

EXECUTIVE SUMMARY

Il Piano Triennale 2022-2024 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni. È costruito per descrivere in modo sintetico e operativo le risorse e i finanziamenti legati sia all'attività di base dell'Istituto (la Missione) che ai progetti speciali. Una [pagina web](#) dedicata ai Piani Triennali mette a disposizione online tutti i documenti e le schede delle attività e dei progetti. L'accesso alla pagina richiede un account Microsoft personale o aziendale (se necessario può essere ottenuto [qui](#)).

Ricordiamo le principali caratteristiche dell'Ente:

- Una missione molto chiara: forte compattezza della comunità con conseguente grande efficienza dei progetti.
- Rapporto strettissimo con le università con una diffusione capillare delle nostre Strutture sul territorio nazionale.
- Auto-governo responsabile: rappresentatività della comunità e controllo MUR in buon equilibrio e una gestione interna fortemente orientata dalla scienza. Nell'INFN, oltre all'ampio coinvolgimento del personale di ricerca negli organi di governo, il modello di gestione e organizzazione, simile ad altri utilizzati dalla ricerca a livello internazionale, prevede la partecipazione e il contributo continuo della comunità scientifica: proposte provenienti da tutta la comunità, revisione e controllo ex-post dei pari, pianificazione degli obiettivi scientifici e delle risorse da parte di organi rappresentativi della comunità scientifica.
- Eccellente capacità di formazione a livello di lauree, dottorati (circa il 50% delle tesi di dottorato in fisica) e attività *post-doc*.
- Attività e infrastrutture di ricerca scientificamente attraenti anche per studiosi, in particolare giovani provenienti dall'estero, come dimostra il successo del programma annuale di borse *post-doc* per stranieri.
- Ricerca che si svolge in gran parte nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali in cui rivestiamo ruoli di primo piano. Siamo tra i leader del CERN, il più grande laboratorio mondiale di fisica delle alte energie. Abbiamo i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), il laboratorio sotterraneo più grande e più facilmente accessibile del mondo con un'utenza fortemente internazionalizzata e il consorzio EGO (in compartecipazione con il CNRS francese e il NIKHEF olandese) a Cascina (Pisa), dove si svolge VIRGO, esperimento di straordinario successo nella ricerca delle onde gravitazionali.
- Infrastrutture di ricerca proprie: oltre ai LNGS, altri tre grandi laboratori, i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) e i Laboratori Nazionali del Sud (LNS), in grado di portare avanti ricerca di eccellenza e allo stesso tempo permettere la formazione di giovani di assoluto valore. Tutti questi laboratori hanno in corso piani di potenziamento, alimentati da fondi europei, nazionali e regionali, che prevedono la costruzione di nuove *facility* di livello internazionale in vari campi di ricerca e applicativi.
- Ricadute di utilità sociale e trasferimento tecnologico: le nostre ricerche fanno uso e richiedono lo sviluppo di tecnologie avanzate insieme al mantenimento di know-how. Queste trovano naturale applicazione a temi di alta utilità sociale: beni culturali, *cloud computing* e calcolo *HPC*, *quantum technologies*, adroterapia e strumentazione di diagnostica medica, produzione di radioisotopi per la farmaceutica e molto altro.
- Attività di terza missione, *public engagement* e alta formazione, coordinate a livello nazionale e presenti nelle Strutture sul territorio.
- Sistema di autovalutazione con la collaborazione di un Comitato di Valutazione Internazionale previsto dallo Statuto.

L'anno appena trascorso ha visto l'attribuzione del premio Nobel per la fisica a Giorgio Parisi per le sue ricerche teoriche sui sistemi complessi. Ci congratuliamo con Giorgio per questo importante riconoscimento che ha un impatto estremamente positivo su tutta la ricerca italiana e in particolare sulla fisica.

Quest'anno LHC torna a prendere dati: lavoreremo per produrre nuovi risultati all'altezza di quelli già ottenuti, mentre prepariamo la prossima fase HL-LHC ad alta luminosità e iniziamo a pensare alla prossima generazione di acceleratori, sia con FCC (*Future Circular Collider*) che con il *muon collider*.

Mentre Virgo continua a vedere eventi cosmici osservando le onde gravitazionali, stiamo lavorando per ospitare *Einstein Telescope*, l'interferometro europeo di prossima generazione, in Italia.

Abbiamo prodotto un notevole sforzo progettuale per rispondere alle call del PNRR: siamo i proponenti del Centro Nazionale di Supercalcolo, *Big Data* e *Quantum Computing* e partecipiamo al Centro Nazionale sulla Biodiversità. Abbiamo proposto il potenziamento di tutte le nostre infrastrutture di ricerca presenti nella *roadmap* di ESFRI: *Einstein Telescope*, KM3NeT a LNS, EuPRAXIA a LNF, i LNGS con gli esperimenti di materia oscura e doppio decadimento beta senza neutrini, la superconduttività al LASA e siamo partner di molte altre attività. La sfida dei prossimi anni sarà riuscire a gestire nel breve tempo a disposizione le notevoli risorse finanziarie e di personale messe a disposizione dal PNRR per conseguire gli obiettivi prefissati. Ai LNL è in fase di completamento la messa a punto dell'acceleratore SPES, al servizio della ricerca nucleare di base, l'astrofisica nucleare, e con potenzialità straordinarie per la produzione di radiofarmaci. Continuano anche le nostre attività nell'adroterapia, al TIFPA, a LNS e in collaborazione con il CNAO, mentre la rete CHNET, con il LABEC, prosegue con successo l'applicazione del nostro know-how ai beni culturali.

Stiamo chiudendo le celebrazioni per i nostri 70 anni con un bilancio molto positivo: abbiamo organizzato eventi per il pubblico in tutta Italia per far conoscere la nostra storia e le nostre ricerche.

LE RISORSE FINANZIARIE

Il bilancio dell'ente si compone delle seguenti entrate:

- a) il FOE (Fondo di Finanziamento Ordinario) erogato dal MUR;
- b) gli ulteriori finanziamenti straordinari statali previsti dalla Legge di bilancio o da provvedimenti normativi d'urgenza;
- c) i finanziamenti per progetti esterni di ricerca o tecnologici provenienti da diverse fonti;
- d) in via del tutto residuale, i proventi dall'attività di trasferimento tecnologico.

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 tendono ad un incremento. In particolare, si è registrato un aumento delle entrate destinate all'assunzione di nuovo personale a cui dovrebbe seguire e consolidarsi un aumento delle entrate per spese di ricerca. Di contro si è avuto un incremento altalenante delle entrate con vincolo di destinazione e delle entrate per progetti esterni; queste ultime si riferiscono a fondi destinati a progetti di ricerca o tecnologici di durata pluriennale provenienti da diverse fonti, tra cui i fondi dei programmi europei, i fondi regionali (PON e POR) e i fondi per lo sviluppo infrastrutturale. Il modello di finanziamento rimane un elemento di criticità: l'attribuzione su base annuale dei finanziamenti non è funzionale alla programmazione, soprattutto in un contesto di ricerca e specialmente in rapporto alle realtà internazionali, in cui la programmazione avviene tipicamente su base pluriennale.

Oltre al FOE, l'INFN negli ultimi anni ha visto un'assegnazione di finanziamenti a carattere straordinario che hanno riguardato tutta la ricerca nazionale, in particolare per l'assunzione di nuovi ricercatori e tecnologi, la stabilizzazione del personale a tempo determinato e le misure di contrasto alla pandemia di COVID-19, oltre al potenziamento delle infrastrutture di ricerca.

L'Istituto è, inoltre, attivo – sia a livello centrale, da parte delle Commissioni Scientifiche Nazionali 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 dello Stato (Unione Europea, Regioni, ASI, altri enti di ricerca, privati).

Per quanto riguarda le spese, le previsioni per l'anno 2022 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. 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 2022 e non ha valore autorizzativo.

