

## ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

## CONSIGLIO DIRETTIVO

## DELIBERAZIONE N. 14625

Il Consiglio Direttivo dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, riunito in Roma in data 26 gennaio 2018, alla presenza di n. 33 dei suoi componenti su un totale di n. 34;

- vista la legge 8 maggio 1989, n. 168;
- visto il decreto legislativo 5 giugno 1998, n. 204;
- visto il decreto legislativo 31 dicembre 2009 n. 213;
- visto il decreto legislativo 25 novembre 2016 n. 218;
- visto lo Statuto dell'INFN entrato in vigore il 17 aprile 2014;
- considerato che per il perseguimento della propria missione, in conformità con le linee guida enunciate nel Piano Nazionale della Ricerca, ai fini della pianificazione operativa, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare deve adottare un Piano Triennale di Attività, aggiornato annualmente, approvato dal Consiglio Direttivo;
- vista la delibera CD n. 14397 del 28 aprile 2017 con la quale è stato approvato il Piano Triennale dell'Istituto per il triennio 2017-19;
- visto il rapporto d'attività relativo all'anno 2017, presentato dal Comitato di Valutazione Internazionale a seguito della riunione del 16-17 ottobre 2017;
- vista la nota circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Funzione Pubblica n. DFP-0072298-P del 13 dicembre 2017 riguardante la definizione del costo medio annuo calcolato sulla base del costo medio della qualifica del dirigente di ricerca, secondo quanto indicato nell'art. 9, comma 6 lettera c) del D. Lgs n. 218/2016;
- considerato che il succitato decreto legislativo n. 218/2016 ha consentito di rivedere talune disposizioni normative nell'ottica di una concreta semplificazione delle attività degli EPR e, soprattutto di una loro autonomia programmatica;
- su proposta della Giunta Esecutiva;
- con voti n. 33 a favore;
- visto il risultato della votazione

## DELIBERA

1. di approvare il Piano Triennale dell'Istituto per il periodo 2018-2020, indicato in premessa e allegato alla presente deliberazione della quale costituisce parte integrante e sostanziale;
2. di trasmettere il Piano Triennale di cui al punto 1 al Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, ai sensi dell'art. 7 del decreto legislativo n. 218/2016.

cd-E/01

Ente

ISTITUTO NAZIONALE FISICA NUCLEARE  
INFN



## **PIANO TRIENNALE DI ATTIVITA' 2018 - 2020**

### **AGGIORNAMENTO 2018**

#### **INDICE**

<i>INTRODUZIONE</i>	
1. L'ISTITUTO .....	pag. 5
2. LE RISORSE FINANZIARIE .....	pag. 7
3. LE RISORSE UMANE.....	pag. 13
4. PARTECIPAZIONE A CONSORZI, SOCIETÀ E FONDAZIONI.....	pag. 28
5. L'ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA.....	pag. 31
6. INFRASTRUTTURE DI RICERCA.....	pag. 57
7. PROGETTI CON ALTRI ENTI E UNIVERSITÀ, PROGETTI EUROPEI E FONDI ESTERNI.....	pag. 84
8. LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE DELL'INFN.....	pag. 97
9. VALUTAZIONE DELL'INFN.....	pag. 107

*EXECUTIVE SUMMARY*

*CVI REPORT 2017*

## INTRODUZIONE

Il Piano Triennale 2018-2020 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni a partire dai risultati delle attività in corso. È costruito per definire in modo schematico e operativo i finanziamenti dei prossimi tre anni legati sia all'attività di base dell'Istituto (la Missione) che ai progetti speciali ad esso in carico.

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 che ha determinato la diffusione capillare sul territorio nazionale. Esso rappresenta una fonte di ricchezza e vivacità culturale, e di un continuo apporto di giovani, ma anche un cruciale sostegno dell'ente all'attività di ricerca delle Università. Permane la difficoltà di riconoscimento anche quantitativo di tale apporto in sede di valutazione sia dell'ente che delle Università interessate.
- Auto-governo responsabile: rappresentatività della comunità e controllo MIUR in buon equilibrio e una gestione interna fortemente orientata dalla scienza. Nel caso dell'INFN oltre all'ampio coinvolgimento dei ricercatori negli organi di governo, il modello di gestione e organizzazione è lo stesso utilizzato dalla ricerca a livello internazionale, che di per sé 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. È uno degli elementi che maggiormente contribuisce alla solidità, sicuramente migliorabile nell'implementazione, ma da preservare assolutamente nello spirito e nella sostanza.
- Eccellente capacità di formazione a livello di lauree, dottorati e attività postdottorale (50% delle tesi di Ph.D. in fisica). I giovani si qualificano e ottengono risultati eccezionali all'estero e costituiscono un grande serbatoio di competenze, che spesso trasferiscono alla società. Ambiente scientificamente attraente anche per studiosi, in particolare giovani, dall'estero. La prova di questa capacità è negli ottimi risultati della valutazione e delle abilitazioni.
- Ricerca che si svolge in gran parte nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali in cui rivestiamo un ruolo di primo piano. Abbiamo un laboratorio mondiale, il CERN, dove siamo leader e un laboratorio unico, il Gran Sasso, il più grande e più facilmente accessibile laboratorio sotterraneo del mondo a partecipazione straniera maggioritaria. Il consorzio EGO (a partecipazione paritaria INFN-CNRS) dove si svolge l'esperimento VIRGO si è dimostrato strumento straordinario per il successo nella ricerca delle Onde Gravitazionali.
- Le nostre ricerche fanno uso e richiedono lo sviluppo di tecnologie avanzate insieme al mantenimento di know-how. Questo ha ricadute naturali di alta utilità sociale: adroterapia e strumentazione di diagnostica medica, beni culturali, cloud computing e calcolo HPC, produzione di radioisotopi per la farmaceutica e molto altro.
- Esistenza da lungo tempo di un sistema di autovalutazione con la presenza di un comitato internazionale.

In questi ultimi anni è iniziata, ed è ora in piena attuazione, una trasformazione importante per l'Istituto. Fermo restando il caposaldo del rispetto della sua Missione, si intende rivolgere tutte le energie possibili verso l'Europa sia partecipando in modo organico alle sue infrastrutture di ricerca (come definite nell'ambito di ESFRI), che trasformando laboratori italiani in infrastrutture europee

(ERIC). Ciò insieme a una forte valorizzazione del settore di Ricerca e Sviluppo e a un potenziamento del Trasferimento Tecnologico, nella convinzione di diventare sempre più competitivi nella sfida posta dal programma quadro della UE, Horizon2020.

