dal 7 dicembre 2023-15 giugno 2024, è dedicata alla meccanica quantistica: un viaggio nel tempo che partendo dall'atomo conduce all'universo per raccontare la nascita, l'affermazione e i fondamenti di una teoria tanto dirompente quanto imprevedibile.



Fig. 10.1 Immagini della mostra “Quanto. La rivoluzione in un salto”, al MUSE di Trento.

Tra le mostre ricordiamo ancora “Espansione – installazione multimediale itinerante”, presente a Genova durante il Festival della Scienza, la mostra “Spazio al futuro”, inaugurata a Città Della Scienza di Napoli nell'ambito del Festival della Scienza Futuro Remoto, cui l'INFN ha contribuito con le installazioni “Materia Oscura”, “Espansione”, “Buco nero” e, infine, la partecipazione al festival della visione e della cultura digitale “Videocittà 2023” con il videomapping “Forme e colori di una scoperta”, dedicato alla scoperta del bosone di Higgs, visto da oltre 20.000 persone.

Eventi	Pubblico	Tipologia	Data	Partecipanti
Nove volte sette. Intelligenza artificiale e supercomputer tra voci, musica e arte digitale	Pubblico dei Festival (Roma, Genova, Napoli)	Adulti e studenti	23 novembre 30 ottobre 19 aprile	1300
ET e le onde gravitazionali a BergamoScienza	Pubblico del Festival BergamoScienza	Adulti e studenti	1 ottobre	450
Dalla miniera alle stelle: il progetto Einstein Telescope	Pubblico del Festival della Scienza di Roma	Adulti e studenti	23 aprile	350
Esploratori dell'ignoto: da Ulisse allo scienziato moderno	Pubblico del Festival di Scienza e Filosofia	Adulti e studenti	21 aprile	250
Idee e immagini di arte e di scienza: Massimiliano Fuksas e Giorgio Parisi	Pubblico del Festival della scienza di Roma	Adulti e studenti	18 aprile	700

Tabella 10.1: Tabella riassuntiva delle conferenze spettacolo organizzate nel 2023

Eventi pubblici. La sperimentazione di diversi linguaggi per comunicare la scienza al grande pubblico ha portato l'Ufficio Comunicazione dell'INFN a realizzare, nell'ultimo decennio, format innovativi per eventi pubblici, in cui le arti performative si intrecciano con la narrazione della scienza. La convinzione su cui si basa la progettazione di questi eventi è che l'uso della narrazione e dell'arte possano far emergere connessioni tra diversi aspetti della realtà, altrimenti invisibili o difficilmente percettibili, facilitando così l'acquisizione di nuove conoscenze. Oltre al forte coinvolgimento nei festival della scienza e interdisciplinari, l'INFN ha realizzato diversi eventi per veicolare messaggi e idee strategiche per la comunicazione dell'Ente. In tabella sono riportate le principali conferenze-spettacolo organizzate nel 2023 con alcuni indicatori di impatto

Festival, fiere e Manifestazioni 2023. L'INFN è rappresentato dall'UC nel comitato editoriale del Festival della Scienza di Roma e del Festival della Scienza di Genova e contribuisce al Festival della Scienza di Napoli "Futuro Remoto". In particolare, in stretto dialogo con le altre istituzioni di ricerca coinvolte e con il comitato editoriale del festival, l'INFN coordina la definizione di quella parte del programma del Festival della Scienza di Roma, dedicata alla ricerca scientifica e al dialogo interdisciplinare. Per coinvolgere nei grandi temi della fisica e della ricerca dell'Istituto il grande pubblico, gli studenti e, in particolare, anche i bambini più piccoli, l'INFN propone numerosi eventi e attività educational per classi di ogni ordine e grado. Oltre ai festival di Roma, Genova e Napoli, i principali festival e le manifestazioni culturali cui l'INFN partecipa sono riportati in Tabella 10.2.

Festival/Fiere/Manifestazioni	Pubblico	Data	Partecipanti
Festival delle scienze di Roma	Adulti, studenti, bambini e bambine	18 – 23 aprile	2.000
Festival della scienza di Genova	Adulti, studenti, bambini e bambine	26 ottobre – 5 novembre	6.000
Festival Futuro Remoto di Napoli	Studenti	21 – 26 novembre	850
Festival Videocittà	Adulti, studenti universitari	13 – 16 luglio	20.000
Science on Stage	Docenti e studenti	22 – 24 settembre	200
Fiera Didacta	Docenti	8 – 10 marzo	1.000
Rimini WMF	Adulti	16 giugno	600
Notte Europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori	Famiglie, docenti e studenti	25 settembre – 1 ottobre	> 10.000
Maker Faire	Docenti e studenti	20 – 22 ottobre	1.000
Pint of Science	Adulti, studenti universitari	22 - 24 maggio	1.000
BergamoScienza	Adulti e studenti	30 settembre – 1 ottobre	600

Tabella 10.2: Tabella riassuntiva delle partecipazioni a festival, fiere e manifestazioni di carattere nazionale

Attività Educational nell'ambito di Festival e online. Nel 2023 l'UC ha partecipato con numerose attività per bambini e studenti durante i festival delle scienze di Genova, Roma, Napoli e Bergamo. L'obiettivo principale è avvicinare i giovani e i bambini alla scienza e al metodo sperimentale, aprendo una finestra sul mondo della ricerca scientifica. Inoltre, con lo scopo di far scoprire agli studenti la storia della fisica italiana e promuovere l'archivio de La Mediateca INFN, sono stati proposti alle scuole superiori 4 incontri online e un concorso di podcast sugli scienziati e le scienziate protagonisti del materiale audiovisive della Mediateca, coinvolgendo circa 500 studenti.

Network nazionali e internazionali per il Public Engagement e la Comunicazione. L'INFN è coinvolto in reti di diffusione nazionali e internazionali. In particolare, coordina a livello nazionale le Masterclass del CERN gestite a livello locale da Sezioni o Laboratori dell'INFN, e promuove in Italia il concorso *Beamline for Schools* del CERN. L'INFN, inoltre, è parte di numerose reti nazionali e internazionali in materia di Comunicazione e Public Engagement (EPPCN - *European Particle Physics Communication Network*, IPPOG - *International Particle Physics Outreach Group*, InterActions, Ecsite - *The European Network of Science Centres & Museums*, Science Europe, APENet - *Università e Centri di Ricerca per il Public Engagement*).

Attività di formazione per i dipendenti INFN. Dato il crescente coinvolgimento della comunità di ricerca dell'INFN nella divulgazione scientifica si è reso necessario formare il personale nell'uso autonomo di strumenti e metodi per l'organizzazione di eventi locali, nella gestione dei rapporti con i media e nel potenziamento dell'efficacia nella comunicazione con il pubblico. L'UC risponde a questa esigenza organizzando sessioni di formazione interna con

focus sul public engagement, media training, organizzazione di eventi e social media. Dalla loro prima edizione nel 2015, le sessioni hanno visto un notevole aumento delle richieste di partecipazione, raggiungendo un totale di 60-80 partecipanti all'anno. I corsi fanno parte del Piano Nazionale di Formazione dell'INFN e hanno ottenuto ottimi risultati nelle indagini post-valutazione condotte negli anni. Nel 2023 l'UC ha organizzato corsi di *public speaking*, progettazione di attività di public engagement, storytelling e progettazione di presentazioni e narrazioni visive.

	Progetto	Pubblico	Tipologia	Durata	Partecipanti
1	ASIMOV	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	13.000
2	OCRA	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	1.500
3	RadioLab	Scuola Sec. II°	studenti	biennale	989
4	Lab2Go	Scuola Sec. II°	docenti	annuale	900
5	Art & Science	Scuola Sec. II°	studenti	biennale	7.000
6	Dark	Scuola Sec. II°	studenti	annuale	1.500
7	AggiornaMenti	Scuola Sec. I°	docenti	annuale	130
8	PID	Scuola Sec. II°	docenti	periodo limitato	54
9	INFN Kids	Scuola Primaria	studenti	annuale	2.000
10	INSPYRE	Scuola Sec. II°	studenti	periodo limitato	80
11	MASTERCLASS	Scuola Sec. II°	studenti	periodo limitato	2.800
12	ScienzaPerTutti	Pubblico		continua	1.100
13	Playmo	Pubblico		periodo limitato	500
14	Pint of Science	Pubblico		periodo limitato	1.000
15	Salone del Libro di Torino	Pubblico		periodo limitato	10.000
16	Festival della Scienza di Genova	Pubblico		periodo limitato	6.000

Tabella 10.3: Tabella dettagliata dei progetti nazionali finanziati dal Comitato CC3M

10.2 Progetti Nazionali di diffusione della cultura scientifica

I progetti nazionali dell'INFN, finanziati dalla CC3M, sono 16 e sono categorizzati in base al pubblico al quale si rivolgono (vedi tabella 10.3). Nel 2023 tutti i progetti si sono svolti in presenza ed hanno coinvolto circa 30.000 studenti e 200 docenti ai quali va aggiunto il pubblico che ha partecipato ai vari Festival e al Salone del Libro che ammonta a circa 20.000 persone. Nella progettazione di queste iniziative nazionali l'INFN rivolge particolare attenzione alla multidisciplinarietà (un esempio fra tutti l'iniziativa *Art & Science across Italy* che integra arte e scienza), al coinvolgimento del più ampio e variegato pubblico possibile, con una gamma di iniziative che va da quelle dedicate ai più piccoli, come *INFN-Kids*, a quelle rivolte agli studenti delle scuole superiori di secondo grado, come le varie Masterclass e le iniziative che coinvolgono, in modo attivo, studenti e docenti in attività laboratoriali (*IPPOG Masterclass di Fisica, OCRA, Dark, RadioLab,...*) e le iniziative per il grande pubblico anche con formati innovativi e informali (*Scienza per tutti (SxT), Pint of Science, Playmo, etc.*). In tabella 10.3 sono riassunte le principali iniziative condotte nel 2023.