Nella Tabella 2.4 del PTA 2022-24 viene rappresentata la previsione finanziaria pluriennale di spesa per il triennio 2022-2024.

LE RISORSE DI PERSONALE

Nel 2022 è previsto l'ingresso di oltre 150 giovani ricercatori e tecnologi, attraverso il finanziamento straordinario previsto dal decreto Rilancio e assegnato nel DM 802/2020. Pur essendo un risultato positivo, sarebbe preferibile per l'Istituto poter contare su risorse per il reclutamento certe e definite su base pluriennale, in modo da poter avere una programmazione sul lungo periodo dei concorsi e delle progressioni, invece di piani straordinari concentrati nel tempo. Abbiamo previsto 90 posizioni volte a riequilibrare la popolazione del primo e secondo livello dei profili di ricercatore e tecnologo in modo da disporre di personale con un inquadramento adeguato a ricoprire ruoli di responsabilità, anche nel contesto internazionale, all'interno della nostra strategia che prevede l'alternarsi su base biennale di nuovi concorsi e progressioni di carriera ex art. 15 del CCNL 7/4/2006 per ciascun livello, al fine di mantenere le popolazioni in rapporti costanti e funzionali all'attività dell'Istituto. I dettagli di questa strategia potrebbero essere però rivisti nel corso di quest'anno in base ai risultati della riforma del preuolo universitario e degli EPR attualmente in discussione in Parlamento.

Per quanto riguarda il personale tecnico-amministrativo, nel corso del 2022 l'Ente intende garantire il turn over al 100%. Si sta valutando un intervento straordinario, da definire a valle dell'ingresso dei nuovi ricercatori e tecnologi, volto al riequilibrio della popolazione dei livelli IV-VIII in rapporto ai livelli I-III, in funzione delle esigenze operative dell'Istituto e tenendo anche conto del personale previsto dai progetti finanziati dal PNRR. Sempre nel corso dell'anno, sono previste 188 progressioni economiche ex art. 53 del CCNL 21/2/2002 e 39 passaggi orizzontali ex artt. 52 e 65 CCNL 21/2/2002.

Le Tabelle 3.2 e 3.3 del PTA 2022-24 riportano il dettaglio del fabbisogno del personale per l'anno 2022 separato in nuove assunzioni e progressioni. I dati sono riassunti nella Tabella 3.4 che include anche le cessazioni previste durante l'anno. Le previsioni del fabbisogno di personale e le politiche di sviluppo professionale per gli anni 2023 e 2024 sono illustrate dalle Tabelle 3.5 e 3.6.

L'attenzione all'organizzazione del lavoro, l'integrazione della dimensione di genere e l'attuazione

delle pari opportunità nella ricerca 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, sono alla base del Piani Triennali di Azioni Positive (PTAP) che l'Ente adotta dal 2002 tramite il [CUG](#) (Comitato Unico di Garanzia).

GLI OBIETTIVI GESTIONALI E ORGANIZZATIVI

Nel prossimo triennio si ritiene prioritario rendere più efficienti e completi i sistemi di gestionali di supporto agendo su:

- l'integrazione del software di gestione dei preventivi scientifici con i dati dei consuntivi al termine dell'anno finanziario;
- l'utilizzo di strumenti avanzati di "*project management*" per seguire su base pluriennale l'evoluzione dei progetti, la gestione delle risorse umane e strumentali e gli impegni finanziari;
- il completamento del riordino della Direzione ai Servizi alla Ricerca.

L'attenzione al personale da parte dell'Ente è sempre stata massima e l'analisi delle criticità gestionali è sempre stata costante. In particolare, nei prossimi anni si provvederà:

- all'aggiornamento del sistema di gestione degli emolumenti del personale in tutti gli aspetti, inclusa la fase di passaggio in quiescenza;
- all'informatizzare definitivamente le pratiche concorsuali, inclusa la fase di presentazione delle domande da parte dei candidati;
- al perfezionamento e all'adattamento delle pratiche di valutazione delle performance gestionale ed amministrativa alle esigenze dell'Istituto, ed all'utilizzo di appositi applicativi per la gestione completa del ciclo della performance.

Le notevoli quantità di documenti generati dalle attività dell'Istituto richiedono inoltre:

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

L'ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

L'attività di ricerca sperimentale, tecnologica e teorica è condotta nell'ambito di cinque commissioni scientifiche nazionali (CSN) e si svolge nelle Sezioni INFN, nei laboratori nazionali e in diversi laboratori internazionali, in collaborazione con l'Università e altri Enti di ricerca. La pandemia di COVID-19 ha indubbiamente complicato le attività di ricerca, limitando gli spostamenti dei ricercatori nei siti sperimentali e ritardando spesso i tempi di consegna dei beni acquistati. Ciononostante, sono stati fatti significativi progressi sia nel potenziamento dei rivelatori sia nell'analisi dei dati e nella pubblicazione dei risultati, rispettando nella quasi totalità dei casi le tempistiche stabilite dagli accordi a livello nazionale e internazionale.

A LHC, l'INFN partecipa a quattro grandi esperimenti: due *general purpose*, ATLAS e CMS, l'esperimento LHCb, dedicato agli studi sul flavour e ALICE, dedicato allo studio del quark-gluon plasma. Nel biennio 2020-2021, gli esperimenti a LHC sono stati fortemente impegnati sia nell'analisi dei dati raccolti sia nelle operazioni legate al secondo *long shutdown* (LS2). Gli apparati sperimentali sono stati sottoposti a un intenso programma di manutenzione e consolidamento, che ha visto l'installazione di nuovi rivelatori per i prossimi *run*, con importanti responsabilità assunte dall'INFN. ATLAS e CMS, dopo aver raccolto dati all'energia nel centro di massa di 13 TeV durante il Run 2 (2015-2018), hanno completato le "pubblicazioni chiave" sulla fisica e sulla performance dei rivelatori durante la presa dati. Circa metà dei nuovi risultati pubblicati riguardano misure sul modello Standard e la caratterizzazione del bosone di Higgs, mentre gli altri risultati sono concentrati sullo studio delle interazioni tra ioni pesanti e la ricerca di nuova fisica. Tra i risultati nell'ambito degli studi sul bosone di Higgs, degna di nota è l'evidenza del decadimento del bosone di Higgs in una coppia di muoni. LHCb nel 2021 ha pubblicato diverse decine di lavori, che trattano misure della violazione di CP, della misura dei parametri CKM o decadimenti rari e della prima osservazione di nuovi stati.

Per quanto riguarda il prossimo triennio, la ripresa delle collisioni a LHC del CERN, dopo tre anni di manutenzione e miglioramento della macchina e degli apparati sperimentali, rappresenta un'importante opportunità per la fisica delle particelle alla frontiera delle alte energie. Gli esperimenti ATLAS e CMS triplicheranno la mole di dati a disposizione, approfondendo gli studi dettagliati delle proprietà del bosone di Higgs. L'esperimento LHCb, completamente rinnovato, sarà in grado di studiare con grande precisione le proprietà del quark beauty, aumentando di un fattore sei la quantità di dati raccolti e permettendo di chiarire se anomalie riscontrate nel decadimento degli adroni con beauty siano effettivamente presenti. Nuove informazioni in questo campo arriveranno anche dai primi dati dell'esperimento MEG al *Paul Scherrer Institute* (Svizzera), in cui fisici dell'INFN cercano di evidenziare possibili rari decadimenti del muone in elettrone e fotone, e che entrerà in funzione entro il 2022. Il momento magnetico anomalo del muone sarà misurato con grande precisione dall'esperimento *g-2* a Fermilab (USA), con una statistica quindici volte superiore a quella utilizzata dall'esperimento precedente: dati preliminari sembrano indicare una deviazione con le previsioni teoriche per questo importante parametro. Nei prossimi tre anni dati importanti sulle proprietà dei quark beauty e charm arriveranno anche, rispettivamente, dall'esperimento Belle2 a KEK (Giappone) e BES III a IHEP (Cina).