Sul piano dei risultati scientifici, dopo il riconoscimento della scoperta del bosone di Higgs attraverso il premio Nobel a Englert e Higgs che ha premiato anche uno sforzo ventennale dell'INFN che ci vede orgogliosi protagonisti degli esperimenti a LHC e che ha contribuito alla elezione di Fabiola Gianotti alla direzione del Cern, siamo stati protagonisti della rivelazione delle Onde Gravitazionali, l'ultimo tassello mancante alla centennale teoria della Relatività Generale di Einstein, con uno straordinario contributo umano e tecnologico dell'INFN attraverso l'esperimento Virgo. Il premio Nobel 2017 a Weiss, Thorne e Barish è stato un altro segno del successo di questa linea di ricerca. L'eccezionale successo del periodo di presa dati dell'Agosto 2017 da parte di VIRGO insieme agli interferometri americani con la prima osservazione di una coalescenza di stelle di neutroni e con il coinvolgimento dell'intera comunità astronomica ha segnato l'inizio della Astronomia a Molti Messaggeri. Una data miliare. Ricordiamo con affetto e dolore il ruolo di Adalberto Giazotto, il padre di VIRGO, recentemente scomparso.

Ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), dove ospitiamo una vasta comunità internazionale, otteniamo alcuni dei migliori risultati al mondo (GERDA e CUORE) sulla ricerca della Materia Oscura e sul decadimento Doppio Beta senza emissione di neutrini, che verificherebbe l'ipotesi di Majorana. La tecnologia dimostrata ai LNGS dall'esperimento ICARUS, guidato dal Premio Nobel Carlo Rubbia, è quella scelta per il futuro esperimento su scala globale con fasci di neutrini al laboratorio Fermilab a Chicago. Borexino ci ha permesso di misurare tutti i processi di emissione di neutrini dal Sole.

È in fase di avanzata realizzazione il progetto KM3NeT ai Laboratori Nazionali del Sud (LNS), inserito nella Road Map di ESFRI. Attraverso il dispiegamento di una rete di rivelatori nel Mar Mediterraneo al largo di Capo Passero; esso presenta significative potenzialità anche per ricerche interdisciplinari al di là dello studio dei neutrini emessi nei processi più violenti dell'Universo.

Nel nostro Laboratorio Nazionale di Legnaro è in fase di messa a punto l'acceleratore SPES, al servizio della ricerca nucleare di base e con potenzialità straordinarie per la produzione di radiofarmaci, che si realizzerà in collaborazione col settore privato.

Al LABEC di Firenze le nostre tecnologie hanno un utilizzo importante nel settore dei beni culturali, e il polo di Firenze sarà anche un pilastro di E-RIHS, anche essa new entry nella Road Map di ESFRI.

A Frascati, laboratorio storico dell'INFN, continuiamo la via aperta da AdA nella ricerca di punta sviluppando innovative tecniche di accelerazione ed elaboriamo progetti per possibili infrastrutture di ricerca, con vocazione interdisciplinare, da installare nel nostro Paese. Siamo infatti tra i leader del progetto, finanziato dalla UE, EUPRAXIA e ci candidiamo a ospitare la macchina che verrà progettata.

In campo internazionale va sottolineato il notevole incremento di progetti in collaborazione con la Cina, potenza emergente della fisica. Abbiamo conquistato una partnership privilegiata specialmente nel campo degli esperimenti scientifici su satelliti (DAMPE, Limadou) e nella fornitura di tecnologie mutate dagli esperimenti al Gran Sasso (JUNO).

Nell'ambito di ESFRI è ormai pienamente definita e operativa una strategia comune dell'INFN con CNR e Sincrotrone di Trieste che identifica l'intera filiera che va dalla costruzione delle macchine

acceleratrici fino al loro sfruttamento da parte dell'utenza (esempi ne sono XFEL, ESS, ELI, ESRF, EuroFel, SESAME). È in fase di costruzione da parte dell'associazione EuroGammaS, di cui l'INFN è capofila, l'acceleratore ELI-NP in Romania ed è in corso la costruzione di parti rilevanti della European Spallation Source (ESS). Siamo partner dell'upgrade a ESRF, abbiamo completato la fornitura delle cavità superconduttrici a XFEL e contribuiamo in modo determinante al successo di quella straordinaria avventura scientifico-politica che è SESAME. Ora siamo anche partner per la tecnologia delle cavità superconduttrici del nuovo acceleratore di FermiLab (PIP-II).

L'applicazione terapeutica delle radiazioni nucleari e delle particelle cariche rimane uno dei settori considerati strategici dall'INFN. Per quanto riguarda l'adroterapia, l'INFN si sta impegnando a consolidare le competenze sviluppate nel passato nel campo degli acceleratori per la cura dei tumori. In primo luogo si è rafforzato il rapporto con il **CNAO**, dove l'INFN contribuisce alla realizzazione di una linea di ricerca dedicata. In secondo luogo si sta sviluppando l'attività a TIFPA, struttura costituita dall'INFN a Trento. Il **TIFPA** nasce come una struttura non tradizionale dove sin dall'inizio è presente un legame basilare tra l'INFN, l'Università, la Fondazione Bruno Kessler e l'azienda sanitaria locale che possiede un ciclotrone per la cura dei tumori e sul quale l'INFN sta attrezzando la linea di ricerca. Grazie a queste competenze siamo partner per la costruzione di una 'copia' del CNAO in Georgia.

Ricordiamo con orgoglio lo straordinario successo del Gran Sasso Science Institute, la scuola di dottorato ubicata a L'Aquila, di cui l'INFN è stato ente attuatore. Siamo fieri della trasformazione di questa scuola da esperimento a istituto universitario avvenuta nel 2016. Stiamo preparando, forti della esperienza fatta col GSSI, la trasformazione del Galileo Galilei Institute ad Arcetri in Centro di Alta Formazione dell'INFN in collaborazione con la Università di Firenze.

Siamo convinti di seguire con coerenza e intelligenza un insieme di filoni di ricerca che, appoggiati solidamente sul pilastro di "Excellent Science", giungono però a dare i loro frutti anche negli altri due campi di Horizon2020, Competitività industriale e Sfide sociali. Applicazioni per la medicina, beni culturali, computing e servizi connessi, scienza dei materiali sono i settori dove meglio riusciamo nel raccogliere la sfida.

Un esempio è costituito dalla ricaduta industriale del futuro esperimento per la ricerca della materia oscura a LNGS DarkSide. In Sardegna, in una miniera dismessa del Sulcis, stiamo costruendo un impianto di distillazione criogenica che oltre a fornire l'Argon per l'esperimento sarà anche produttore di isotopi a uso medico e industriale, mentre in Abruzzo, nei Laboratori del Gran Sasso, sarà costruita un'officina per le applicazioni di fotomoltiplicatori al silicio a esperimenti di fisica.

Dedichiamo inoltre un grande sforzo alla divulgazione scientifica attraverso eventi, mostre, convegni, attività nelle scuole.

Sul piano organizzativo è in corso un grande sforzo per pianificare e realizzare un riammodernamento gestionale che veda una razionalizzazione degli aspetti amministrativi e tecnici su base regionale.