Corsi di formazione per insegnanti

Una menzione a sé meritano le iniziative di formazione continua rivolte agli insegnanti delle scuole medie superiori. Tali iniziative, organizzate presso i LNF sin dal 2001, hanno dal 2018 assunto valenza nazionale con coinvolgimento dell'intero territorio nazionale. In particolare, il CC3M promuove e coordina le due iniziative *AggiornaMenti* e *il Programma INFN per Docenti (PID)*, entrambe riconosciute dal Ministero dell'Istruzione come validi corsi di

aggiornamento. *AggiornaMenti*, si rivolge agli insegnanti di scienze delle scuole medie ed è focalizzato su argomenti di fisica di base (fluidi, suoni, elettromagnetismo, ecc.), utilizzando attività pratiche, a basso costo e basate su attività di laboratorio. Dopo una prima edizione nel 2018-2019, le attività 2019-2020 sono partite bene, con nove Sezioni e un Laboratorio Nazionale (LNF) con corsi programmati. Il *Programma INFN per Docenti* (PID), sostenuto (con un contributo annuale) da Pearson per le Scienze, è invece rivolto a docenti delle scuole superiori. Si tratta di un corso residenziale in cui i partecipanti trascorrono un'intera settimana nei Laboratori Nazionali, alternando lezioni frontali ad attività di laboratorio

Infine, va menzionata l'iniziativa *Hands On Physics* (HOP). Dal 2021 l'UC dell'INFN è membro del comitato direttivo del progetto HOP (Hands-On Physics) dell'INFN-CERN-Fondazione Agnelli, finalizzato alla formazione di insegnanti delle scuole secondarie di primo grado italiane su temi ed esperimenti di fisica di base. A questo scopo, sedici sedi INFN, tra sezioni e laboratori nazionali, sono stati coinvolti come sedi locali per le sessioni di formazione organizzate nell'autunno 2023, con il coinvolgimento di circa 800 docenti e 80 ricercatori e tecnologi INFN.

10.3 L'INFN per l'innovazione tecnologica e la competitività industriale

Le attività di Knowledge and Technologies Transfer (KTT) sono finalizzate a rendere sistematica la capacità di valorizzare i risultati della ricerca e supportare la crescita della competitività delle imprese sul territorio, massimizzando l'impatto dell'INFN sulla società e l'industria del Paese. L'INFN da sempre presta particolare attenzione al trasferimento di conoscenze e tecnologie: le strutture e i laboratori sono costantemente coinvolti nella produzione di nuove conoscenze, sia rispetto alla tecnologia tangibile sia a conoscenze e risorse immateriali, rendendo il processo KTT una parte intrinseca delle proprie attività di ricerca.

Organizzazione

Per raggiungere questo scopo l'INFN si è dotato di una organizzazione che copre aspetti di carattere amministrativo-giuridico e scientifico-tecnologico, il tutto coordinato da un comitato d'indirizzo preposto al coordinamento delle attività di TT: il CNTT. Il collegamento con gli organi direttivi centrali è assicurato dalla partecipazione di un componente della giunta esecutiva. Il CNTT è supportato operativamente dal Servizio Trasferimento Tecnologico (STT) che cura aspetti amministrativi e di sostegno ai ricercatori. Il servizio comprende risorse umane qualificate che coprono i diversi profili di competenza (giuridico/brevettuale, economico, tecnologico), specifici di un settore fortemente interdisciplinare.

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

L'attività di KTT dell'Ente si è via via trasformata e consolidata su un percorso ricco di azioni che vanno anche oltre quelle più classiche e più strettamente tecnologiche, quali i contratti di ricerca e consulenza con committenza esterna, i brevetti, la creazione di imprese spin-off, la partecipazione a incubatori e consorzi.

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

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
licenses/options active at 31/12	11	17	16	19	22	32	31	26
licenses granted to Italian enterprises	11	12	12	13	16	30	28	23
licenses granted to EU enterprises	2	2	1	3	3	1	2	2
licenses generating revenue in year	9	5	6	6	3	9	7	4
licenses linked to a patent	1	2	5	8	11	19	17	16

Tabella 10.4 – Licensing

Nel corso degli ultimi anni, il lavoro congiunto e coordinato di CNTT, STT e RL ha consentito un notevole incremento delle iniziative di ricerca collaborativa e in conto terzi condotte con le imprese, protezione e valorizzazione della proprietà intellettuale, attività a supporto della creazione di *spin-off*. Alcuni di questi risultati sono mostrati nelle Tabelle 10.4 e 10.5.

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

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
invention disclosures	15	21	15	11	24	14	14	11
confidentiality agreement	18	12	25	31	34	40	55	38
priority applications filed (Italy)	5	5	10	4	15	11	9	9
priority application filed	6	5	11	4	15	11	9	10
patents (applications and issued)	71	86	94	114	146	176	189	215

Tabella 10.5 – Gestione della proprietà intellettuale

Azioni a sostegno della valorizzazione della IP

Per finalizzare i progetti di ricerca tecnologica INFN ed avvicinarli al mercato, il programma denominato *R4I (Research for Innovation)* è stato avviato nel 2018 con l'intento di supportare lo sviluppo delle tecnologie e la loro validazione. In molti casi, la fase di validazione è gestita direttamente in collaborazione con le aziende, che aiutano principalmente a focalizzare gli sviluppi del progetto per soddisfare le richieste del mercato. Nel 2023 il programma è arrivato alla sua sesta edizione con 26 progetti finanziati, una importante frazione dei quali ha portato ad una valorizzazione delle tecnologie sviluppate attraverso licenze, cessioni di brevetto o creazione di *spin-off*.

Concluso nel 2022 il programma INTEFF del MISE che ha finanziato lo sviluppo di 8 progetti Proof of Concept (POC) con un finanziamento di 320 K€, nel 2023 l'INFN ha presentato il programma INTEFF2 sul Bando POC PNRR lanciato dal MIMIT ed è stata ammessa al finanziamento con un importo di 480 K€ che permetterà di sviluppare altre 8 importanti attività di prototipazione e avvicinamento al mercato di altrettante tecnologie brevettate dall'Istituto.

Formazione

In collaborazione con la commissione formazione nazionale è stato avviato un importante programma di formazione sul trasferimento tecnologico articolato sia in attività di didattica a distanza (webinar in streaming e forum di discussione) sia in contenuti didattici multimediali sulle varie tematiche del trasferimento tecnologico ("Pillole di TT") residenti sul portale web e usufruibili da tutto il personale in modo continuo. Il corso in modalità *e-learning*, organizzato su tre livelli (introduttivo, intermedio e avanzato) permetterà, a seconda del livello di fruizione, sia la diffusione delle conoscenze indispensabili per una corretta gestione dei risultati della ricerca da parte del personale di ricerca, sia il consolidamento di competenze specifiche e, al livello avanzato, professionali, indirizzate alla comunità

INFN che gestisce in modo diretto le molteplici e sempre più importanti relazioni con le imprese che oggi collaborano con l'Istituto.

A partire dal 2024, è inoltre stato attivato un percorso di formazione imprenditoriale innovativo grazie all'accordo siglato con la Cassa Depositi e Prestiti che permetterà all'INFN, nell'ambito del proprio programma Research for Innovation (R4I), di cogliere le opportunità offerte dal Programma InvestEU, avvalendosi del sostegno di CDP in forza del suo ruolo di Advisory Partner della Commissione Europea nell'ambito del Polo di Consulenza promosso dall'Unione Europea.

L'attività di consulenza di CDP a favore dell'Istituto riguarderà in particolare quattro macro-aree: analisi delle tecnologie e dei processi elaborati dall'INFN che rientrano nel progetto, oltre alla definizione delle priorità dei cosiddetti Proof of Concept (POC, o prova di fattibilità, rappresenta il modello di prova realizzato allo scopo di dimostrare la fattibilità di un prodotto, un servizio o un processo di lavoro) scientifici più avanzati, per un potenziale sviluppo a livello imprenditoriale secondo analisi di fattibilità; valutazione delle competenze dei gruppi di progetto dei POC selezionati ed elaborazione di una *gap analysis* per la loro implementazione rispetto agli standard di riferimento del settore; realizzazione di attività di inquadramento strategico del potenziale di mercato delle ricerche scientifiche dei singoli gruppi attivi sui progetti; promozione e sviluppo di partnership finalizzate alla diffusione in determinate filiere industriali delle tecnologie sviluppate.

What next: azioni strutturali per rafforzare il legame con gli stakeholder del KTT e per promuovere l'innovazione

Consapevoli della necessità di aumentare le competenze tecniche dell'INFN in ambito KTT e di definire una strategia più ampia per sviluppare ulteriormente il percorso verso l'innovazione, l'Istituto ha ottenuto nel 2022 un finanziamento di 1,7M€ dall'Agenzia per la Coesione Territoriale nell'ambito del Programma Complementare al PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020 - ASSE 2 - Obiettivo specifico 2.1 - Azione 2.1.1. Il progetto, denominato "OPEN INFN – *Open INnovation from Fundamental Nuclear Research*", mira a rafforzare le capacità dell'INFN nel valorizzare la conoscenza scientifica e tecnologica generata durante lo sviluppo dei suoi percorsi di ricerca fondamentali, e renderla disponibile per favorire l'innovazione industriale e sociale ed il benessere nel Paese.