Una parte importante delle attività nella fisica delle alte energie condotte tramite acceleratori, si concentra sulla preparazione del futuro, inclusi i relativi R&D. Sono state ufficialmente aperte due nuove linee di studio e di attività, una riguardante il *Future Circular Collider* (FCC) al CERN e l'altro sul futuro Muon Collider. FCC è basato su un nuovo tunnel circolare lungo 100 km nell'area CERN, che ospiterà in una prima fase un collider circolare e^+e^- (FCC-ee), che rappresenta una *factory* di Higgs e di interazioni per lo studio della fisica elettrodebole, seguito poi da un collisionatore di adroni (FCC-hh) a un'energia nel centro di massa di 100 TeV.

La fisica astroparticellare include diverse linee di ricerca, che si svolgono nello spazio, nei laboratori sotterranei e in quelli sottomarini. Gli esperimenti mirano a dare una risposta alle questioni più rilevanti del settore: la natura della materia oscura, l'origine della radiazione cosmica, la natura del neutrino, la mappa delle sorgenti astrofisiche di particelle e le proprietà delle onde gravitazionali. Molte delle attività sono condotte in stretta collaborazione sia con l'Università sia con altri enti di ricerca, come INAF e con l'ASI.

Per quanto riguarda l'attività svolta nel 2021, FERMI ha pubblicato il primo catalogo di *Solar Flare* mentre AMS2 ha festeggiato i 10 anni di attività sulla ISS. AUGER ha quasi ultimato l'*upgrade* del rivelatore e pubblicato risultati ancora più precisi dello spettro dei raggi cosmici nella regione del *cut-*

off GZK, per ciò che riguarda lo studio della radiazione cosmica. Un risultato di notevole importanza è rappresentato dagli sviluppi di KM3NeT, che ha proceduto all'installazione di 8 nuove unità (stringhe) con le quali ha iniziato a raccogliere i primi dati sui neutrini astrofisici di alta energia. Per la ricerca della materia oscura il 2021 ha visto l'inizio della presa dati di XENONnT ai LNGS. Sempre in questi laboratori INFN, nella ricerca del decadimento doppio beta, CUORE ricopre una posizione di rilievo a livello internazionale: l'esperimento continua ininterrottamente la presa dati dal 2017 ed è l'unico esperimento ad aver superato un'esposizione di oltre 1 ton x anno per la ricerca di questo decadimento. Vanno infine ricordati gli straordinari risultati di VIRGO sull'osservazione delle onde gravitazionali che, oltre ad aver spronato l'interesse per l'astrofisica multi-messaggero, stanno sottolineando l'importanza di allargare lo spettro di osservazione delle onde gravitazionali per poter accedere a informazioni dal cosmo impensabili fino a pochi anni fa. VIRGO ha ultimato nel corso del 2021 l'analisi della prima parte del run O3 portando alla luce una serie di nuovi risultati importanti (e spesso inaspettati) sulla natura degli eventi astrofisici più catastrofici come le fusioni di buchi neri e stelle di neutroni.

Per quanto riguarda gli scenari futuri, la Sardegna è il sito italiano supportato dall'INFN per la terza generazione di interferometri a terra per questo tipo di studi, con lo sviluppo del progetto Einstein Telescope (ET).

Di particolare importanza sono inoltre gli sviluppi nella ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini. Nello scenario internazionale sono previsti nei prossimi anni tre nuovi rivelatori: CUPID, LEGEND-1000 e nEXO. L'impegno dell'INFN è ospitare due di questi rivelatori presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, mantenendo quindi la leadership in questo settore, conquistata con gli esperimenti CUORE e GERDA.

Le ricerche nell'ambito della fisica nucleare sono effettuate con esperimenti che operano in diversi laboratori internazionali (CERN, GSI, GANIL, JLAB, TRIUMF), ma con una speciale attenzione verso i laboratori italiani dell'INFN. Al CERN l'esperimento ALICE a LHC ha completato l'installazione e i controlli operativi dei nuovi rivelatori che permetteranno di aumentare di un fattore 100 la statistica a disposizione. Numerosi sono i risultati pubblicati nel 2021, in particolare una serie di confronti sistematici in ambito QCD delle strutture dei getti e dei meccanismi di produzione e adronizzazione in sistemi di collisioni grandi come Pb-Pb e piccoli come pp e p-Pb. La veloce approvazione CD1 dell'Electron Ion Collider (EIC) negli Stati Uniti è stata accompagnata dalla decisione dei gruppi italiani di concentrare gli sforzi su una singola proposta di rivelatore. Per quanto riguarda le applicazioni della fisica nucleare, l'esperimento FOOT è stato impegnato in una serie di misure di sezioni d'urto presso il GSI e il CNAO (Pavia) di interesse medico per l'adroterapia e nello studio di materiali adatti agli schermi di protezione dai raggi cosmici per gli astronauti durante le future missioni spaziali.

Nel periodo 2022-2025 presso i LNL e LNS, con il completamento degli acceleratori dei progetti SPES e POTLNS, saranno disponibili nuovi fasci stabili e radioattivi, e inizieranno le campagne di misura per diversi esperimenti, fra i quali AGATA, ASFIN, NUMEN, NUCLEX e CHIRONE. Ai LNS entrerà in funzione l'infrastruttura PANDORA con una trappola per plasmi unica al mondo per dimensioni e prestazioni e inizieranno le misure dei decadimenti nucleari in ambiente simile a quello stellare. Ai LNGS entrerà in funzione il nuovo acceleratore LUNA-MV e inizieranno un serie di misure di sezioni d'urto di interesse in astrofisica nucleare. Ai LNF SIDDHARTA-2 completerà le misure sul sistema K-deuterio. Negli USA, oltre al proseguimento delle misure presso JLAB, EIC a BNL vedrà la selezione degli esperimenti e il via alla loro finalizzazione: numerosi saranno i gruppi italiani coinvolti. L'esperimento ALICE a LHC parteciperà alla presa dati del *Run 3* dopo il lungo lavoro di *upgrade* e *commissioning* del rivelatore. Sempre al CERN, l'esperimento n_TOF, dopo un importante *upgrade* del rivelatore e la disponibilità di una nuova linea di fascio ad alta intensità,

proseguirà le misure legate ai processi di interesse per l'astrofisica nucleare o per l'energia nucleare. L'apparato FOOT sarà completato e inizierà una campagna di misure di precisione sia al CNAO sia in altri laboratori esteri (HIT e GSI).

Una rilevante frazione della ricerca in fisica teorica è fortemente legata alla ricerca sperimentale, condotta dall'INFN nel campo della fisica delle particelle, della fisica nucleare e dell'astrofisica. Durante il 2021 la comunità teorica è stata organizzata in 35 progetti di ricerca (Iniziative Specifiche), finalizzate alla partecipazione a collaborazioni scientifiche e a sinergie tra diverse unità di ricerca. La precisione raggiunta negli esperimenti condotti a LHC e le proiezioni per i futuri *run* ad alta luminosità hanno dato un vigoroso impulso allo studio di tecniche di calcolo sempre più raffinate e alla recente realizzazione di strumenti computazionali adatti a un confronto significativo tra predizioni teoriche e dati sperimentali. Si segnalano, in particolare, gli studi dedicati alle analisi dei dati dell'esperimento LHCb concernenti possibili violazioni dell'universalità leptonica. Nell'ambito degli studi sui futuri collider con fasci leptonici, si sottolineano i risultati ottenuti nelle analisi del potenziale di fisica (di scoperta e di studio del bosone di Higgs) di tali acceleratori. Nel campo della fisica nucleare si segnalano le attività teoriche connesse con lo sviluppo del progetto EIC e le attività relative all'interpretazione dei risultati dell'esperimento ALICE sulla materia adronica ad alta temperatura e densità. Dopo la recente scoperta agli interferometri LIGO e VIRGO di segnali prodotti dalla propagazione di onde gravitazionali, le ricerche dei fisici teorici hanno visto un notevole sviluppo, consolidato anche nel corso del 2021, nello studio delle sorgenti di tali segnali.