Nell'ultimo anno, indubbiamente, sono arrivati segnali importanti e concreti di attenzione al mondo della ricerca. Tuttavia, non possiamo ignorare il fatto che criticità importanti sono ancora presenti nel sistema ricerca del Paese, con conseguenze inevitabili anche sullo svolgimento delle ricerche dell'INFN e sulla realizzazione della sua missione.

In primo luogo riteniamo che un sistema nazionale della ricerca debba essere al tempo stesso agile e inclusivo, senza snaturare la diversità delle discipline e il valore assoluto della ricerca “knowledge-driven”, evitando di accentrare e rendere troppo rigidi i piani di ricerca. È essenziale che gli Enti e le Università operino in modo paritario scambiando il personale tra di loro e, soprattutto, nel corso della carriera dei singoli, tra un ruolo a prevalenza di didattica e uno a prevalenza di ricerca. Un sistema nazionale senza pianificazione pluriennale non avrebbe alcuna utilità e deve poggiare su una reale sinergia tra i soggetti (università, enti e imprese) sulla base della convergenza di interessi e sulla qualità di progetti comuni. Un meccanismo premiale, che sia però aggiuntivo alle risorse esistenti, basato sulla interdisciplinarietà e la collaborazione potrebbe incentivare una maggiore integrazione tra Enti, senza intaccare autonomia, originalità e qualità della ricerca.

Un altro elemento di forte criticità è rappresentato dal modello odierno di finanziamento che soffre dell’ambiguità dovuta all’attribuzione su base annuale dei finanziamenti. Ciò non è assolutamente adeguato alla programmazione, soprattutto in un contesto di ricerca e specialmente in rapporto alle realtà internazionali, a partire dalla UE, in cui la programmazione avviene tipicamente su base pluriennale.

Ricordiamo con orgoglio che nella competizione “premiata” relativa alla redistribuzione del 7% del FOE l’ente è stato sin qui capace di attrarre sistematicamente ben più del doppio della sua quota relativa e ricordiamo lo straordinario successo ottenuto dall’INFN nella ripartizione delle posizioni di ricercatore previste nella legge di stabilità 2017 (73 su 215) ora coperte grazie allo svolgimento in di una competizione nazionale. A questo proposito, sottolineiamo che le attuali, farraginose norme sui concorsi andrebbero snellite allineandole agli standard dei metodi di selezione adottati nei paesi più avanzati.

Il D.L. 218 del 2016 ha segnato un grande progresso nella possibilità di gestire l’Ente secondo i sani principi dell’autonomia responsabile. Osserviamo però con preoccupazione il lievitare dei costi del personale a fronte della staticità del FOE. Non vorremmo arrivare al paradosso di avere più personale e meno capacità di ricerca. Anche il rapporto con l’Università sta diventando complesso. C’è una progressiva separazione e chiusura che rende il sistema impermeabile. A questo si aggiunge la difficoltà di sfruttare l’attrattività nei riguardi di studiosi (stranieri o italiani) operanti all’estero, per le condizioni al contorno: offerta economica, prospettiva di carriera, burocrazia e guardiamo con sconcerto all’incapacità di sfruttare per impacci burocratici le norme pur esistenti sul rientro dei cervelli.

Ci aspetta inoltre il complesso compito di un’applicazione il più intelligente e trasparente possibile della Legge Madia sulle possibilità di stabilizzazione del personale a Tempo Determinato.

Un futuro nuovo, comunque, da affrontare con attenta riflessione e programmazione per mantenere al più alto livello la capacità dell’Ente di essere leader nel mondo nel suo campo di ricerca.

Fernando Ferroni - Presidente INFN

# 1. L'ISTITUTO

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è l'ente pubblico di ricerca, vigilato dal MIUR, 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 ed astroparticellare. 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 tutte 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 dell'Ente sono condotte in modo sinergico con altri Enti di ricerca nazionali. La ricerca fondamentale in questi settori richiede l'uso di tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia che l'INFN sviluppa sia nei propri laboratori che in collaborazione con il mondo dell'industria.

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 (Laboratori Nazionali del Sud – LNS), Frascati (Laboratori Nazionali di Frascati – LNF), Legnaro (Laboratori Nazionali di Legnaro – LNL) e Gran Sasso (Laboratori Nazionali del Gran Sasso – LNGS), 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.

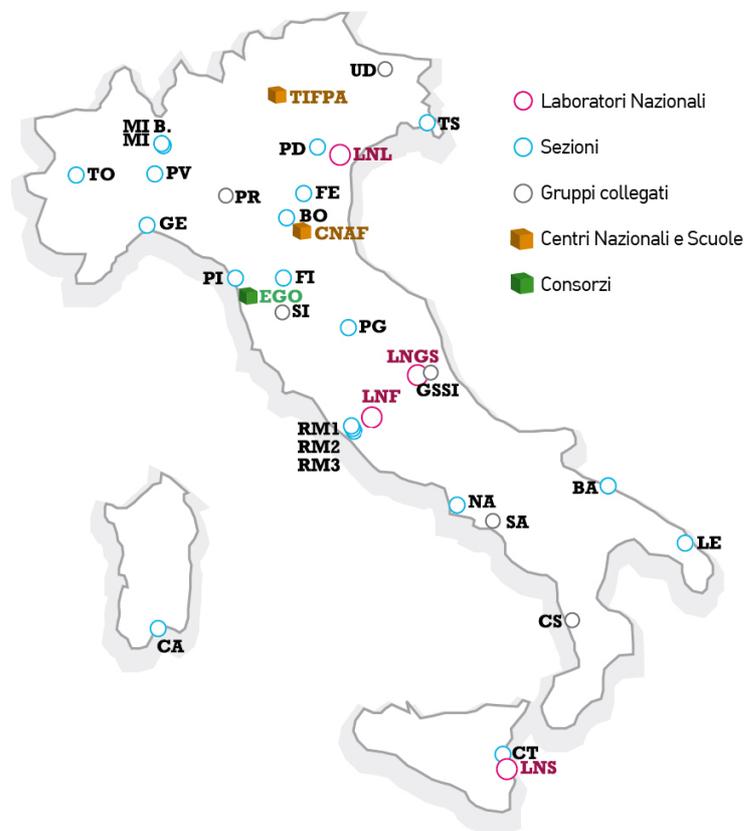


Figura 1.1

A supporto delle attività INFN vi sono inoltre due centri nazionali, il CNAF di Bologna, che ospita il principale centro di calcolo dell'Ente ed il TIFPA di Trento (Trento Institute for Fundamental Physics and Applications), un centro nazionale di scienza e tecnologia gestito insieme alla Provincia, all'Università ed alla Fondazione Bruno Kessler di Trento.