Le principali linee di azione del programma mirano a sviluppare una strategia per incrementare i collegamenti strutturali con le reti industriali, senza stravolgere e compromettere gli obiettivi scientifici primari della ricerca dell'INFN. Nell'arco di 36 mesi (giugno 2022–giugno 2025) saranno attivati diversi servizi di consulenza nelle seguenti aree di intervento con l'obiettivo di trasferire competenze all'organizzazione STT:

I. Analisi del posizionamento e definizione delle strategie di trasferimento tecnologico dell'INFN

Verrà analizzato il posizionamento delle attività di ricerca dell'INFN in termini di impatto sul sistema produttivo, partendo dall'impatto economico dell'INFN, dalla mappa degli stakeholder, dall'analisi delle procedure adottate e dallo sviluppo di un nuovo modello di relazioni, procedure e strumenti finalizzato a massimizzare l'efficienza del trasferimento delle conoscenze tecnologiche sviluppate nell'ambito della mission dell'organizzazione verso possibili sbocchi di mercato.

II. Ottimizzazione dei processi strategici del KTT

Questa seconda linea di intervento è dedicata alla costruzione di un'unità organizzativa permanente dedicata al Trasferimento Tecnologico (KEU) dotata degli strumenti e delle competenze specifiche necessarie per gestire efficacemente i processi di valorizzazione della conoscenza tecnologica prodotta dalle attività di ricerca dell'INFN in fisica fondamentale.

III. Tutela della proprietà intellettuale prodotta e gestione del trasferimento della conoscenza tecnologica dell'INFN al settore privato

Tale azione è finalizzata a rafforzare le competenze tecnico-giuridiche della STT rispetto al quadro normativo nazionale sui rapporti pubblico-privati in materia di trasferimento tecnologico, così da strutturare un'unità organizzativa permanente all'interno dell'INFN dedicata al Trasferimento Tecnologico.

IV. Attuazione di una strategia di comunicazione volta a valorizzare le relazioni tra l'attività di ricerca propria dell'INFN e il mondo produttivo; implementazione di adeguati strumenti di comunicazione e formazione.

Questa linea di intervento è dedicata alla progettazione e implementazione di una strategia di comunicazione interna ed esterna, attraverso l'analisi e la selezione di informazioni e dati rilevanti per la fruizione delle attività dell'INFN sul mercato e nella comunità di ricerca, da diffondere attraverso canali interni ed esterni di comunicazione; sarà prodotto un piano di formazione e divulgazione con eventi e workshop periodici su tematiche internazionali, e sarà prodotto materiale informativo sia cartaceo che digitale necessario per le attività elencate.

Il programma "OPEN INFN" è molto ambizioso e coinvolgerà quindi in modo significativo il Comitato TT, il Servizio TT e la rete dei Referenti Locali, con la consapevolezza che sia un'occasione unica per formare persone e attrarre le risorse necessarie risorse per dare al KTT dell'INFN una nuova e più solida identità. Tutte le linee di azione sopra elencate saranno coordinate dal CNTT d'intesa con il Direttore dei Servizi di Ricerca e gli uffici competenti di AC (Servizio Affari Legali, Servizio TT, Ufficio Comunicazione).

10.4 Alta formazione

L'INFN oltre che nelle attività di terza missione è significativamente impegnato anche nell'ambito dell'alta formazione. Sulla base di apposite convenzioni con gli atenei, molti ricercatori INFN svolgono attività didattica, fanno da relatori o correlatori per tesi di laurea che ricadono nell'ambito delle ricerche svolte dall'Ente ed è particolarmente attivo nell'attività formativa di terzo livello, grazie ad un programma di finanziamento di borse di dottorato di ricerca e, soprattutto, alla attivazione di dottorati congiunti. Partecipa ed è parte attiva anche in Dottorati Nazionali e finanzia ogni anno oltre 70 borse di dottorato di ricerca sui propri fondi. A queste nel 2023 si sono aggiunte 5 borse finanziate dal PNRR e 29 borse cofinanziate o su fondi esterni. Annualmente vengono discusse circa 170 tesi di dottorato su tematiche INFN. Abbiamo inoltre un intenso programma di assegni di ricerca e borse di studio che nel 2023 ha finanziato oltre 170 nuovi assegni/borse su fondi INFN, sia interni che esterni, a cui vanno aggiunti circa altrettante unità associate alle nostre attività, finanziate su fondi universitari o cofinanziate.

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.

In preparazione della VQR 2020-2024, il cui bando è uscito a ottobre 2023, il Gruppo di Lavoro della Valutazione INFN sta mettendo 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 SMVP (Sistema di Misurazione e Valutazione della Performance) 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.

Nel SMVP approvato nel 2023, la valutazione individuale, già prevista per tutto il personale con incarico di responsabilità e per tutto il personale tecnico ed amministrativo dell'Istituto, è stata allargata includendo la performance dei direttori delle strutture relativamente alla posizione di responsabilità gestionale e amministrativa ricoperta, poi estesa a tutti i direttori dal 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, sono stati previsti incontri differenziati specifici tra gli attori del processo di valutazione e programmi mirati alla formazione del 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), che sarà rinnovato nel corso del 2024.

Il Piano Integrato di Attività e Organizzazione (PIAO) 2023-25 (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. 16587 del 31 marzo 2023 e adottato in accordo alla scala temporale prevista.

Nel corso del 2021 l'INFN si è dotato di un prodotto software per la gestione della performance organizzativa e di funzionamento complessiva dell'Istituto e per la gestione della performance individuale dei dipendenti.

Nel 2022 il prodotto è stato interfacciato con le banche dati dell'Istituto ed è stato messo in produzione. Tutte le fasi del ciclo della performance 2023, incluso la pubblicazione dei report con l'esito del processo, sono state gestite con questo software che verrà utilizzato stabilmente in attuazione dei futuri cicli della performance dell'Istituto.

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*. Ha quindi costituito il CNPM (Comitato Nazionale di Project Management) per proporre metodologie, tool e interventi di formazione. Grazie alla sua azione è stato implementato lo standard (openSE) per quality assurance e ingegneria dei sistemi nella progettazione e pianificazione dei grandi progetti infrastrutturali; 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.

12. APPENDICE: CVI Report 2023

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; M. Bosman, IFAE, Barcelona, Spain;
A. Brandolini, Banca d'Italia, Italy; J. D'Hondt, Vrije Universiteit Brussel, Belgium (chair);
R.K. Ellis, University of Durham, UK; W. Hofmann, MPI Heidelberg, Germany;
N. Lockyer, Cornell Laboratory for Accelerator-based Sciences and Education, USA

October 2023

Introduction

The 2023 annual CVI meeting was held at LNGS from October 18th to October 20th. It gives us great pleasure to thank the INFN management and the LNGS team for the outstanding hospitality, the inspiring visits of LNGS's underground laboratories and the excellent planning of the meeting. 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 LNF and LNGS.

Perspectives and Strategy

INFN is a stronghold in the European and international context for particle, nuclear and astroparticle physics with impactful leadership across the field. The committee was pleased to find INFN in an excellent state with a bold scientific ambition and a management preparing INFN for a bright future with world leading research infrastructures and advanced technologies. Especially with the strongly appreciated and timely PNRR resources, INFN has the capacity to realize its ambition. INFN has an impactful story to tell for a curiosity and technology driven society. The realization of an effective dialogue with the Minister of Research and the Prime Minister is testimony to this.

The INFN budget for 2022 amounted to 579 M€, of which 166 M€ was contributed by PNRR, 121 M€ from specific projects and 292 M€ directly from the Minister of Research. From the ministerial budget, INFN has the ambition to keep the allocation to salaries below 50%, so that the talented INFN personnel can adequately invest in technologies and research. To maintain INFN's capacity, the increased budget from the Ministry by 8% between 2021 to 2022 was essential to match the additional costs coming from inflation.

Based on a sound strategy to utilize PNRR opportunities for upgrading existing infrastructures and projects instead of initiating new ones, the year 2022 was an important year for INFN to successfully start the PNRR investments for infrastructure and for hiring technologists. Enabled by the regular capacity of INFN, but especially boosted by the temporary PNRR resources, numerous research infrastructures established under the leadership of INFN are emerging at the forefront of science. The well-balanced portfolio of PNRR-supported projects and the new budgets allocated accordingly will have a decisive impact on realizing several flagship projects that will significantly strengthen INFN's reputation in the international research landscape. From a larger portfolio detailed in this report, two examples are INFN's central leadership in EuPRAXIA at LNF and the implementation of the top-ranked (4th in the world) ICSC computing center near Bologna. Planning of INFN career paths for the personnel hired with PNRR funds after 2026 requires timely attention.

The committee was impressed by the unique opportunity for LNGS to become the world-wide reference laboratory for the neutrinoless double-beta decay searches with LEGEND1000 and CUPID, and for dark matter searches with DarkSide and XENONnT/DARWIN. In addition, the new LUNAMV ion accelerator at the Bellotti facility is a unique reference in the field of nuclear astrophysics.

Important progress has been made on projects on the ESFRI Roadmap involving INFN, and a successful concerted action between INFN and Prime Minister Meloni established the Einstein Telescope project on this roadmap.

Many of INFN's scientific ambitions are enabled (1) by research facilities at CERN and (2) by CERN's capacity to assist progress with other and future research facilities. In view of the next European Strategy for Particle Physics, INFN is preparing to further contribute to shaping the future of CERN, so that the Strategy embraces the wide(r) scope of INFN ambitions.