Le attività teoriche nel prossimo triennio si svilupperanno secondo i numerosi filoni di ricerca attualmente in corso. Sul fronte dell'interpretazione dei dati sperimentali, in un approccio di tipo *bottom-up*, si prevedono sviluppi importanti nella conoscenza delle teorie di campo "efficaci", volte a una comprensione dei dati sperimentali globale e indipendente dal modello, nella ricerca di possibili manifestazioni di fisica oltre la teoria standard, che costituisce l'attuale paradigma di riferimento. Grande attenzione sarà rivolta ai prossimi sviluppi delle misure del momento magnetico anomalo del muone, con importanti contributi indipendenti e complementari da parte della comunità dei fisici teorici per ottenere le migliori predizioni teoriche di questa quantità fondamentale ed eventuali indicazioni su possibili estensioni della teoria standard. Nell'ambito delle ricerche teoriche in fisica nucleare e adronica, si prevede un particolare impulso alle attività connesse con lo sviluppo del progetto americano EIC, alle attività relative all'interpretazione dei risultati dell'esperimento ALICE e, infine, all'astrofisica nucleare. Sulla base dei recenti e futuri sviluppi connessi con la rivelazione delle onde gravitazionali, avanzamenti significativi sono attesi, dal punto di vista fenomenologico, nella comprensione teorica delle sorgenti di onde gravitazionali e delle loro connessioni con altre forme di radiazione di origine astrofisica in un contesto multi-messaggero. Utilizzando i risultati di grande precisione delle *survey* cosmologiche da esperimenti nello spazio, si prevedono progressi significativi nello studio teorico della natura della materia ed energia oscura in relazione al modello cosmologico di riferimento Λ CDM e sue estensioni e possibili interpretazioni in termini di particelle elementari. A questi sviluppi di tipo *bottom-up*, che partono dall'interpretazione dei risultati sperimentali in corso di sviluppo, si affiancherà l'approccio di tipo *top-down* che, partendo dalla teoria delle stringhe come schema coerente per l'unificazione a livello quantistico delle forze fondamentali, delimita le possibili teorie effettive utili per predizioni teoriche verificabili in linea di principio con i dati delle osservazioni cosmologiche. Infine, si prevede un grande impulso alle ricerche teoriche connesse con lo sviluppo dei progetti legati alle tecnologie quantistiche, con particolare riferimento ad algoritmi di computazione quantistica.

La ricerca tecnologica e interdisciplinare riveste un ruolo di primaria importanza nell'INFN sia per avviare gli R&D necessari allo sviluppo delle tecnologie necessarie per i futuri esperimenti, sia per finalizzare l'attenzione dell'INFN verso la società civile in applicazioni concrete.

Durante la pandemia di Covid-19, c'è stato un notevole sforzo per identificare aree dove le conoscenze e l'esperienza in questo settore potevano dare un aiuto significativo. In particolare, possiamo citare il caso degli esperimenti AIM e PLANET. L'esperimento AIM (*Artificial Intelligence in Medicine*), dedicato allo sviluppo di nuove tecniche di Radiomica e *Machine Learning* applicati al *Medical Imaging* per la diagnostica medica e il trattamento, ha creato un pacchetto software, *LungQuant*, per l'identificazione di lesioni da Covid-19. Attualmente è in corso la validazione del pacchetto in collaborazione con cinque dipartimenti di radiologia. Il progetto PLANET (*Pollution Lake ANalysis for Effective Therapy*) è una collaborazione tra INFN e la comunità medica dell'Università di Perugia per lo studio della correlazione fra inquinamento atmosferico e l'infezione da Covid-19.

Tra le varie attività, risultati particolarmente importanti sono stati ottenuti da TIMESPOT che sviluppa un tracciatore al silicio in tecnologia 28 nm, con risoluzione temporale dell'ordine di 10 ps per esperimenti agli acceleratori del futuro; NEPTUNE, un progetto per estendere ulteriormente le conoscenze nel campo dell'adroterapia con protoni; FIRE per lo studio di rivelatori organici flessibili per la dosimetria in tempo reale durante i trattamenti radioterapici; SIG per lo sviluppo di magneti superconduttori da utilizzare nelle *gantry* di fasci di ioni pesanti per l'adroterapia; LPA2 per lo sviluppo di bersagli organici per acceleratori *laser driven* per adroterapia e FRIDA per lo studio del metodo *flash-therapy* di trattamento del cancro. Numerose iniziative sono inoltre in corso nell'ambito delle tecnologie quantistiche (QUB-IT, DART-WARS, QUANTEP e ICS4ME).

Nei prossimi tre anni si prevede di sviluppare attività di ricerca su argomenti di punta che rientrano in diverse categorie. In particolare, si prevede di sviluppare attività su rivelatori innovativi per le alte energie in vista dello sviluppo per FCC, sistemi di deflessione di particelle basati su magneti superconduttori, sistemi di accelerazione di particelle basati sull'interazione laser-plasma, meccanismi fisici e metodi del trattamento *flash-therapy* per i tumori, sistemi di calcolo avanzati con tecniche di Intelligenza Artificiale per la fisica medica. Infine, sono da qualche anno supportate attività di ricerca sulle tecnologie quantistiche, con particolare riferimento alle tecnologie per la rivelazione di grandezze fisiche e per il trattamento di dati.

L'INFN è da sempre all'avanguardia nel calcolo scientifico. Negli ultimi due decenni l'INFN ha realizzato un'infrastruttura nazionale multidisciplinare a supporto del calcolo scientifico tra le più vaste d'Europa, basata sul modello del Grid Computing. L'utilizzo è sempre stato dominato dalle collaborazioni LHC, ma recentemente hanno assunto un ruolo importante anche gli esperimenti astro-particellari. L'infrastruttura è costituita da un Tier-1 e 10 centri Tier-2, dotati di data center di varie dimensioni, capaci di offrire servizi basati su standard comuni. I centri forniscono risorse di calcolo e storage a varie comunità scientifiche, sia a livello nazionale che internazionale.

HPC (High Performance Computing): nel 2019 EuroHPC JU (*Join Undertaking*) ha concluso la procedura di selezione dei consorzi Europei per l'installazione e la gestione di 3 macchine pre-Exascale e 8 sistemi Petascale. Il consorzio Italo-Sloveno composto per la parte italiana da CINECA, INFN e SISSA è stato selezionato e co-finanziato per realizzare, entro quest'anno, una delle tre installazioni continentali di sistema pre-ExaScale, che verrà costruita presso il tecnopolo di Bologna. Attualmente è attivo un grant PRACE vinto dall'INFN per 30 milioni di ore di calcolo sulla partizione A2 della macchina Marconi, in cui l'INFN sta sperimentando la fornitura di ore di calcolo alle collaborazioni LHC in modo trasparente a queste ultime. Questo progetto, per quanto piccolo rispetto alle ore di calcolo di cui gli esperimenti LHC necessiteranno, è importante per stabilire connessioni con il centro HPC e per poter essere pronti in fase di progettazione delle nuove macchine CINECA ad una fruizione condivisa delle risorse.

Quantum Computing: "Europa ha deciso di scommettere sulle *quantum technologies* (un *superset* di *quantum computing*) come motore per lo sviluppo europeo, attraverso un progetto multimilionario

e pluriennale Flagship e l'INFN può e vuole far parte del filone di ricerca e sviluppo sulle tecnologie quantistiche. La comunità dei fisici è la più adatta per studiare e implementare algoritmi utilizzando questa nuova tecnologia; gli interessi vanno dalla fisica delle basse, medie e alte energie, agli algoritmi per la minimizzazione generica e ai simulatori quantistici (sistemi quantistici in grado di riprodurre il comportamento di altri sistemi quantistici). L'INFN è l'unico partner non statunitense del progetto SQMS (*Superconducting Quantum Materials and Systems Center*), con sede al Fermilab, finanziato dal DOE (*Department of Energy*) con 115 milioni di dollari, 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

Siamo proponenti del Centro di HPC, *big data* e *quantum computing* nell'ambito del "Investimento 1.4" della M4C2 del PNRR pensato per potenziare l'infrastruttura di calcolo nazionale al servizio della ricerca. Il progetto coinvolge 34 università e EPR, 15 partner privati, oltre 1500 ricercatori e ha un budget previsto di 400 milioni di euro su tre anni.

LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

Le infrastrutture di ricerca dell'INFN si articolano in quattro grandi laboratori nazionali più altri centri di ricerca per iniziative specifiche. 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.

I quattro Laboratori Nazionali di Frascati (LNF), Gran Sasso (LNGS), Legnaro (LNL) e Laboratori del Sud (LNS) a Catania, sono laboratori di ricerca, vale a dire, 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.

I **LNF** sono stati la prima struttura di ricerca italiana per lo studio della fisica nucleare e subnucleare con macchine acceleratrici e sono il più grande laboratorio di cui l'INFN dispone. La caratteristica principale dei Laboratori Nazionali di Frascati consiste nella progettazione e realizzazione di acceleratori di particelle. Attualmente sono in funzione a Frascati due acceleratori, il collisore elettroni-positroni DAFNE e l'acceleratore lineare SPARC che opera come FEL (*Free Electron LASER*).

Si prevede il completamento della sperimentazione a DAFNE con l'esperimento SIDDHARTA2 che intende raccogliere una luminosità integrata di 800 pb^{-1} entro fine 2022. All'interno del complesso di DAFNE sono presenti due linee di fascio denominate BTF (*Beam Test Facility*), che forniscono fasci di positroni/elettroni sino ad un'energia massima di 500 MeV. Questi fasci sono utilizzati per un'ampia gamma di usi di ricerca sia in fisica fondamentale che applicata quali, ad esempio, l'esperimento PADME.

Le attività legate all'acceleratore SPARC prevedono un'intensa attività di R&D volta alla realizzazione dei gradienti necessari per l'implementazione di nuove tecniche di accelerazione ultracompatte basate sull'interazione di fasci di elettroni con onde di plasma. Nel corso del 2021 sono stati ottenuti risultati di grandissimo rilievo: per la prima volta al mondo, è stata osservata produzione di luce laser prodotta da un fascio accelerato al plasma. Ulteriori esperimenti di questo tipo saranno effettuati nella prima metà del 2022, mentre la seconda parte dell'anno sarà dedicata al potenziamento dell'acceleratore stesso. Gli esperimenti su menzionati sono da considerarsi prodromici alla realizzazione del progetto europeo EuPRAXIA (*European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications*). Il progetto, che prevede lo sviluppo di un nuovo

acceleratore di particelle al plasma, consentirà di ridurre significativamente i costi e le dimensioni di un acceleratore di particelle e dal 2021 è stato inserito ufficialmente nella *roadmap* delle infrastrutture europee (ESFRI).

I **LNGS** sono dotati di sale sperimentali sotterranee di grandi dimensioni con facilità di accesso e un'imponente schermatura dalla radiazione cosmica, oltre che la bassa radioattività intrinseca della roccia stessa. Queste caratteristiche rendono i LNGS un'infrastruttura di ricerca di riferimento a livello mondiale per la fisica "*underground*". I Laboratori ospitano esperimenti di ultima generazione sulla ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini, come CUORE e GERDA, e ospiteranno i loro successori CUPID e LEGEND. Il processo di selezione sugli esperimenti che studiano questo decadimento raro ha permesso di identificare nei LNGS l'hub dove i più importanti esperimenti a livello europeo potrebbero essere realizzati nell'arco dei prossimi 5/7 anni. I LNGS si sono caratterizzati negli ultimi 35 anni come laboratorio leader a livello mondiale nello studio della materia oscura. Esperimenti come XENON1T/XENONnT, CRESST, DAMA e DarkSide sono all'avanguardia a livello internazionale nello studio e nella ricerca della materia oscura. I LNGS perseguono inoltre attività di ricerca nell'ambito dell'astrofisica nucleare attraverso gli esperimenti condotti con l'acceleratore LUNA-400 e con un nuovo acceleratore LUNA-MV che raggiunge energie ancora più elevate. Oltre alle linee di ricerca di fisica fondamentale, i LNGS sono coinvolti nello sviluppo di sistemi e infrastrutture di ricerca per il calcolo quantistico. Sfruttando le competenze in ambito criogenico dei laboratori, oltre alla possibilità di condurre misure in sotterranea minimizzando l'effetto dei raggi cosmici, il progetto SQSM, nato da una collaborazione tra l'INFN e il FNAL (*Fermi National Laboratory*) e finanziato pressoché integralmente dal DoE (*Department of Energy*), studia gli aspetti connessi allo sviluppo dei computer quantistici. In ambito geologico, l'accordo siglato tra INFN e INGV nel 2021 sta portando alla realizzazione del primo array sismico sotterraneo in Italia e uno dei più estesi al mondo.

Ai **LNL** operano cinque macchine acceleratrici, tutte utilizzate con continuità dalla comunità scientifica nazionale e internazionale per studi in fisica e astrofisica nucleare di base, condotti con fasci di ioni pesanti, e per applicazioni volte allo studio dei materiali, alla fisica delle radiazioni nucleari, alla realizzazione di acceleratori innovativi per ioni e per ricerche interdisciplinari. La strategia per il futuro del laboratorio è centrata sul progetto SPES, un'infrastruttura di ricerca attualmente in fase di installazione, che sarà dedicata a studi di fisica nucleare tramite fasci di ioni instabili e ad attività di ricerca nel campo dei radioisotopi di interesse medico e alla produzione di nuovi radiofarmaci per la medicina nucleare. Nell'ambito dello sviluppo di rivelatori per radiazione si riporta a titolo esemplificativo la realizzazione di rivelatori al germanio iperpuro (HPGe) con contatti sottili e stabili rispetto all'*annealing* in collaborazione con il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Padova. I LNL partecipano attivamente al progetto IFMIF (*International Fusion Material Irradiation Facility*), in un quadro istituzionale che permette la prosecuzione dell'attività sperimentale a *Rokkasho* (Giappone), dove è stata completata recentemente l'installazione della linea di trasporto che porta il fascio dell'RFQ sino al *beam dump*, necessaria per il test dell'RFQ alla massima potenza. Prosegue inoltre l'attività di *design* della facility DONES per il test dei materiali rilevanti per la fusione nucleare in Europa. L'INFN, tramite i LNL, partecipa come responsabile dell'RFQ e con un'importante attività di sviluppo del sistema a 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*).

I **LNS** operano nei campi della fisica nucleare e dell'astrofisica nucleare e particellare contraddistinguendosi anche in differenti ambiti della ricerca applicata. Ai LNS sono infatti presenti una sala di irraggiamento per la protonterapia (Catana), un laboratorio per i beni culturali (LANDIS), un laboratorio per la radioattività ambientale e ulteriori laboratori per attività multidisciplinari (fotonica, biologia, chimica). L'orizzonte di sviluppo della fisica nucleare e applicata perseguibile presso i LNS

è legato all'incremento della intensità dei fasci per accedere allo studio di processi rari. Il progetto di potenziamento dell'intera infrastruttura, mirato principalmente alla produzione di fasci di ioni leggeri ad alta intensità accelerati con il Ciclotrone Superconduttore, è stato finanziato dal PON Ricerca e Innovazione 2014-2020. La data prevista per il completamento dell'intero progetto è dicembre 2022. Procedono inoltre tutte le attività inerenti alla realizzazione della linea di produzione di fasci radioattivi in volo, che vedrà l'installazione del nuovo "*fragment separator*" FRAISE. In parallelo al processo di potenziamento del complesso degli acceleratori del LNS è in corso l'upgrade dell'apparato sperimentale MAGNEX, impiegato dall'esperimento NUMEN che studierà gli elementi di matrice nucleare del doppio decadimento beta senza neutrini. Inoltre, il multi-rivelatore CHIMERA continuerà la sua attività principalmente nell'ambito dell'esperimento CHIRONE che punta a studiare l'equazione di stato della materia nucleare ed il ruolo dell'energia di simmetria, i meccanismi di reazione, l'influenza ed il ruolo dell'*isospin* e del *clustering*, la spettroscopia dei nuclei leggeri attorno alla *dripline* per neutroni, con l'obiettivo di individuare fenomeni di clusterizzazione esotica.