Per lo svolgimento dell'attività scientifica, l'Istituto si avvale di cinque Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), consultive del Consiglio direttivo. Esse coprono rispettivamente le seguenti linee scientifiche: fisica subnucleare (CSN1), fisica astroparticellare (CSN2), fisica nucleare (CSN3), fisica teorica (CSN4), ricerche tecnologiche e interdisciplinari (CSN5).

I 4 laboratori nazionali LNL, LNGS, LNF, LNS rappresentano un'ossatura fondamentale per tutte le iniziative dell'INFN ed in particolare ospitano infrastrutture e facilities messe a disposizione della comunità internazionale. Oltre a tali laboratori nazionali, l'Ente possiede altre grandi infrastrutture di ricerca che intende valorizzare ancor più nel prossimo triennio nel quadro di una programmazione ed incentivazione delle infrastrutture di ricerca in chiave europea.

L'organizzazione manageriale e scientifica è mostrata in Figura 1.2.

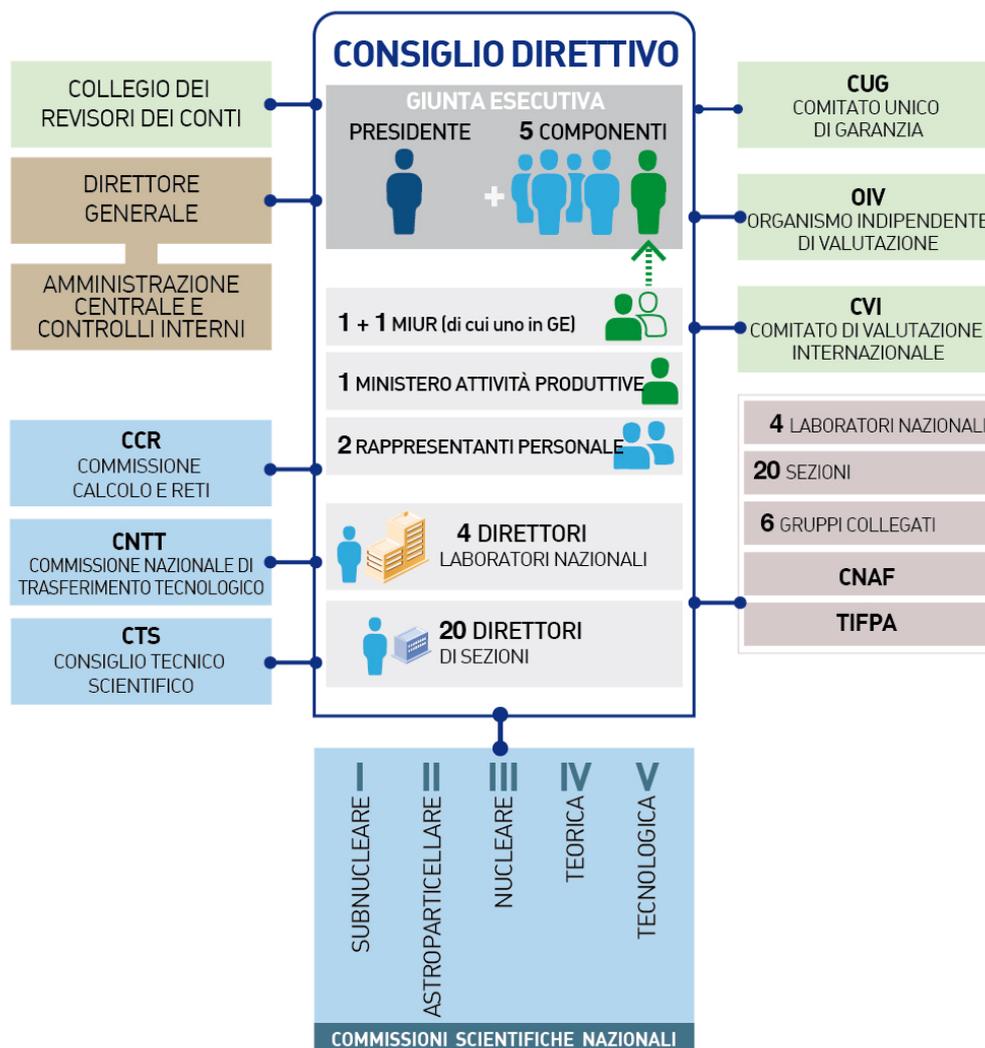


Figura 1.2

# LE RISORSE FINANZIARIE

## 2.1 L'EVOLUZIONE STORICA DEL BILANCIO INFN

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 2018-2020:

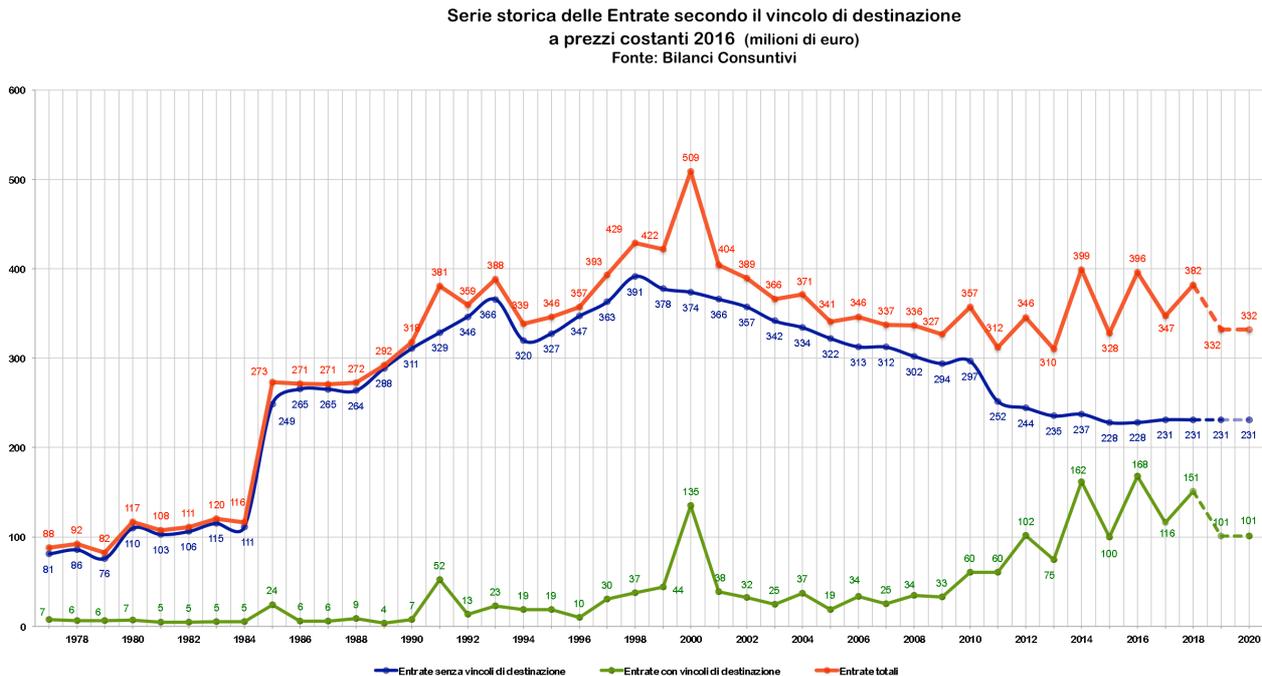


Fig. 2.1 Serie storica delle Entrate

Le Entrate senza vincolo di destinazione (FOE Assegnazione Ordinaria) dopo una progressiva e costante riduzione rispetto ai massimi del 2000, negli ultimi anni sembrano essersi stabilizzate vicino al livello rilevato nell'anno 1985, con la differenza che in quell'anno l'Istituto era nel pieno dell'espansione delle attività. Per affrontare questa situazione negli ultimi anni l'INFN ha 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 le attività di ricerca in cui è impegnato ai livelli di eccellenza raggiunti.

Questa strategia ha portato alla crescita, verificatasi negli ultimi anni, 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 quali ad esempio: i fondi dei programmi europei FP7 ed H2020, i fondi regionali (PON e POR), i fondi MIUR Premiali e per progetti a valenza internazionale.

Questa evidente diminuzione delle Entrate senza vincolo di destinazione, unita al fatto che una parte considerevole del bilancio è costituita da spese di personale che, per loro natura, sono incompressibili, rappresenta un fattore fortemente limitante. Questa riduzione incide

prevalentemente sulle spese di ricerca e di funzionamento per le quali, come detto, è quindi fondamentale ricorrere ai finanziamenti esterni a destinazione vincolata.

Nel grafico successivo (Fig 2.2) sono mostrate le diverse tipologie di Entrate Ministeriali che, a partire dall'anno 2010, hanno affiancato il FOE:

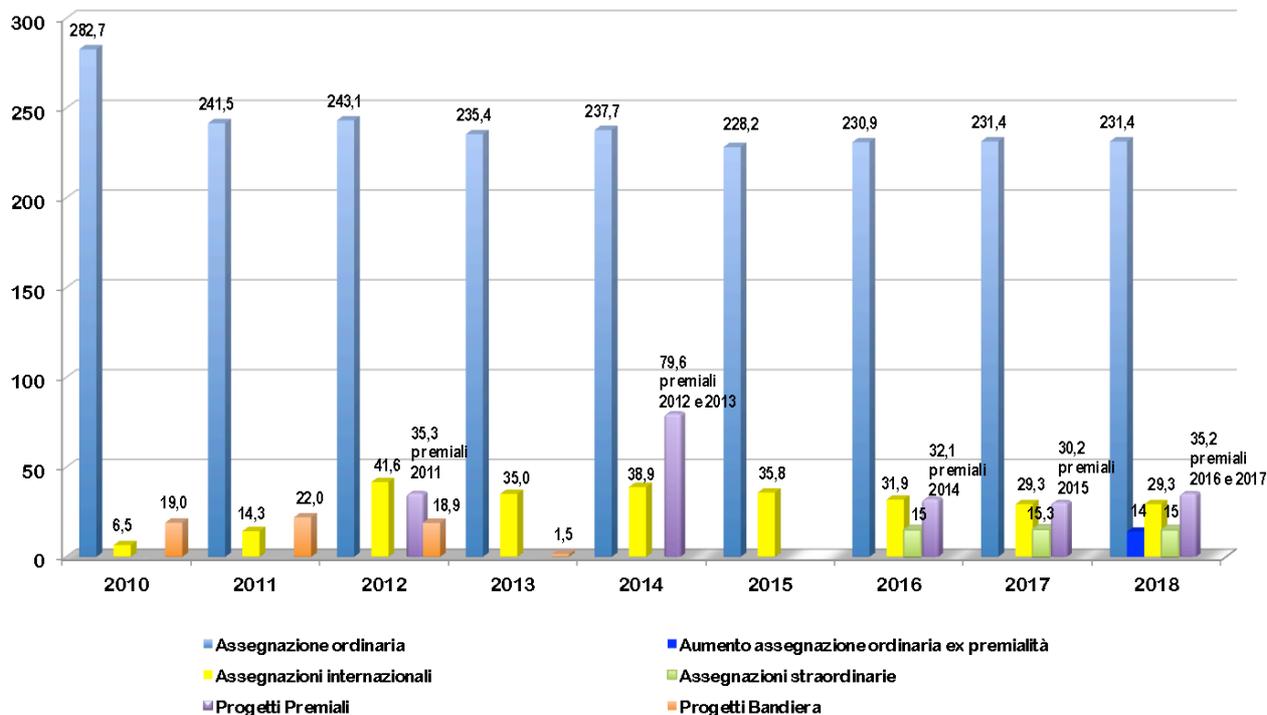


Fig. 2.2 Differenti tipologie di Entrate

Come si può vedere, rispetto al 2010, l'assegnazione ordinaria proveniente dal FOE è calata di circa 51 M€, mentre sono contestualmente cresciute le assegnazioni straordinarie (tipicamente con vincolo di destinazione), anche se non in misura tale da compensare la decrescita sopra citata. Da notare inoltre come le risorse relative ai Progetti Premiali vengano assegnate in modo discontinuo e comunque in forte ritardo rispetto all'anno di competenza, creando notevoli difficoltà nella programmazione e nella realizzazione delle attività dell'Ente. Nel 2017 il finanziamento per i Progetti Premiali previsto nel FOE è stato ridotto di 30 M€ (da 100 M€ a 70 M€), senza un contestuale aumento dell'assegnazione ordinaria, mettendo ulteriore pressione sul Bilancio INFN. Nel 2018 sono previste le risorse derivanti dalla premialità relativa agli anni 2016-2017 per un ammontare stimato di 35,2 M€.

A decorrere dal 2018 si prevede un diverso funzionamento dell'erogazione delle risorse premiali per la ricerca; in particolare si prevede un aumento del contributo ordinario per effetto della corrispondente cessazione del finanziamento premiale; in attesa del decreto di riparto di tale contributo, nel bilancio di previsione per l'esercizio 2018 viene pertanto previsto un aumento della contribuzione ordinaria per ex premialità, stimato prudenzialmente in 14 M€. Tale aumento è rappresentato nella Fig. 2.2 nella colonna di colore blu.

Il grafico successivo (Fig. 2.3) mostra l'andamento delle spese impegnate a consuntivo aggregate per macro tipologie: personale, ricerca, funzionamento e servizi.