A 12-year INFN investment plan of 160 M€ is approved to start in 2024 with the objective of maintaining the INFN research infrastructures. Special additional attention might be required in the short term for some of the (nuclear) facilities and from 2026 for the computing facilities.

In the area of fostering talented personnel, the CVI applauds the INFN management for enabling the excellent and timely opportunity to promote approximately 220 persons (researchers and technologists) to their next career stage within the INFN organization.

The INFN is well positioned for impactful contributions in various key directions of accelerator R&D towards future particle physics colliders and other applications. A strong commitment of INFN to the European R&D roadmaps for accelerators and detectors will impact INFN's capacity to act on future strategies in the field.

To further evaluate the state of the INFN organization, at the occasion of the annual meeting in 2024, the CVI would like to be informed about the following aspects:

- *an analysis of the INFN research infrastructures that require maintenance budgets in addition to the approved and resource loaded 12-year plan,*
- *how the use and development of AI methods and the related dedicated AI skills are fostered throughout INFN,*
- *the environmental impact of the INFN,*
- *the actions taken by INFN to improve the gender diversity among researchers and technologists,*
- *the ability of INFN to attract and retain foreign scientists,*
- *and the feasibility and impact of tenure track positions in INFN with respect to equivalent positions at universities.*

Central Administration

The central administration of INFN has recently started a program to modernize its processes and improving its skill mix. This year two key elements of this program have been accomplished. The payroll process has been successfully externalized (incidentally, as suggested by the CVI in the past) and an extensive hiring program has been completed, substantially improving the ratio of employees with university education to those who have only high school education (diploma).

Another recommendation of CVI has been implemented with the completion of a customer satisfaction survey involving the users of administrative services. More than the absolute value of the satisfaction score (7.2), the trend over time will allow to measure progress. It is therefore important to repeat the effort in the next years.

Activity on PNRR has been a significant effort, with CA involved in reporting activity ("*rendicontazione*"), legal activities, recruiting as well as a major effort in procurement, challenging procurement skills of the organization: volumes are substantially higher than those in the past, especially in highly competitive sectors like information technology. Shorter time frames may increase the risk of formal vulnerabilities in the process, with potential risks of administrative claims ("*ricorsi*").

The program is being so far perceived as a success not only in meeting interim deadlines, but also in pioneering a new way of working. We received positive signals about the progress in the integration between administrative and scientific "cultures". The integration appears more clearly at central level, favored by PNRR management.

A major challenge going forward will be the transformation from cash-based to accrual reporting which is required by law by 2026. This change will not affect administrative personnel only. It will force the entire organization to consider future costs deriving from unexpected events in projects as the event occurs, not when the expenses are actually paid, identifying sources of funds to pay for cost overruns at a much earlier moment in project life.

New hires in administration, often attracted by the reputation of INFN more than by the salary which remains uncompetitive compared to those of the private sector, can be champions of the new approaches as well as cultural change.

Recommendations:

CA-1 – Plan for adequate and early training of resources for accrual-based reporting, including:

- *an in-depth, technical training for administrative staff (including REGIS, the reporting IT system for public administrations developed by the Ragioneria Generale),*
- *and the basic concepts for managers of research.*

CA-2 – Assign some project management tasks to junior/high potential new hires – the end objective being to train “project controllers”.

CA-3 – Review early performance of procurement process in the first PNRR tenders: throughput times, effectiveness of competition, risk of supplier claims.

Directorate of Research Services

The Directorate for Research Services (Direzione Servizi alla Ricerca, DSR) is a new structure involved in two new activities: central, integrated support for grant application and management, and PNRR project management. In addition to those two activities DSR has responsibility over Technology Transfer, that will be dealt with in a separate section of this report.

The service for grant applications oversees a process that starts with the identification of grant opportunities, continues with the support to researchers in preparing and submitting grant proposals and extends its support to grant management post award.

An integrated approach to this activity has, in principle, several advantages: identifying all opportunities for research grants benefits from significant synergies across different lines of research since individual calls may be of interest of several researchers; support for researchers in preparing and presenting their proposal should benefit from the accumulation of expertise by a dedicated team.

The directorate has started recording applications and success rates, but time will be needed to observe changes and evaluate the effectiveness of the new structure. A thorough evaluation will imply measuring success rates of applications against past years and other institutions. A potential element of vulnerability for INFN with respect to other research institutions in Italy, especially universities, lies in the more limited incentives INFN researchers have in securing important grants like the ERCs. Universities often assign important positions to researchers who have secured an ERC, while INFN researchers obtaining this type of grant do not obtain immediate career advancements.

PNRR projects are managed with a dedicated project management organization, supervised by DRS, and an interdisciplinary supervision by a committee composed of senior staff. This organization has helped to overcome early issues in projects, but programs are of course still ongoing, and risks of delays increase towards the end, since early PNRR milestones are generally less demanding.

Based on the initial success, INFN leadership is considering the extension of this approach to other projects, but doing that will require solving at least two issues: finding sufficient staff with project management skills and addressing the limited time availability of senior staff to supervise projects outside their specific research area.

Recommendations:

DSR-1 – Measure in a systematic way the performance of grant applications. Identify gaps, with respect to other institutions who excel in securing grants, using two performance indicators: the number of applications per researcher, and the success rate of applications. Use findings from this analysis to provide feedbacks to applicants.

DSR-2 – Define a strategy and objectives for INFN in the acquisition of grants. More grants will provide additional resources but acquiring them may create a drag on researchers' time and their attention to existing experiments. Based on this strategy, consider reviewing incentives to researchers who acquire grants.

DSR-3 – Plan for the scale up of PNRR model to manage projects to other initiatives/programs, including:

- the training of additional staff in project management skills,
- and decide how to address the need of many senior resources to monitor multiple projects and overcome cross-functional issues; either appoint commissions for groups of projects or increase reliance on newly trained project managers.

Technology Transfer

The INFN has a clear strategy statement for Technology Transfer (TT). It plans to move innovative ideas and advanced technology to the marketplace in order to benefit the society as a whole. There is a well integrated organization structure with three arms: a national committee for TT, a network of local representatives, and a service office with legal patent support.

The proof-of-concept PoC R4I program (2018) is effective but small (4-5/yr). The INTEFF program (2021) supports small grants. Nevertheless, active patents and subsequent license agreements give competitive success numbers compared to NETVAL (national numbers). This is an indication the structure is working well. CSN5 wins most of the patents & licenses, with a good record in medical field. The OPEN INFN program is 1.8 M€ (multi-year) initiative for training & increased links with industry (2022). Training programs are important in a basic science environment to ensure the technical staff and scientists are knowledgeable about opportunities.

Italy is known internationally for its strong links to superconducting magnet and cavity production technology companies of very high quality (e.g., ATLAS toroidal coils, ESS, TESLA). Given the impressive track record of TT transfer to industry, INFN should focus on the new opportunities in quantum computing, sensors, medical applications, and high temperature superconductor cable and magnets.

TT is a potential growth area for INFN. It is a small program, only 2 people in the service office for example, and capturing much less than 1% of the budget. A first step would be to develop a prioritized strategic plan for TT with a portfolio of 1-2 ambitious projects and a cadre of small projects, identifying opportunities where possible.

The INFN present approach is to "push" inventions and technology developments to industry rather than "pull." The preferred approach is "pull" and although the approach is changing, more is needed. INFN does reward its inventors, which is critical to maintain. The present 50% number is competitive. Continuing to improve the culture within INFN by training and further incentives is important.

The ultimate goal is not to raise profits from TT, but to allow the Italian economy and society to benefit from the INFN's great know-how and technological capacity.

Recommendations:

TT-1 – Increase funding for TT. Further investment in the TT organizational areas is critically needed to fully exploit the multiple opportunities.

TT-2 – Attempts to integrate industry into the TT organization should be beneficial.

CSN1

CSN1 coordinates INFN activities in particle physics at accelerators and promotes research and R&D for future projects in the field. Its rich program is organized in five lines of research: physics at hadron colliders, flavour physics, charged lepton physics, proton structure and R&D for future accelerators. The number of FTEs in the experiments is stable across the years (833 in 2022). It is complemented by an additional number of FTEs contributing to synergetic R&D activities with a slight upward trend (53). The FTE fraction is approximately constant at 70%, as well as the fraction of women (21.9%). All indicators of scientific productivity and quality of INFN contribution are excellent. The base budget (20 M€) has been constant until 2022. It is complemented by special funds for HL-LHC upgrade (4.9 M€) and various competitive funds (1.7 M€) for computing, whose amount varies with the year according to the expected needs. INFN decided to transfer the activities from accelerator-related neutrino experiments, so far under CSN2 purview, to CSN1. The transfer of the Fermilab (USA) neutrino experiments with its review process started in 2023. It will lead to an 9% increase in personnel and 13% in budget that will be made effective in the 2024 budget.

Here we report some highlights of the activities in the various research lines. At the CERN LHC, many full Run2 analyses are still coming to fruition with improved analysis techniques including, e.g., more precise measurements of Higgs coupling or evidence for four top quarks production by ATLAS and CMS. Many searches for beyond the Standard Model physics are also performed. The INFN-related Phase-1 upgrade of the ATLAS and CMS detectors was successfully completed during the 3-years Long Shutdown 2. Run 3 started by mid-2022, with the LHC running at the increased energy of 13.6 TeV. Commissioning took place and first results became available. The High Luminosity LHC upgrade of ATLAS and CMS is progressing, with most INFN projects close to or at production phase. The CMS spending profile is expected to peak in 2023, and ATLAS in 2024. There are some concerns about potential delays as the contingency for completion is in some cases below one year, even after a full revision of the schedule. Cost is another source of concern. A series of additional costs have been identified, in part due the loss of the Russian contribution, extra costs of the construction and impact of the change of exchange rate CHF/€. The total amount is estimated to be about 12 M€, 20% of the nominal cost (N.B. 14% of contingency was included in the initial budget allocation by INFN to cover the upgrade cost).