Nel campo dell'Astrofisica Nucleare, alla riaccensione del TANDEM proseguirà l'intensa attività di studio del gruppo ASFIN, utilizzando sia fasci stabili che radioattivi con lo scopo di migliorare le conoscenze in molti campi di indagine astrofisica come nella struttura ed evoluzione di stelle in sequenza principale, pre-sequenza o AGB, e stadi avanzati o esplosivi, nucleosintesi ed energetica stellare e primordiale. Un ulteriore importante sviluppo dei LNS è legato all'esperimento PANDORA, che mira a realizzare per la prima volta la misura dei decadimenti β in plasmi, di rilevanza astrofisica, e la misura delle opacità di plasmi di interesse astrofisico. Per l'astrofisica particellare, è in costruzione il telescopio KM3NeT/ARCA che ha come obiettivo la rivelazione e lo studio di neutrini cosmici di alta energia, sia provenienti da sorgenti puntiformi che sotto forma di un flusso diffuso. È pienamente operativa la parte terrestre del telescopio, costituita da una stazione di terra situata nel comune di Portopalo di Capo Passero (SR), che ospita il centro di gestione e trattamento dati ed il sistema che fornisce la potenza elettrica per l'alimentazione e operatività del telescopio nella sua configurazione finale. Parte del laboratorio di terra sarà utilizzato per attività di ricerca multidisciplinari (geofisica, vulcanologia, biologia marina).

Oltre ai 4 grandi laboratori, l'INFN possiede altri importanti centri di ricerca:

EGO (*European Gravitational Observatory*) è un consorzio internazionale (INFN, CNRS/ Francia e NIKHEF/Olanda) costituito nel 2000 per sostenere e la collaborazione Virgo, composta da 660 membri da 13 paesi, nel terminare la costruzione, operare, mantenere e sviluppare l'interferometro Virgo volto allo studio delle onde gravitazionali. Virgo è uno dei tre maggiori interferometri nel mondo, insieme ai due americani LIGO. Nella versione Advanced, che ha iniziato la presa dati nel 2017, ha contribuito in modo cruciale alla fisica di punta degli ultimi anni, consentendo tra l'altro di rivelare la prima coalescenza di un sistema binario di stelle di neutroni e aprendo così le porte all'astronomia multi-messaggera. Per questo risultato Virgo è stata nominata nel 2021 *Milestone IEEE* per la scienza e la tecnologia. L'attività di EGO si inserisce in un programma di sviluppo a livello internazionale, mirato a potenziare la sensibilità degli interferometri attuali e allo sviluppo del futuro osservatorio ET (*Einstein Telescope*). Il progetto ET, che è finalizzato alla realizzazione di un interferometro criogenico e sotterraneo di terza generazione, nel 2021 è stato inserito ufficialmente nella *roadmap* delle infrastrutture europee (ESFRI) ed è parte anche del programma presentato dall'INFN per il PNRR.

CNAF (Centro Nazionale Analisi Fotogrammi), fondato nel 1962 come centro tecnologico dell'INFN dedicato all'analisi e alle misure ad alta precisione delle immagini raccolte all'epoca nelle camere a bolle, è ora convertito a 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 scientifica. Ospita il sistema di calcolo denominato *Tier1*, che fornisce risorse e servizi di calcolo e

storage a più di 40 collaborazioni scientifiche alle quali l'INFN partecipa. Il Tier1 del 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*. Dal 2020 il CNAF, in collaborazione con il CINECA, è impegnato nella realizzazione di un nuovo *data center* al Tecnopolo di Bologna, che permetterà di ospitare una quantità di risorse di calcolo e storage almeno un ordine di grandezza superiore a quelli dell'attuale centro di calcolo. Con l'approvazione del PNRR, il Tecnopolo, già principale centro di calcolo per ECMWF, INFN e CINECA, assumerà ulteriore importanza nel panorama nazionale come uno dei pilastri fondamentali di ICSC (Italian Center for Super Computing), il nuovo Centro Nazionale su *Big Data*, *HPC* e *Quantum Computing*. Il centro, a guida INFN e con la partecipazione di EPR ed Università, oltre al CINECA ed al GARR, ha come obiettivo principale la creazione di una grande infrastruttura di calcolo, basata sui paradigmi di *cloud* e *data lake*, che possa coprire le esigenze della comunità scientifica italiana.

INFN-LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali) è una struttura della Sezione INFN e dell'Università di Firenze, che ha come strumento principale un acceleratore di particelle (Tandem da 3 MV), col quale si effettuano applicazioni interdisciplinari di tecniche della fisica nucleare, soprattutto per applicazioni nel settore dei beni culturali (datazioni col metodo del ^{14}C e analisi composizionale dei materiali usati in opere d'arte) e nell'ambito di problemi ambientali (controllo della qualità dell'aria con la misura della composizione delle polveri fini in atmosfera). Il LABEC è inoltre la sede centrale della rete di Trasferimento Tecnologico per i beni culturali INFN-CHNet, creata nel 2017. La rete è composta da laboratori INFN e da centri di ricerca nazionali e internazionali impegnati nello sviluppo e nell'applicazione di tecniche analitiche per lo studio dei beni culturali.

LASA (Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata), operativo presso la sezione INFN di Milano, è stato istituito per sviluppare, in collaborazioni internazionali, i grandi acceleratori di particelle basati sui sistemi superconduttori per l'accelerazione (cavità RF) e la guida (magneti) dei fasci. Questa attività ha portato negli anni anche allo sviluppo di applicazioni multidisciplinari, sia medicali con acceleratori dedicati, sia di dosimetria che di produzione di radionuclidi presso il laboratorio di radiochimica. Queste competenze, ora disponibili congiuntamente alla teoria e calcolo sulle sorgenti di radiazione avanzate (FEL e ICS), nonché alla fisica e tecnologia delle cavità ottiche *Fabry-Perot*, sono la base per la partecipazione alla realizzazione di macchine analitiche, interdisciplinari, e confluiscono nel progetto della nuova infrastruttura MariX per il campus MIND in collaborazione con l'Università di Milano, il cui *Design Study* è stato recentemente completato. Infine, lo sviluppo e la realizzazione al LASA di più potenti magneti superconduttori per i futuri collisori di particelle fanno parte integrante del programma proposto dall'INFN per il PNRR.

GGI (*Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics*) è stato costituito con un accordo tra INFN e Università degli Studi di Firenze come primo Istituto Europeo dedicato a programmi di ricerca (*workshop*) di lunga durata su argomenti di punta della fisica teorica. Oltre alla presenza di competenze ed alla sinergia tra le strutture di ricerca e formazione coinvolte, il successo del GGI, si deve anche al particolare formato dei programmi di ricerca che lascia ampio spazio a discussioni libere e collaborazioni tra i partecipanti. Il ruolo ed il successo del GGI come istituto di formazione e ricerca sono stati riconosciuti dall'INFN che lo ha promosso a Centro Nazionale di Studi Avanzati nel 2018. Contestualmente alla formazione del Centro, l'INFN ha istituito il premio "*Galileo Galilei Medal*". Tale prestigioso premio viene consegnato ogni due anni a fisici che hanno dato, nei precedenti 25 anni, contributi rilevanti nel campo della fisica teorica.