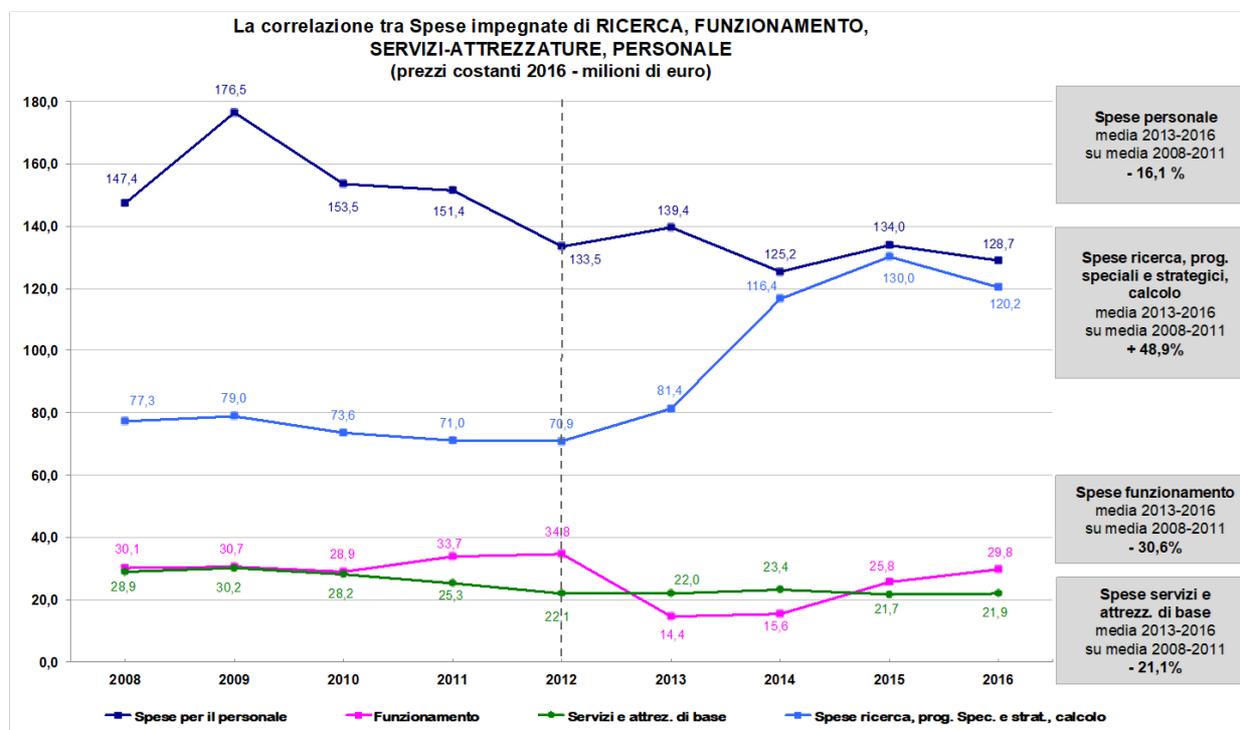


Fig. 2.3 Correlazione tra le diverse Spese

Nel periodo 2013-2016 la spesa per il personale è scesa del 16,1%, rispetto al quadriennio 2008-2011, prevalentemente a causa del blocco del turn-over, del blocco degli scatti stipendiali e del non rinnovo del CCNL; questo andamento cambierà a partire dal 2017 grazie al reclutamento di nuovo personale e maggiormente a partire dal 2018 per il rinnovo del CCNL. La spesa per servizi ed attrezzature di base presenta una decrescita del 21,1% a causa della riduzione delle risorse ordinarie disponibili e questo si riflette in un progressivo deterioramento delle strumentazioni delle strutture. Va inoltre evidenziata anche la riduzione del 30,6% della spesa per il funzionamento delle strutture e delle infrastrutture di ricerca dell'Ente, che conferma come la riduzione dei finanziamenti senza vincolo di destinazione impatti anche l'ordinaria gestione corrente. La spesa per la ricerca, per i programmi speciali e strategici evidenzia invece un aumento del 48,9% in ragione della presenza crescente di Fondi esterni o a destinazione vincolata ed include anche le spese del personale in formazione (assegni di ricerca e borse) coinvolto.

Se da una parte il contenimento della spesa e l'aumento delle entrate con vincolo di destinazione hanno consentito di salvaguardare i livelli di eccellenza propri dell'ente, dall'altra il calo delle risorse ordinarie e il ritardo nell'erogazione dei finanziamenti ostacola una seria programmazione pluriennale. I progetti di ricerca dell'INFN si caratterizzano per una durata che può facilmente raggiungere il decennio; in questo periodo il profilo e il tipo di spesa variano considerevolmente (progettazione, ingegnerizzazione, costruzione, messa in opera e funzionamento). Sarebbe dunque indispensabile poter contare su un flusso ragionevolmente costante di risorse senza

vincolo di destinazione (o almeno su una programmazione pluriennale di finanziamento) che permetta di ottimizzare la programmazione scientifica.

## **2.2 IL PROFILO TRIENNALE DELLE RISORSE DISPONIBILI E DELLA SPESA 2018-2020**

Le previsioni di spesa per gli esercizi compresi nel bilancio pluriennale sono basate sui seguenti criteri di riferimento:

### **ENTRATE**

Le entrate per il primo esercizio del bilancio pluriennale, escluse le partite di giro, sono state determinate in € 381.975.237. Tali entrate prevedono già l'aumento della contribuzione ordinaria stimata in 14 M€ in ragione della detta cessazione del finanziamento premiale; prevede però anche l'arretrato del finanziamento premiale relativo alle annualità 2016-2017; costituendo un aumento non ricorrente delle entrate

Per gli esercizi 2019 e 2020 si prevede un decremento delle entrate a € 332.000.000 per le seguenti motivazioni:

- 1) Cessazione della contribuzione straordinaria prevista dall'art.1, comma 373, della Legge n. 208/2015 (€ 15.000.000).
- 2) Assenza di risorse premiali arretrate

La perdita di risorse premiali determina una sostanziale perdita di risorse che l'Istituto poteva destinare al miglioramento della ricerca.

### **SPESE**

I progetti di ricerca dell'Istituto si caratterizzano normalmente per una durata pluriennale che può facilmente raggiungere anche il decennio, nel corso della quale l'assorbimento di risorse finanziarie varia considerevolmente in funzione della specifica fase di sviluppo.

Le spese previste per l'anno 2018 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 dello Stato (es.: Unione Europea, Regioni, ASI, altri enti di ricerca, privati); la stima di tali fondi, effettuata su base storica, è pari a circa 19 M€.

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 predisposte in ragione delle risorse finanziarie disponibili. E' allegato al Bilancio di Previsione 2018 e non ha valore autorizzativo. Il Bilancio pluriennale presenta un'articolazione delle poste coincidente con quella del Bilancio Annuale finanziario decisionale e la prima annualità corrisponde al presente Bilancio Annuale finanziario decisionale dell'Esercizio 2018. Il Bilancio pluriennale viene annualmente aggiornato in occasione della presentazione del Bilancio di Previsione e non forma oggetto di approvazione.