The LHCb experiment contributes to flavour physics. Highlights of the full Run2 analysis include the first evidence of direct CP violation in charm, and more precise measurements of the lepton universality observables R_K and R_{K^*} , now consistent with the Standard Model. CSN1 reviewed the status of the flavour physics field and concluded that the potential of precision measurements remains very interesting. During LS2, LHCb made a major overhaul of its apparatus with important contributions from INFN. The commissioning and installation extended during Run 3 and into 2023. An incident during the end of the year shutdown in 2022 damaged a foil surrounding LHCb p-p interaction region, impeding a proper positioning of the vertex detector and reducing its performance. The replacement of the

foil during the next shutdown should solve the problem. On the other hand, the Belle II experiment at KEK (Japan) completed its first run in 2022. Highlights include a first measurement of B^0 decay to neutral pion pairs. Data taking should resume at the end of the year with increased machine luminosity. The BESIII experiment at BEPCII (China) collected $\Upsilon(3770)$ data in 2021-23, producing many results like the evidence of a new neutral tetraquark composed of charm and strange quarks ($Z_{cs}(3985)$). Concerning future contributions to flavour physics, CSN1 is considering participation in a second upgrade of LHCb, currently targeting Run 5 and whose total cost is estimated at 175 M€. We support INFN's view to encourage LHCb to downscale somewhat the upgrade and implement as many as possible of its features already in Run 4. On the other hand, Belle II considers an upgrade during LS2 starting in 2027 that would maximize physics reach at full luminosity. CSN1 is evaluating its possible participation. Kaon physics is addressed by the NA62 experiment that has shown that the expected 15-20% precision on the measurement of $BR(K^+ \rightarrow p^+ nn)$ is within reach. Future upgrades are under considerations (High Intensity Kaon Experiments) with possible participation from INFN.

The main highlight in charged lepton physics is the new result of the Muon $g-2$ experiment at FNAL, confirming and increasing the significance of the long-standing discrepancy between the theory prediction and the experimental value, currently at 4.2 s. New results have also just been published by MEG-2 ($\mu \rightarrow e \gamma$). Last but not least, INFN prepares for the future of particle physics with a strong commitment to R&D for the Future Circular Collider project aimed at constructing a 91 km circumference e^+e^- circular collider at CERN to operate as electroweak and Higgs factory, followed by a hadron collider in the same tunnel. INFN is also strongly committed to the design of a 10 TeV Muon Collider facility, whose components like superconducting magnets, RF cavities have strong synergies with other future collider projects. Specific funds are provided for accelerator R&D to boost the participation of INFN accelerator community.

The hand-over from CSN2 to CSN1 of the accelerator-based neutrino experiments has started, involving members from both sections for a smooth transfer of reviewer expertise. The experiments concerned so far are the short-baseline ICARUS and the long-baseline DUNE at Fermilab. The ICARUS 600T, originally operating at Gran Sasso, was moved to Fermilab and started data-taking by mid-2022. DUNE, on the other hand, aims at starting science in 2028. INFN's contribution is broad & strong. The construction of the Far Detector Photon Detection System, to be installed in the Sanford Underground Research Facility, has entered the construction phase with an important INFN commitment. The Near Detector SAND also relies on various INFN contributions. The magnet of the KLOE experiment at Frascati will be reused, as well as its electromagnetic calorimeter. There are some concerns about possible delays in that part of the project. The Straw Tube Tracker is in the design and prototyping phase, while GRAIN (a Liquid Argon detector) will be tested at LNL. INFN is also involved in the ProtoDune program at the CERN Neutrino Platform and in SND@LHC, a compact neutrino experiment that recently published the first observation of neutrinos produced at collider.

CSN1 manages large projects with spending profiles peaking in time, potentially overlapping, a point that deserves attention. It is also worth noting that the future of CERN FCC project will have strong implications for the field of particle physics and consequently for INFN, whose activities are tightly linked to CERN. The mid-term report of the FCC project expected in 2024 will be an important milestone, as well the next European Strategy for Particle Physics update expected around 2026.

CSN2

CSN2 supports research in astroparticle physics and specifically in the four research lines (i) Dark Universe, (ii) Radiation from the Universe, (iii) Neutrino Properties and (iv) General Relativity and Quantum Physics. CSN2 is a bottom-up committee, representative of the community. The community engaged in CSN2 increased by a factor 1.5 from 2015 to 2022 (from 931 to 1549 persons, from 660 to 991 FTE), demonstrating the attractiveness of the field. The level of funding of CSN2 activities increased but not fully commensurate with the increase in personnel; over the last three years, the budget was constant at 13.7 M€. CSN2 supports an interesting and appropriate mix of large, midscale, and small experiments, and of “safe” and highly innovative / high risk / high impact experiments. The portfolio of almost 50 experiments in CSN2 appears large, given the size of the community and the budget, but this portfolio is well managed by CSN2, with clear procedures, steady monitoring of progress and detailed attention to critical cases. Apart from few cases (e.g., experiments being terminated), the engagement (measured as the typical FTE per person) is good. CSN2 is of course aware that taking on new initiatives will usually require termination of other less promising activities.

Excellent science is being done in CSN2. Experiments are highly international, with 95% of FTE in international collaborations, in which Italian groups are well represented. Many world-leading experiments have strong Italian contributions and leadership. CSN2 researchers tremendously benefit from PNRR funds which provide a unique boost for underground infrastructure (LNGS), neutrino and gamma-ray astronomy (KM3Net and CTA), and the preparation of ET, further strengthening INFN’s role. The PNRR-driven expansion of large-scale computing and high-speed networking will prove beneficial for many of CSN2’s instruments.

Only few selected highlights can be listed here. Highlights from “Radiation from the Universe” include the AMS2, CALET, DAMPE precision measurements of primary and secondary cosmic rays and isotopes; an additional AMS tracking layer will significantly increase acceptance of AMS. The AUGER upgrade in progress with strong INFN contributions will allow measuring CR composition event by event, for better understanding of spectra and anisotropies. With XRO / IXPE, gamma-ray polarization provides a key new handle; already ~100 papers appeared on variety of source classes.

In the area “Dark Universe”, XENONnT provides improved DM limits, with the lowest ^{222}Rn background ever achieved; the experiment is now in science run 2. EUCLID was successfully launched in 2022 and has provided first images, towards determining the properties of dark energy and dark matter on universal scales. Construction of new DM experiments such as DarkSide and COSINUS is progressing.

In “Neutrino Physics”, CUORE deserves mention, with stable running and new results for 2 T yr exposure. LEGEND-200 data taking has started; the measured background is consistent with target value. JUNO construction has started and is progressing well.

KM3Net supports a very broad program in neutrino physics, from neutrino oscillations to neutrino astrophysics. PNRR support allows the ARCA detector to reach critical mass, providing additional 65 DUs; the implementation is largely on track. The deployment of DUs progressing well; the past technical problems regarding sea infrastructure and DU reliability look solved. In ARCA, 28 ARCA DUs are taking data, with promising first science results. Since PNRR

covers the production of additional DUs, but not transport & deployment, the respective funding of personnel beyond PNRR may still need to be resolved.

Gravitational wave experiments (VIRGO, ET) are covered elsewhere in this report, but also the range of smaller experiments probing basics of gravitation and quantum dynamics deserves mention (ARCHIMEDES, GINGER, GRAFIQO, SATOR-G, ...).

Excellent progress is observed regarding last year's recommendations: (1) Regarding the isotope procurement for CUPID and LEGEND-1000, solutions are likely in hand and in discussion with respective agencies; (2) a decision was taken by DOE and the collaboration to baseline LEGEND1000 at LNGS, giving the lab a unique role in exploring neutrinoless double beta decay; and (3) as reported elsewhere, excellent progress was made towards securing INFN's role in the Einstein Telescope.

Concerns:

CSN2-1 – *The uncertain status of the cooperation with China in space experiments, in particular for HERD where a large community is involved and where INFN should push to resolve the situation.*

CSN2-2 – *The continued refusal of DAMA to open their data undermines credibility of experiment.* **CSN2-3** – *An observation in CSN2 is that many small and innovative experiments start from ERC grants, but run out of resources or time and then require CSN2 support. It is encouraged to inform/involve CSN2 prior to ERC submission.*

CSN2-4 – *The gender (im)balance in CSN2 remains a concern; the situation is stable but not improving and requires the continued attention of CSN2 management and INFN.*

CSN3

CSN3 continues to provide a high science output across all six interconnected research lines: Quarks and Hadron Dynamics; Phase Transitions in Hadronic Matter; Nuclear Structure and Reactions; Nuclear Astrophysics; Symmetries and Fundamental Interactions; Applications and Societal Benefits. The number of FTE's working on CSN3 projects remains constant (~500 FTE) but the overall number of people has increased steadily to approximately 800, highlighting the cross-disciplinary work of nuclear physicists with other CSN projects. The percentage of women is relatively high between 25-35% and the fraction is even higher reaching 50% at the level of defended master's theses.

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 23 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. In this case they proactively propose closing the activities and propose joining other experiments. This has already been done for LEA (Low Energy Antimatter) and it should probably happen with JLab12 and EIC groups.