TIFPA (*Trento Institute for Fundamental Physics and Applications*), nato nel 2013 da un accordo di collaborazione tra l'INFN, l'Università di Trento, FBK (Fondazione Bruno Kessler) e l'APSS (Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari) di Trento, intende potenziare prioritariamente le ricerche in nuovi

settori che risultano strategici dal punto di vista tecnico- scientifico con ampie potenzialità di tipo applicativo/industriale. La principale infrastruttura del TIFPA è il centro di protonterapia ed in particolare la sala sperimentale che contiene due linee di fascio, una dedicata agli studi preclinici di radiobiologia e fisica medica, e l'altra alla fisica spaziale, in particolare le schermature per missioni in LEO o interplanetarie, ed applicazioni industriali (danno alla microelettronica, Si-wafers ecc.). Il centro TIFPA porta avanti una serie di progetti di ricerca sulla *Quantum Science and Technology*, che insieme costituiscono un nuovo asse fondamentale della propria attività, anche in vista degli sviluppi delle attività di ricerca legate al PNRR. La partnership istituzionale con FBK e l'Università di Trento dà inoltre accesso a una serie di *facilities* e competenze sperimentali e teoriche nell'ambito delle scienze e tecnologie quantistiche (fotonica, CQED, dispositivi basati su ioni intrappolati) a vantaggio delle attività sia locali che nazionali dell'INFN e con potenziali ricadute nelle applicazioni industriali nella sensoristica e nelle infrastrutture di comunicazione.

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

L'INFN mantiene in maniera stabile l'integrazione con il sistema universitario nazionale 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 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; ed a 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 con in media circa 500 ricercatori stranieri che visitano le nostre Strutture ogni anno. 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 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), ecc. L'INFN ha sottoscritto più di 100 accordi di cooperazione scientifica con Istituti di ricerca situati in 30 Paesi; inoltre sono programmati annualmente incontri bilaterali con i rappresentanti delle principali Istituzioni di ricerca dei seguenti paesi: Cina (IHEP), Francia (CNRS/IN2P3, CEA), Regno Unito (STFC), Russia (JINR, Kurchatov Institute), Stati Uniti (DOE, NSF).

L'Istituto è impegnato nella realizzazione di Infrastrutture di Ricerca (IR) localizzate in Italia e generalmente in Europa nell'ambito del programma ESFRI. Diverse sono le iniziative attualmente in corso. Con CNR e ELETTRA sta procedendo allo sviluppo delle IR (Infrastrutture di Ricerca) europee basate su acceleratori di elettroni che alimentano sorgenti di raggi X da sincrotrone o da *Free Electron Laser* (facility ESRF, EuroFEL e XFEL) su sorgenti di impulsi ultra-brevi e ultra-intensi (*facility* ELI) e su acceleratori di ioni (protoni) che alimentano sorgenti di spallazione di neutroni (ESS). Inoltre, 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, Autorità Palestinese e altri paesi della regione.

Altre grandi infrastrutture di ricerca LNGS, EGO-VIRGO e CTA (*Cherenkov Telescope Array*) a cui l'INFN partecipa in collaborazione con INAF), stanno subendo la trasformazione in ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*), mentre nel caso di KM3NeT si stanno finalizzando tutti i documenti previsti per la costituzione di una associazione internazionale no-profit (AISBL) basato sulla legislazione belga con sede di rappresentanza in Sicilia.

L'Istituto ha sviluppato una strategia di accesso ai finanziamenti per la Ricerca e l'Innovazione nazionali ed internazionali.

Per quanto riguarda il principale programma europeo di interesse per la Ricerca ed Innovazione, Horizon Europe, gli sforzi 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 IR. C'è 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.

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.

Nell'ambito dell'Investimento per la creazione dei Centri Nazionali su tecnologie abilitanti, l'INFN ha coordinato la preparazione della proposta per la creazione del Centro Nazionale su "Simulazione avanzata e analisi e gestione dei *big data*", grazie anche alle competenze e all'esperienza maturata a livello nazionale e internazionale sui temi dell'HPC, *big data* e sviluppo e gestione di infrastrutture di calcolo. L'Istituto partecipa inoltre al Centro Nazionale sulla Biodiversità che si propone di mappare la biodiversità sul territorio nazionale nei tre ambienti: marino, terrestre e urbano.

Per quanto riguarda gli investimenti PNRR per la creazione, il rafforzamento o il network di IR, identificate come a priorità alta o media nel Piano Nazionale delle Infrastrutture di Ricerca (PNIR), l'Istituto ha presentato 9 progetti sia nell'ambito ESFRI '*Physical Sciences and Engineering*', che nell'ambito 'DIGIT', di cui 6 come soggetto capofila. I progetti hanno visto il coinvolgimento delle Università e dei principali Enti Pubblici di Ricerca. Le IR dell'ENTE che potranno usufruire dei finanziamenti sono i LNGS, ET, KM3NeT e EuPRAXIA. A queste si aggiunge un progetto ambizioso per potenziare il know-how tecnologico italiano nella superconduttività. Inoltre, 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. Anche bandi ancora aperti, quali i Partenariati Estesi, potrebbero ulteriormente dare occasione di finanziamenti a programmi di ricerca fondamentale e/o applicata, con un approccio interdisciplinare in collaborazione con Università, e altri soggetti pubblici e privati.

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).

Infine, nell'ambito della 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"), vengono esplorate possibili collaborazioni con aziende e la partecipazione a bandi UE, principalmente in ambito Euratom e ad altri bandi di carattere nazionale e internazionale.

LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, SOCIETÀ E FONDAZIONI

Alcune collaborazioni dell'Istituto si sono tradotte nella costituzione e nella partecipazione a consorzi, società, fondazioni e, in generale, diversi organismi associativi radicati sul territorio. Complessivamente l'INFN partecipa a una trentina di organismi associativi di queste tipologie, per un impegno finanziario di oltre 10 milioni di euro annui. La quasi totalità di questo finanziario è concentrata nei contributi erogati in favore del consorzio EGO (*European Gravitational Observatory*) e dell'Associazione Consortium GARR (*Gestione Ampliamento Rete Ricerca*) e, in misura minore, del consorzio RFX nel settore della fusione nucleare.

Nell'ultimo anno, l'INFN, nell'ambito della *Fusion Roadmap* europea, ha aderito alla società denominata "Consorzio per l'attuazione del progetto *Divertor Tokamak Test DTT S.c.a.r.l.*". Ha inoltre approvato la partecipazione a due Fondazioni ITS (Istituti Tecnici Superiori) per favorire l'integrazione fra formazione e ricerca, è diventato associato ordinario dall'Associazione ACC (Alleanza Contro il Cancro) per condividere in ambito medico le proprie conoscenze nel trattamento dei dati, è stato socio fondatore del Consorzio HPC4DR (*High Performance Computing for Disaster Resilience*), a cui partecipa con un'infrastruttura di calcolo basata ai LNGS.

LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE E ALTA FORMAZIONE

L'INFN ormai da diversi anni pone molta attenzione alle attività di Terza Missione. Tali iniziative sono articolate in attività di *PE (Public Engagement)* e Comunicazione, attività di Trasferimento Tecnologico e attività di Formazione Continua. Le attività sono organizzate sia a livello centrale che con il coinvolgimento delle diverse Strutture dell'Ente.

Le attività di Trasferimento Tecnologico (TT) sono coordinate dal CNTT (Comitato Nazionale di Trasferimento Tecnologico) e dal Servizio Trasferimento Tecnologico presso l'Amministrazione Centrale. Le attività di comunicazione e *PE* organizzate a livello centrale sono coordinate dall'Ufficio Comunicazione mentre il CC3M (Comitato di Coordinamento della Terza Missione) coordina le iniziative di diffusione della cultura scientifica organizzate a livello locale con impatto sul territorio nazionale.