Nella seguente tabella viene rappresentata la previsione finanziaria pluriennale per il triennio 2018-2020.

Bilancio Triennale	2018		2019		2020	
Personale	177.817.689	47%	162.000.000	49%	162.000.000	49%
<i>personale fondi interni</i>	165.997.689	44%	150.660.000	45%	150.660.000	45%
<i>personale fondi esterni</i>	11.820.000	3%	11.340.000	4%	11.340.000	4%
Funzionamento	27.317.680	7%	27.000.000	8%	27.000.000	8%
Attrezzature	20.494.170	5%	21.000.000	6%	21.000.000	6%
Ricerca	129.517.000	34%	95.000.000	29%	95.000.000	29%
Spese Centrali Varie	26.828.698	7%	27.000.000	8%	27.000.000	8%
<b>Grand Total</b>	<b>381.975.237</b>	<b>100%</b>	<b>332.000.000</b>	<b>100%</b>	<b>332.000.000</b>	<b>100%</b>

Dall'analisi della tabella risulta evidente che la consistente contrazione dei finanziamenti a partire dall'esercizio 2019 comporta una drastica riduzione delle spese che avrà maggiore impatto sulla ricerca, per la quale si prevede una riduzione di circa 34 M€.

Con riferimento alle spese di personale occorre precisare che la previsione 2018 comprende l'erogazione di somme arretrate legate al rinnovo del contratto e che pertanto detta spesa a partire dal 2019 si contrarrà naturalmente; un ulteriore risparmio inoltre sarà ottenuto contraendo l'assunzione di personale a tempo determinato.

Si precisa inoltre che la previsione di spesa del personale riportata nella tabella in commento 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 capitolo 3 "Risorse umane" che riporta i costi del Conto annuale.

La seguente tabella riassume il quadro complessivo delle risorse disponibili e della previsione di spesa per il triennio 2018-2020.

BILANCIO PLURIENNALE - RISORSE FINANZIARIE DISPONIBILI 2018 - 2020

(in milioni di euro)

	2018	2019	2020
<b>ENTRATE:</b>			
FOE ordinario MIUR	231,41	231,41	231,41
FOE in sostituzione premiali 2018	14,00	14,00	14,00
FOE ricerca	15,00	-	-
FOE internazionali	29,28	29,28	29,28
Assegnazione straordinaria ex premialità 2016-2017	35,19	-	-
Ministeriali	20,60	20,70	20,70
Progettuali	32,76	32,87	32,87
Entrate diverse	3,74	3,74	3,74
<b>Totale Entrate</b>	<b>381,98</b>	<b>332,00</b>	<b>332,00</b>
<b>SPESE:</b>			
<b>ATTIVITÀ DI RICERCA:</b>			
Fisica delle particelle	19,97	19,50	19,50
Fisica Astroparticellare	13,50	13,00	13,00
Fisica Nucleare	8,90	8,50	8,50
Fisica Teorica	2,87	2,50	2,50
Ricerche Tecnologiche	5,40	5,00	5,00
	50,64	48,50	48,50
Progetti strategici, speciali, Calcolo e C3M	5,90	5,50	5,50
Attività di ricerca internazionale da MIUR	23,65	12,40	12,40
Attività di ricerca da finanziamenti progettuali	23,49	12,25	12,25
Attività di ricerca da finanziamenti ministeriali	16,66	8,65	8,65
Altre attività di ricerca da finanziamenti diversi	3,18	1,70	1,70
	66,98	35,00	35,00
FONDO DI RISERVA	6,00	6,00	6,00
<b>Totale Ricerca</b>	<b>129,52</b>	<b>95,00</b>	<b>95,00</b>
<b>FUNZIONAMENTO STRUTTURE (include energia elettrica M€13,577):</b>			
LNF	10,91	10,91	10,91
LNGS	7,82	7,82	7,82
LNL	7,55	7,55	7,55
LNS	7,08	7,08	7,08
CNAF	2,69	2,69	2,69
Sezioni e Gruppi Collegati	9,05	9,24	9,24
Sistema Informativo	0,72	0,72	0,72
Ufficio Comunicazione	0,36	0,36	0,36
Organi Direttivi e Strutture Centrali	1,34	1,34	1,34
Trasferimento tecnologico	0,31	0,31	0,31
<b>Totale Funzionamento ed Attrezzature</b>	<b>47,81</b>	<b>48,00</b>	<b>48,00</b>
<b>Personale</b>	<b>177,82</b>	<b>162,00</b>	<b>162,00</b>
<b>Fondi centrali e partecipazione a Consorzi</b>	<b>26,83</b>	<b>27,00</b>	<b>27,00</b>
<b>Totale Spese</b>	<b>381,98</b>	<b>332,00</b>	<b>332,00</b>

### 3. LE RISORSE UMANE

L'Istituto nell'anno 2017 ha iniziato a utilizzare gli strumenti introdotti dal legislatore con il decreto legislativo del 25 novembre 2016, n. 218 sulla semplificazione delle attività degli enti pubblici di ricerca, emanato ai sensi dell'articolo 13 della legge 7 agosto 2014, n. 124, avviando procedure concorsuali autorizzate nel rispetto dei soli limiti di budget, disciplinati dai commi 2 e 6 dell'art. 9 del decreto, e in linea con i programmi di ricerca stabiliti dall'Istituto.

Nello stesso tempo, come già evidenziato nel precedente Piano Triennale delle Attività 2017 – 2019, l'Istituto ricorda l'importanza di tutti quegli elementi di semplificazione che non sono stati inseriti nel decreto come i passaggi di livello, gli strumenti di accesso negli Enti come la “tenure-track” e infine la gestione della componente accessoria della retribuzione, che continuano a penalizzare il personale degli enti pubblici di ricerca.

Inoltre sono ancora presenti tutti quei vincoli che rendono praticamente impossibile l'accesso del personale INFN alla carriera universitaria e viceversa, cosa che nel passato rappresentava un punto di forza e un'importante sinergia. A questo si aggiunge la difficoltà di sfruttare l'attrattività nei riguardi di studiosi (stranieri o italiani) operanti all'estero, per le condizioni al contorno – offerta economica, prospettiva di carriera, burocrazia.

La politica del personale, con particolare enfasi sul fabbisogno di personale dell'Ente, presente in questo piano triennale, elaborata nel contesto normativo attuale, punta ad ottimizzare l'utilizzo delle risorse e ad aprire delle posizioni a tempo indeterminato anche per personale tecnico e amministrativo con il duplice obiettivo di valorizzare l'esperienza professionale maturata dal personale con contratto di lavoro a tempo determinato e finalizzata al superamento del precariato e di soddisfare le esigenze di ricerca dell'ente previste per i prossimi anni.