Excellent science is being done in CSN3. Only few selected highlights can be listed here. Highlights from *Quark and Hadron Dynamics* are the precise determination of the ^{48}Ca form factor with implications for the neutron-star

equation of state (PRL, JLAB) and benchmark for proton polarizabilities at A2 (PRL). Important also to notice the highly significant contributions of INFN groups to the Yellow Report of the EIC, including simulations and R&D work. In the line of *Phase Transition in Hadronic Matter* we highlight the good performance of ALICE and among their results the violation of universality of charm fragmentation.

In the area of *Nuclear Structure and Reactions* several impactful results have been achieved, e.g., the possible evidence of an Efimov state in ^{12}C (NPA), the short-range pairing interaction probed by extensive lifetime measurements of proton-rich nuclei done with AGATA-VAMOS at GANIL that revealed a perfect conservation of seniority quantum number in N=50 (PRL). The NUMEN team has prepared a Prog Part Nucl Phys publication on heavy-ion double change-exchange reactions to be delivered in 2023. Multinucleon transfer studies, in particular proton and two proton transfer, were studied with PRISMA to determine the reaction mechanism, the much larger 2p transfers compare with calculations demonstrating the presence of strong proton-proton correlations (PLB). Within the *Nuclear Astrophysics* line: in addition to the study of Coulomb free pp scattering (Nature Com 2023), we highlight the results of LUNA400 on the reaction of $^{12,13}\text{C}(p,\gamma)$ to determine the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio in Asymptotic Giant Branch (AGB) stars. The PANDORA experiment is getting ready to make the beta-decay studies in plasma, a pending subject since many years.

In the line of *Symmetries and Fundamental Interactions* we highlight the investigation of the possible violation of the Pauli principle in atomic transitions of ancient roman lead (PRL) and the spectroscopic determination of the hyperfine splitting of muonic atoms (FAMU @RAL). In the line of *Applications and Societal benefits*, FOOT will complete the apparatus in 2024 however, it is already taking data at HIT and CNAO for nuclear reaction measurements for hadron therapy and radioprotection in space, first results already published (JINST). In addition, it is important to mention the new infrastructure at SPES-MED aiming to identify new production methods of isotopes for theranostics medical studies.

At the level of R&D activities, the INFN groups have identified synergies based on the new ALICE Inner Tracking System (ITS3), the EIC e_PIC detector, and the NA60+ upgrades at the CERN SPS. These synergies are very important and they will require dedicated funds as well as to understand whether ALICE3 will be realized.

Recommendations:

CSN3-1 – LNL with the proactive support of INFN should try to keep AGATA with its vibrant program beyond 2025 allowing for the study of radioactive nuclei produced in the SPES Facility.

CSN3-2 – The coming years are crucial for the upgrade of accelerators at LNS and start of SPES. It is important that the recent advancements in both laboratories are kept at the same pace. Funding and personnel should be provided in order to avoid extra delays.

CSN4

The Italian program of theoretical physics pursued by the INFN in CSN4 continues to be one of the most successful in Europe. INFN researchers are fully integrated into European research and have international impact. The INFN theoretical community pursues research over a wide range of topics, divided into six lines of research. String and Field theory, Particle physics phenomenology, Hadronic and Nuclear Physics, Mathematical methods, Astro-particle

physics and Cosmology, Statistical and applied physics. The overall satisfaction with the level of theoretical support provided to INFN experimental activities appears to be good. Conference talks and participation in international schools appears to be recovering after the pandemic. The committee was pleased to hear of the restoration of the theoretical effort at LNF, which was a CVI recommendation in a previous year.

The tools used by the INFN to manage the program in decreasing order of importance are:

1. the running of recruitment processes for INFN research staff positions,
2. the organization of training activities for young researchers,
3. the recruitment of Italian and international researchers for post-doctoral positions,
4. and the management of *iniziative specifiche* as national networks focused on topics of current research.

In the 2022 call for CSN4 researcher positions, the percentage of female winners (16.7%) exceeded the female percentage in applicants, (13.5%). The situation regarding gender balance in CSN4 still remains unsatisfactory. This gender imbalance displays some features. First, the percentage of females for INFN associates is 14.2% but only 11.7% for INFN staff who have gone through the INFN recruitment process. Second, gender balance is better for researchers working in Hadronic and Nuclear Physics and Astroparticle physics and Cosmology. Note is taken of the efforts to redress the imbalance, such as the Baldo-Ceolin prize for women in theoretical physics and the 25 new bursaries to support female 1st-year master students, distributed equally between the five National Scientific Committees. The efficacy of these initiatives in addressing the gender imbalance remains to be seen.

The training of young researchers occurs in the INFN in several ways. First, the organization of schools for PHD students at the Galileo Galilei Institute. In addition, the INFN funds PhD fellowship at Universities and INFN staff supervise theses both at the undergraduate and post-graduate level.

The INFN funds post-doc positions in three ways. First, it co-funds research bursaries (*assegni di ricerca*) together with university physics departments. Second, via the recently created Cabibbo fellowship which funds 2 years at LNF + 1 year at one of the INFN Sections attached to the 3 universities in Rome. Third, by running its own post-doctoral program either for foreign citizens or for Italians who have worked abroad for at least three years. This last program, which currently funds 14 positions per year is crucial to prevent a loss of Italian talent, attracted by more favorable economic treatment elsewhere in Europe. Because of the newly agreed mid-February deadline for post-doctoral positions, in terms of timing of the award of post-doctoral positions there is no reason why these INFN positions should not be competitive with other European countries. We encourage the INFN to consider increasing the number of these positions and their duration with a view to attracting/returning talent to Italy.

The program of Iniziative Specifiche (IS) appears to be dynamic. The committee examined the case of TEONGRAV, where the number of adherents has grown significantly in response to the greater interest in gravitational waves. The IS appear to run over many years. The committee endorses the review of the IS every 3 years (including by international referees), particularly if hard choices are made regarding ending old projects and starting new ones.

Recommendations:

CSN4-1 – The Executive board should investigate the possibility of targeted hiring procedures for researchers (in the area of theoretical physics), which might better serve the strategic needs of the INFN.

CSN4-2 – Some doctoral training activities should also continue to be targeted towards the future experimental activities of the INFN.

CSN4-3 – To make the case for an increased number of post-doc fellowships, it would be important to collect and analyze data from other European countries, with respect to the number, duration and employment conditions of post-doc positions.

CSN5

CSN5 coordinates advanced technological research for INFN core experimental activities and promotes the development of instruments, methods and techniques for fundamental physics and their application in other fields. Its activities involve about 600 FTEs and have a significant social and economic impact. A prominent fraction of FTEs (32%) are women. The number of publications is very large, and CSN5 is enthusiastically involved in the “researchers’ night” organized at universities. CSN5 naturally deals with activities that have impact on society, e.g., financing projects for diagnosis and clinical treatments, environmental analysis, and cultural heritage.

CSN5 has three research lines which may overlap dedicated to accelerators (superconducting systems, cavities and coating), detectors, electronics and computing (detectors, quantum sensing, AI) and Interdisciplinary physics (dosimeters, hadron therapy, AI in medical applications). Their activities can give rise to high-TRL patents for industry. Funding allocation is relatively stable over time, around 6,2 M€ and across the research lines with “detectors, electronics and computing” getting in 2022 about 40%, similar amount for “interdisciplinary physics” and half for “accelerators” around 20%.

Funding for projects is distributed in three categories: Standard projects (84) of 2-4 years receiving up to 100 K€/y, Calls for proposals (12) of 3-4 years receiving up to a total of 1 M€ and Grants for young researchers (17). The large number of simultaneous projects in 2022 is partially due to delays introduced by the pandemic-period. This number will reduce in the coming years.

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. Calls for proposals select exceptional and very challenging projects involving high numbers of researchers. As example the ERC consolidator grant DANAE is seeded from the BULLKID and BULLKID2 projects and the Techno-CLS EIC Pathfinder project dedicated to emerging technologies for crystal-based gamma-ray Light Sources. Other interesting highlights are the production of radiation detector of invivo dosimetry for astronauts within FIRE project and state of art for ultra-low power detectors within the ARCADIA project.

The CSN5 emphasis on fostering interdisciplinary activities is highly considered. The competitive assignment of internal funds after rigorous evaluation, as well as the follow up at the different stages of the projects is important.

Following the request of last year's CVI to review the impact of Grants for young researchers, it is found that Grant winners have demonstrated the ability to realize a successful career as researchers and develop new research projects. The young researchers grant 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 and improves their motivation allowing for independence and leadership in projects.

Recommendations:

CSN5-1 – CSN5 should report on the impact, uniqueness and significance of the “Calls for proposals” projects. It should indicate the connection and collaboration with groups outside Italy, and how they are the seed for EU-projects.

CSN5-2 – CSN5 should use the committee in charge of the selection of the projects to identify the best (young) researcher projects that have the potential to become an ERC grant. Once the grant project is successfully realized, they can serve as proof-of-principle for the ERC request.

VIRGO

The observation of gravity waves and the surprising results about black holes and neutron stars is one of the most exciting new fields in all of science. LIGO, and now VIRGO, measure ripples in spacetime due to the most violent events in the cosmos using kilometer-scale highly sensitive interferometers. As a part of the International Gravity Wave Observational Network, the VIRGO role is critical in identifying the sky location of the source. Improvement of a factor of ten over just LIGO was demonstrated after the first VIRGO observation. LIGO performance is characterized by a number, which represents the ability to detect a binary neutron star (BNS) merger, typically in the range 100 Mpc (1 pc or parsec is 3.26 light years). The VIRGO BNS merger performance is about 40-50 Mpc. KAGRA, located in Japan is just beginning with 0.7 Mpc. A gravitational wave event, measured by both LIGO and VIRGO, at 4 Giga parsecs has been observed, the furthest yet.