L'Ente è estremamente sensibile alle tematiche di Terza Missione. I risultati della passata VQR (2011-2014) hanno evidenziato le prestazioni eccellenti a livello centrale sia in ambito TT che nel *PE*. Una delle attività dell'Istituto (le Masterclass di Fisica delle Particelle) è stata indicata come una buona prassi di *Public Engagement*, ed è stata sottolineata la dinamicità degli spin-off dell'Ente. I recentissimi risultati della nuova VQR (2015-2019), ancora in forma aggregata, confermano la grande attenzione rivolta dall'INFN a tutte le attività di Terza Missione e il livello di impatto raggiunto.

Numerose attività di *knowledge transfer* sono intrinsecamente presenti nell'attività dell'Istituto e negli ultimi anni sono state rafforzate dall'attenzione rivolta all'interazione tra scienza e società. A questo proposito, è anche da rimarcare il recente impegno dell'Ente a fronte dell'emergenza Covid-19 che si è concretizzato in numerose azioni di impatto: la ricerca di punta svolta in ambito INFN è stata messa al servizio della tecnologia e della società per dare supporto in tutte le fasi dalla pandemia, sin dai primi momenti dell'emergenza.

Sul fronte del Trasferimento Tecnologico, l'Ente promuove la nascita e lo sviluppo di network ricerca-imprese-territorio, che possano contribuire alla competitività e allo sviluppo economico e imprenditoriale del Paese e delle sue articolazioni territoriali.

Nel corso degli ultimi anni, il lavoro sul TT 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.

Nel 2021 il numero di brevetti dell'Ente ha raggiunto le 176 unità, inoltre, nel 2021 è stato riconosciuto un nuovo spin-off, BEAMIDE, la cui attività è orientata allo sviluppo di pacchetti software per effettuare simulazioni degli effetti di radiazione sui sistemi elettromeccanici. BEAMIDE intende utilizzare a fini commerciali il know-how sviluppato nell'ambito degli esperimenti AMS-01, AMS-02 e MC-INFN, finanziati dalle CSN2 e CSN5 dell'INFN, in particolare presso la Sezione di Perugia: in questi ambiti si sono acquisite una notevole esperienza e tecniche relative alla simulazione, costruzione e test di rivelatori di particelle complessi adatti per molteplici applicazioni, tra le quali le applicazioni spaziali e di *space weather*, per la quantificazione degli effetti di radiazioni sui sistemi e relativo sviluppo di tecniche di mitigazione.

Per quanto riguarda le attività di comunicazione e divulgazione scientifica, l'INFN, con l'obiettivo di raggiungere il grande pubblico raccontando di scienza in modo coinvolgente e suggestivo, progetta e cura conferenze-spettacolo e mostre, realizzate in collaborazione con protagonisti del mondo culturale e vedono la partecipazione di un ampio pubblico. Il 2021 ha visto la contemporanea organizzazione sia di eventi online, come "*Particle Jukebox*" e "La Fisica tra le onde", che il ritorno agli eventi in presenza, come il Festival della Scienza di Genova, la Notte Europea dei Ricercatori, nella quale abbiamo partecipato in modo capillare a vari progetti della Commissione Europea, e il Festival delle Scienze di Roma.

Il 2021 è anche un anno speciale per l'INFN perché ricorre l'anniversario dei 70 anni dalla sua fondazione. Proprio nella cornice del Festival delle Scienze di Roma, l'INFN ha aperto le celebrazioni del suo 70° anniversario con un evento che ne ha raccontato la storia, sin dalla nascita nel 1951, fino ai nostri giorni, ripercorrendo le tappe più importanti che hanno condotto a risultati e scoperte nell'ambito della fisica fondamentale. Dopo l'evento di apertura, i festeggiamenti proseguiranno fino ad ottobre 2022, con iniziative ed eventi in molte città italiane, grazie al coinvolgimento dell'intera comunità INFN.

Nel corso degli anni, il comitato CC3M ha inoltre promosso proprie iniziative volte a coprire specifiche carenze in termini di copertura territoriale della attività di *PE* o attinenti tematiche specifiche. La CC3M supporta attività di grande impatto, che coinvolgono più Sezioni o che sono comunque significative a livello nazionale come [ScienzaperTutti](#), [RadioLab](#), le [Masterclass](#), il [Premio Asimov](#) per la divulgazione scientifica, [OCRA](#) (*Outreach with Cosmic Rays Activities*) per citarne alcune.

Per quanto riguarda il rapporto con i media, l'ufficio stampa dell'INFN si è ormai consolidato da anni come un'importante fonte di informazione e un punto di riferimento per le agenzie di stampa e i giornalisti scientifici italiani, arrivando ad avere nel 2021 oltre 6000 citazioni sulle testate italiane, cartacee, web e oltre 250 su TV e radio. In occasione di notizie scientifiche rilevanti,

l'attività di ufficio stampa si rivolge anche verso i principali media internazionali. Nel 2021 sono stati diffusi 47 comunicati stampa e 81 *web-news*.

Oltre ad attività di divulgazione, c'è un crescente impegno nel proporre attività di formazione continua, e, in particolare, l'aggiornamento professionale di docenti di scuola di ogni grado, attraverso scuole e seminari dedicati. Il 2021 ha visto un significativo incremento di tali attività che avevano sofferto le numerose cancellazioni dell'anno precedente a causa del lock-down.

L'INFN oltre che nelle attività di Terza Missione è significativamente impegnato anche nell'ambito dell'alta formazione. Sulla base delle convenzioni che l'Ente stipula con gli Atenei, numerosi ricercatori INFN svolgono attività didattica principalmente nei corsi magistrali in Fisica, fanno da relatori o correlatori per tesi di laurea che ricadono nell'ambito delle ricerche svolte dall'Ente 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. Ad oggi l'Istituto conta 13 programmi di Dottorato di Ricerca di cui è co-titolare con una tendenza crescente negli ultimi cinque cicli di Dottorato. Finanzia ogni anno oltre 60 borse di Dottorato di Ricerca e annualmente vengono discusse circa 170 tesi di Dottorato di Ricerca in ambito INFN.

LA VALUTAZIONE DELL'ENTE

L'INFN ha da sempre posto molta attenzione al controllo ed alla valutazione dei propri programmi di ricerca, e per questo si è dotato di molteplici strutture che eseguono la valutazione ex-ante, in itinere ed ex-post di esperimenti e iniziative. Le Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN) hanno un ruolo di gestione e controllo interno in tutte le fasi dei progetti, mentre il Consiglio Tecnico Scientifico (CTS) e il Comitato di Valutazione Internazionale (CVI) operano una valutazione esterna delle attività scientifiche e tecnologiche dell'INFN. La qualità molto elevata della ricerca dell'Istituto è inoltre confermata dagli ottimi risultati riportati dall'Ente nelle valutazioni periodiche che l'ANVUR opera a scadenza regolare con le VQR (Valutazione Qualità della Ricerca). Siamo estremamente soddisfatti del recente risultato della VQR 2015-2019 che ci vede primi per qualità tra i grandi Enti di ricerca.

L'INFN da qualche anno ha deciso di ammodernare e rendere sistematica la gestione dei progetti dell'Istituto preparandosi alle loro crescenti complessità. L'Istituto ha definito un proprio modello di PM (Project Management) e di QA (Quality Assurance) adattabili a tutti i progetti scientifici e tecnologici dell'INFN. Nel 2021 è stato avviato un piano di formazione dei dipendenti in materia di PM e QA che ha interessato quasi 140 tra ricercatori e tecnologi. Il piano formativo continuerà nel 2022 e negli anni successivi fino alla completa formazione del personale dei livelli I-III.

In materia di performance amministrativa ed organizzativa, l'INFN ha dato piena attuazione al dettato normativo per gli aspetti di Performance Complessiva dell'istituto, e dal 2021 ha applicato la valutazione della performance individuale per tutti i dipendenti con incarichi negli organigrammi dell'Istituto e per tutti i dipendenti dei livelli IV-VIII.