Science from Observation Runs O1-O3 have definitively identified 90 binary black-hole mergers and numerous binary neutron star mergers, some with gamma ray bursts, and numerous surprises including BH with masses that should not exist. There is also evidence of spin precession. All this incredible data has opened an exciting new field of gravitational astronomy. Presently LIGO and VIRGO are viewing events from about 60% of the universe. Both LIGO and VIRGO are attempting to double the sensitivity for Run O4. Unfortunately, the VIRGO upgrade ran into noise issues which have yet to be resolved and O4 has started without VIRGO. One problem discussed was the poor performance of the “marginally stable recycling cavities”. LIGO uses “stable recycling cavities” which are preferred but are much more expensive and require more space. Until this problem is resolved, improved reliable performance of VIRGO will be limited. The collaboration recently stated they will join O4 in March of 2024 even with reduced performance and regardless of whether the noise issues have been resolved.

Recommendations:

VIRGO-1 – The committee supports joining the important O4 science run in March.

VIRGO-2 – A plan for two reviews of VIRGO is underway by EGO, one technical and one regarding organizational challenges. The committee supports these in-depth reviews and would like to be informed of the outcome. Much can be learned from these two reviews in preparation for the Einstein Telescope Project.

Einstein Telescope

Since the discovery of Gravitational Waves (GW) in 2015, LIGO/VIRGO have achieved a range of important results, including the observation of Black Hole (BH) mergers over a wide BH mass range, neutron star mergers, the link between mergers and r-process nucleosynthesis, measurements of the Hubble constant, the confirmation that GW propagate at the speed of light, and constraints on the nuclear equation of state. As the next-generation GW detector, the Einstein Telescope (ET) is a key instrument for exploring the Dark Age of the early Universe. ET addresses a broad science scope, covering the evolution of Black Holes from early Universe until today; primordial Black Holes and the GW background; precision tests of general relativity; Dark Matter & Dark Energy; cosmology; as well as nuclear physics. ET requires significant R&D in interferometer physics and technology, going far beyond the current state of the art. ET will require a complex & challenging technical infrastructure, including the world's largest vacuum system. Italy is proposing Sardinia (Sos Enattos) as site for ET, a region with very low seismic noise.

Towards ET in general and in supporting the Sardinia site candidacy in particular, INFN achieved and reported very impressive progress since last CVI meeting:

- highest levels of the Italian government have pledged demonstrative and highly visible support of the project;
- a high-level Scientific and Technical Committee was formed, advising the ministry;
- a letter of commitment for support of Sardinia ET construction is in preparation;
- a PNRR project is progressing, both supporting the site candidacy, and advancing instrument technology in general;
- supported by EC INFRADEV funding, ET is working towards defining organizational structure;
- via a joint agreement with IFAE, INFN and NIKHEF, CERN became involved in the R&D program for and the design of the ET vacuum system;
- theory engagement is growing, supported via three Iniziative Specifiche (INDARK, NEUMATT, TEONGRAV);
- and the science performance of different instrument configurations has been evaluated for a wide range of science cases.

INFN rightly emphasized that in the increasingly important context of multi-messenger astronomy, the science case of GW instruments continues to evolve, with the ability to localize sources gaining in importance. With this in mind, a configuration with two spatially separated L-shaped interferometers of 15 km arm length is investigated and promoted by INFN as alternative to the 10 km triangle; this configuration provides interesting features, namely (i) improved science performance, in particular regarding source localization; (ii) less challenging implementation (but still requiring technology well beyond current state of the art), reducing the risks; (iii) somewhat higher cost, but the configuration enables a two-site solution and additional funding sources. The CVI considered this a promising approach worth pursuing.

Legal entity and organization of ET are under discussion; the stated current Italian preference for an IGO is plausible, given the experience from SKA (IGO) and CTA (ERIC), and given the various limitations and restrictions of an ERIC. Evidently, ET organization will incorporate the lessons learned from EGO/VIRGO.

Recommendation:

ET-1 – The CVI considers it important to strengthen the dialog between ET and EGO/VIRGO to share knowledge and reduce risks for ET.

DarkSide

Based on its excellent background rejection capabilities, DarkSide aims at providing world-leading limits on interactions of dark matter particles, or their discovery, with sensitivity approaching the neutrino floor. Over the last year, the DarkSide project has made enormous progress. The work and impact of the DarkSide Review Committee (Forti Committee) deserves high praise. The committee – with two major annual meetings and many smaller meetings in between – has proven highly beneficial both for DarkSide and LNGS as a host lab. Major progress was achieved in virtually all areas of DarkSide – most visible is the installation of the huge cryostat in Hall C of LNGS. The project now has reference baseline, a full cost book, and improved project management e.g., including change control procedures. The impressive NOA facility at LNGS is ready and testing of SiPMs is underway, showing excellent yield. The – in the past often difficult – interaction with host lab has much improved. A construction MoU among funding agencies is being signed.

On the other hand, DarkSide introduced significant changes in design and installation procedures at a very late stage, in particular concerning the addition of a heavy neutron shield around the TPC (driven by poor radiopurity of the cryostat foam), a change of argon delivery from gas to liquid (triggered by the lack of Canadian funding for pressurized skids), and a dramatic change of TPC assembly procedure; the TPC is now assembled inside the cryostat. At the time of the CVI meeting, these changes were not fully engineered; construction had started but no detailed installation plan existed. In particular, the revision of TPC assembly procedure raises potential safety issues, with a large number of complex parallel activities in Hall C. The impact of these changes on schedule and cost is not yet fully understood; it needs to be emphasized that the project already has a small funding deficit, and no contingency is available. Other items still on the critical path include Underground Argon extraction and purification, and procurement of the Gd-loaded PMMA. The collaboration was forced to adjust to a different delivery method of the argon from the USA because the original highpressure gas proposal was not funded by the Canadian Foundation for Innovation. A new solution, transporting liquid, is cost effective and should be satisfactory.

DarkSide has been and is stress-testing the system, revealing weaknesses in procedures and interfacing between the host lab and the experiment. While future large experiments are likely more accommodating than DarkSide in this respect, the lessons learned from the DarkSide experience will nevertheless prove beneficial towards better defining and formalising the interaction between the lab and its experiments.

Overall, the DarkSide Review committee and the CVI are reasonably optimistic about the outlook of the project.

Recommendations:

DS-1 – DarkSide currently has a “reference baseline”, but must establish a real baseline asap. DS-2 – Open engineering issues (neutron shield, argon interface, installation scheme) need to be addressed urgently.

DS-3 – The foreseen change control procedures must be followed so that the project, funders, review panels, and lab management are always in sync. The RRB must be involved where funding implications are possible.

DS-4 – With the construction MoU being signed, work should start towards a post-construction MoU, covering commissioning and ultimately operation.

LNGS

The laboratory has a world-leading broad program in particle physics, geophysics, and biology experiments. The laboratory's present and future scientific program and the many projects surrounding the scientific and infrastructure upgrades are well managed.

The laboratory ongoing science program is productive with leading results in dark matter and $0\nu\beta\beta$ decay searches. The activity level is high. Experiments are running well, and the lab is making good progress on all future planned activities. Significant resources are needed to decommission Borexino after a very successful science program. COBRA is also being decommissioned. Unfortunately neither the Lab nor INFN can find a solution to removing LVD. The collaboration is largely nonexistent and a hurdle is that permission from Russia is needed to decommission the detector. Combined with the CUPID experiment, the early indication is that DOE "alternatives" analysis supports Gran Sasso as the preferred location for LEGEND-1000K. This will put the lab in the world leading competitive position for $0\nu\beta\beta$ decay for the next two decades.

Importantly, Darkside-20k, the flagship dark matter search experiment, is making very good progress on all fronts. Comments and recommendations have been noted elsewhere in this report. The 400 m² NOA silicon test and packaging facility is working well. It is presently supporting the large production for Darkside-20k.

Enrico Bellotti facility has been inaugurated and the experimental program with the 3.5 MV accelerator has begun and a call for experiments sent out to the community. The committee congratulates the collaboration for the excellent ongoing work at LUNA 400kV and at Bellotti facility. The facility is a unique facility for nuclear astrophysics in the world and places the lab in a leading position. Eventually the 400 KV machine will move to Bellotti facility after a potential upgrade.

Significant funds have been made available by the government (from the Italian National Recovery and Resilience Plan (PNRR)) in improving laboratory infrastructure, 12 infrastructure packages in total. Two of the new infrastructure facilities are in Hall B, STELLA (Sub Terranean Low Level Assay), and the Cryo-platform, which contains two dilution refrigerators for testing of detectors. A new large central liquid nitrogen production plant will be constructed to serve multiple users. A new computer facility will come to LNGS and will be a node in the national system.

Recommendation:

LNGS-1 – The committee recommends that INFN should carefully consider more staff resources to LNGS to ensure the growing program of complex big projects are well supported.

LNF

The 2023 budget for LNF is 53 M€, including 21 M€ from the PNRR, which is a significant increase compared to previous years. The budget excludes electricity costs and salaries. After several years of decreasing numbers, the CVI notes the increase of LNF's personnel numbers for researchers and engineers. To engage more technicians, a fruitful collaboration was started in 2021 with a technical school in the region. Students come to the laboratory for internships, while LNF researchers go teaching at the school. Very recently, the first technicians trained in the context of this collaboration have been hired by INFN. Attracting ICT profiles remains a challenge and therefore an important point of attention for the lab in light of the implementation of a new computing center.

The DAFNE complex has been running smoothly and continues to successfully deliver beams to impactful experiments, i.e., the SIDDHARTA-2 experiment and the PADME experiment, and to beam test facilities. In the transition to the future EuPRAXIA, the LNF management must develop a transition plan including considerations for the current DAFNE program.

INFN has an important ambition to develop advanced plasma-based accelerator technology. The headquarters of the multinational EuPRAXIA initiative will be located at LNF, demonstrating LNF's commitment to a successful implementation. In addition to the allocated budget of 108 M€ to EuPRAXIA, the laboratory has received the authorization for the construction of the buildings and the process of writing the TDR has started. The CVI congratulates the LNF management on the very significant progress for EuPRAXIA@SPARC_LAB on all fronts, i.e., in the area of authorization, construction, design, and the establishment of a committee to review in 2023 the cost-and-schedule on the basis of the draft TDR. EuAPS (Advanced Photon Source) has received PNRR support of 22.3 M€ (INFN + CNR), mostly for the construction of the betatron source, but the implementation is on a tight schedule.

Recommendation:

LNF-1 – *The CVI recommends the INFN and LNF management to continue their focus on a timely and successful implementation of the EuPRAXIA flagship infrastructure.*

Milano-LASA and PNRR IRIS

Milano-LASA is an International Excellence Particle Accelerator Technology Center with more than thirty years of experience, operated jointly by University of Milan and INFN. It has a longstanding tradition of activities in the field of innovative acceleration schemes, applications of superconductivity with the main expertise in magnets and SRF cavities for fundamental science and societal applications. Furthermore, it has strong links with industrial partners and an effective transfer of know-how.

Among the major recent international achievements, one should mention ATLAS superconducting toroid as well as superconducting (SC) cavities for TESLA, XFEL and ESS. On 17th of February the last in-kind magnet (out of the 54 corrector magnets) was tested and delivered by INFN (MilanoLASA) to CERN, with a ceremony at LASA to celebrate the event. Assembly and test as cold mass is being underway. The contract has been extended to allow INFN to participate to the commissioning in next years with a value of the project 3.5 M€ INFN + 3.5 M€ CERN. The human

capital at MilanoLASA has been enlarged by PNRR funds (IRIS) for both partners, reaching 40 members from INFN (11 PNRR) and 13 from U. of Milan (6 PNRR).

Profiting from the PNRR program, the IRIS (Innovative Research Infrastructure on applied Superconductivity) program responded to a call by the MUR Ministry under the "Recovery Funds" to create a new distributed infrastructure in applied superconductivity in Italy by utilizing existing infrastructures, competences, skills and by expanding them with new laboratories. The six poles for the new or renewed infrastructures are Frascati (INFN), Genova (INFN, CNR-Spin, UniGE), Napoli (UniNA), Lecce (UniSalento), Salerno (INFN e UniSA) and with Milano (LASA e UNIMI) as the coordinator of the program. The IRIS Scientific and Technological goals include: the building and testing of a low consumption demo MgB_2 HTS transmission line $L=140m$, at $T=20$ K. Setting up an International Excellence Centre (Salerno) for High Power SC cables testing. To perform R&D on ReBCO HTS: dipoles for future HF magnet applications for next generation HEP machines (e.g., FCC-hh). To build demo HTS magnets for low energy consumption. In addition, they plan to train the new generation of scientists/technicians. In fact, in the first of these schools they had 61 participants demonstrating the importance and interest of these training activities.

In the last 3 years, there has been a renewed interest of INFN in supporting and consolidating the international role of LASA by identifying areas for which LASA may play the role of a INFN "National Centre". As part of the PNRR-IRIS program and with a significant contribution of INFN in 2023, the construction of an extension based on two laboratories will begin within the LASA premises: one called SML (Superconducting Magnet Laboratory) and the other AATF (Advanced Accelerator Test Facility) for a total of 2100 m² spread over an underground bunker and two external floors. The shielded bunker should be capable of hosting high current small e-LINACs and/or ERL demonstrators. These new laboratories will be available in 2025, together with a refurbishment of old LASA electric and fluid services. The other PNRR funds will be used to increase the staff (long term). These activities will have important societal impacts on the environment by the development of energy saving magnets and energy transport at "zero emission". Similarly, applications in heavy ion therapy by enabling a rotatable gantry and/or compact gantry with SC magnet. At the core of the mission of INFN the developments of prototypes and test of HTS for next generation colliders.

The IRIS project is very advanced with more than 50% of the budget already spent and more than 75% of the personnel hired. The advisory committee for the IRIS program is chaired by F. Bordry and already met in May 2023. The construction phase finishes in 2025, and an operation of a minimum of ten years is expected. The ambition is that the Research Infrastructure (IR) should be partially selffinancing (economic sustainability), with 50% operational money from participating institutes continuing supporting the IR beyond the end of PNRR and the other 50% from external funding from special funds of INFN and /or Minister (MUR) as well as from competitive projects, EU projects, international projects, collaborations with CERN, CEA, etc. Due to the close relations of MilanoLASA with the local industry, contracts with industry, for instance for fusion programs or high-power lines, are expected.

Recommendation:

MLASA-1 – *The combined program is attractive and at the same time aggressive, the CVI recommends to INFN to verify whether they have enough capacity to accomplish the full program.*

Computing Services and ICSC

INFN has addressed its growing need of computing power with a two-pronged approach: in the short term its main data center will move to a new hall in the Tecnopolo Bologna, jointly operated with CINECA, which is undergoing a significant upgrade of space and capacity; in 2026 a major transformation of its data centers and communication network will take place within the context of a broader PNRR project called ICSC.

The short-term upgrade is projected to expand computing capacity in the Tecnopolo center. Current INFN center is limited at 1.6 MW and will transfer to a new, shared center reaching a capacity of 16 MW in 2023-2026, and then expanding to 24 MW, of which 10 MW will be available for INFN, effectively increasing its resources by a factor of six. The project, after some 6-months delay due to component shortages, is expected to reach its first milestone by the end of 2023, with the opening of the INFN dedicated hall in the Tecnopolo center.

The ICSC initiative is part of a broader PNRR program devoted to the development of 5 “strategic centers” for research. All initiatives are developed with a so-called “hub and spoke” model, with the hub acting as a center responsible for planning, disbursing the funds and monitoring the research initiatives carried forward by the spokes.

The ICSC hub is jointly operated by INFN and CINECA, while the 11 spokes include spoke 0, for the development of the data center and Terabit communication network, spoke 1, for the planning of the future architecture of the infrastructure and 9 “vertical” spokes, dedicated to specific, computation-intensive disciplines, including material sciences, in-silico medical applications, space and cosmos observation and quantum computing.

INFN has an overall leading role as manager of the hub, as well as leader in developing the data center infrastructure and the Terabit network, plus involvement in 4 out of 9 vertical spokes.

Implementation of investments in the infrastructure spoke seems to be well under way, in line to complete the tendering process by year end 2023; out of 120 M€ of foreseen tenders more than 80% of tenders have already been launched.

The INFN role as manager of the hub has successfully addressed the short-term issue of writing the contracts with spokes to disburse the funds.

One of the most important issues from the strategic viewpoint is the economic sustainability of the program and infrastructure beyond 2026. INFN envisaged a preliminary sizing of resources needed and a potential identification of their sources for a total of 58 M€ per year. This figure has updated the initial estimate of 50 M€, also including 12 M€ to fund for innovation projects as well as the renewal of infrastructure.

These projections, however, have yet to be supported by a comprehensive action plan. A person has been appointed within the hub structure as business development manager, to develop partnerships with private sector and progress in this direction.

The spokes have the task to develop research projects in their specific field of applications and they are doing so also by receiving proposals from the private sector, from companies who joined the spoke as partners, and pay a fixed yearly fee for participating to the spoke activity, as well as from calls open to external entities.

The spokes have received a total of 42 proposals from 10 of their private partners. PNRR funds will be used to pay most of the cost sustained by the spokes for this activity (about 15 M€ out of 19 M€). Private partners are contributing to the development of projects with own resources in kind, to an unknown extent (besides paying the yearly fees).

The role of INFN in ICSC requires addressing two distinct challenges, beyond the execution of buildout of infrastructure for spoke 0 and the disbursing of funds to the other spokes and the supervision of their programs:

- develop an actionable program for the sustainability of the hub beyond 2026,
- and to make sure that the development of the other spokes (where INFN is not leader) will provide opportunities that also benefit the INFN-led hub and Spoke 0, while protecting INFN's reputation as overall leader of the program.

The first challenge shows only initial progress from last CVI meeting. Developing a plan for funding future infrastructure will require relationships with potential users to secure revenues, which is still in the initial stage.

The second challenge will become more complex as the research program of the individual spokes grow. A particularly delicate element is the need to make sure that an appropriate balance of public and private interests is achieved in the development of projects proposals involving private sector entities. This issue is present both for the proposals presented by the spoke partners as well as for those accepted in the open calls. It calls for competencies and expertise which are not typical of INFN, that has been so far acting mainly as a recipient of public funds for research, not as an entity allocating them also to private sector.

Recommendations:

CS-1 – *Expand the task of the person in charge of business development beyond exploring the partnership issue, requesting the development of a full-fledged business plan (i.e., cost and revenue) for operations after 2026, including services provided to other research institutions.*

CS-2 – *Develop a framework for evaluating the sharing of benefits and costs for private and public partners in the cooperations developed by spokes. Make sure that the logic for project selection and the contractual obligations for resource contributions and IP utilizations are consistent with a proper balancing of benefits and costs between the parties.*