### 3.1 L'ORGANICO INFN

La Tabella 3.1 mostra l'organico presente nell'Istituto con contratto a tempo indeterminato e determinato alla data del 31 dicembre 2017, analizzato per profili/livelli e per genere. Inoltre e solo a scopo comparativo, è riportata in tabella anche l'ultima dotazione organica dell'Istituto.

**Tabella 3.1 - Organico INFN**

Profilo	Livello	Ultima D. O.	Personale a tempo indeterminato al 31/12/2017			Personale a tempo determinato al 31/12/2017		
			M	F	Totale	M	F	Totale
Dirigente I fascia		0	0	0	0	0	0	0
Dirigente II fascia		2	0	1	1	0	0	0
Dirigente di ricerca	I	111	80	13	93	1	0	1
Primo ricercatore	II	265	194	61	255	1	1	2
Ricercatore	III	221	222	60	282	40	12	52
Dirigente tecnologo	I	42	36	3	39	0	0	0
Primo tecnologo	II	86	69	11	80	4	1	5
Tecnologo	III	146	109	26	135	86	22	108
Collaboratore tecnico E.R.	IV	298	273	15	288	1	0	1
Collaboratore tecnico E.R.	V	171	161	8	169	3	2	5
Collaboratore tecnico E.R.	VI	93	70	6	76	65	4	69
Operatore tecnico	VI	67	56	3	59	1	0	1
Operatore tecnico	VII	11	10	0	10	0	0	0
Operatore tecnico	VIII	10	28	7	35	2	0	2
Funzionario di amministrazione	IV	46	9	25	34	0	0	0
Funzionario di amministrazione	V	16	3	13	16	1	6	7
Collaboratore di amministrazione	V	145	22	116	138	0	0	0
Collaboratore di amministrazione	VI	56	13	43	56	0	0	0
Collaboratore di amministrazione	VII	15	1	9	10	11	50	61
Operatore di amministrazione	VII	6	0	4	4	0	0	0
Operatore di amministrazione	VIII	1	5	7	12	0	0	0
<b>Totale</b>		<b>1.808</b>	<b>1.361</b>	<b>431</b>	<b>1.792</b>	<b>216</b>	<b>98</b>	<b>314</b>

Come si può vedere a fronte di 1792 dipendenti a tempo indeterminato alla data del 31 dicembre (di cui 630 ricercatori, 254 tecnologi, 637 tecnici, 270 amministrativi) l'Ente ha in essere alla stessa data 314 contratti a tempo determinato, principalmente legati a progetti di durata definita (tipicamente da 2 a 4 anni) finanziati su fondi esterni, quali ad esempio i programmi europei FP7 o HORIZON2020.

**Tabella 3.2a – Altro personale**

Altro Personale	Personale in servizio al 31/12/2017								
	Impiegati in ricerca			Non impiegato in ricerca			Dati complessivi		
	M	F	Totale	M	F	Totale	M	F	Totale
Assegnisti	171	86	257	2	3	5	173	89	262
Borsisti	84	24	108	10	9	19	94	33	127
Co.Co.Co	5		5	4	2	6	9	2	11
Comandi in Entrata	3	0	3	0	5	5	3	5	8
<b>Totale</b>	<b>263</b>	<b>110</b>	<b>373</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>35</b>	<b>279</b>	<b>129</b>	<b>408</b>

La Tabella 3.2a mostra, sempre alle date del 31 dicembre 2017, il restante personale dell'Istituto, suddiviso per genere, principalmente composto da giovani in formazione quali borsisti e assegnisti. Questo personale viene principalmente impiegato per attività di ricerca e numericamente è circa pari al 40% del personale ricercatore e tecnologo.

**Tabella 3.2b – Personale associato**

Personale associato con tipi di associazione	Personale impiegato in ricerca al 31/12/2017			
	M	F	Totale	%
Incarichi di ricerca	619	145	764	20%
Assegnisti	208	98	306	8%
Borsisti	38	15	53	1%
Dottorandi	649	228	877	23%
Altre associazioni	1268	322	1590	42%
Associazioni tecniche	161	27	188	5%
<b>Totale</b>	<b>2.943</b>	<b>835</b>	<b>3.778</b>	<b>100%</b>

L'Istituto si avvale 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 3.2b. Come si può vedere circa il 30% del personale associato è rappresentato da personale in formazione, quale 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 degli 877 Dottorandi associati ben 263 (pari a circa il 30%) sono direttamente finanziati dall'INFN, tramite opportuni accordi e convenzioni con le Università.

### **3.2 BUDGET E SPESE DI PERSONALE**

L'Istituto, nell'ambito della propria autonomia, definisce la programmazione per il reclutamento del personale nel rispetto del limite massimo consentito dall'art. 9, commi 2, 4 e 6 del decreto legislativo 218 del 2016. In particolare tali commi stabiliscono che l'indicatore del limite massimo alle spese di personale è 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. Negli Enti tale rapporto non può superare l'80%. Inoltre, il comma 4 stabilisce che il calcolo delle spese complessive del personale è dato dalla somma algebrica delle spese di competenza dell'anno di riferimento, comprensive degli oneri a carico dell'amministrazione, al netto di quelle sostenute per personale con contratto a tempo determinato la cui copertura sia stata assicurata da finanziamenti esterni di soggetti pubblici o privati.

Come emerge dalla tabella 3.8 alla data del 31 dicembre 2017 il rapporto della previsione di spese di personale rispetto alla media delle entrate complessive dell'ente è pari al 34,68%.

Con circolare n. 72298 del 13 dicembre 2017 la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Funzione Pubblica ha calcolato per ciascun Ente il costo medio annuo di riferimento del profilo del Dirigente di ricerca, così come indicato dall'articolo 9, comma 6, lettera c) del decreto legislativo 218 del 2016. Tale costo medio è stato utilizzato per definire il costo delle nuove assunzioni, delle progressioni e delle previste cessazioni riportate nell'indicatore del rapporto assunzionale della tabella 3.9.

Si evidenzia che il costo complessivo delle assunzioni previste è largamente inferiore al margine a disposizione dell'Istituto rispetto al limite dell'80%. Questo aspetto è ripreso e sviluppato nella sezione successiva dedicata al fabbisogno del personale.

### **3.3 IL FABBISOGNO DEL PERSONALE**

Tenuto conto degli ambiziosi obiettivi di ricerca, che l'INFN ha pianificato nel triennio 2018 – 2020, e considerata la raccomandazione del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca n. 0003284 del 13 febbraio 2015 con la quale esorta l'Istituto ad attivare tutte le azioni necessarie per potenziare l'organico onde far fronte agli impegni assunti e a consolidare il ruolo internazionale acquisito dall'INFN, sempre nel rispetto delle disponibilità di bilancio, l'Istituto presenta il proprio fabbisogno di personale nel triennio di riferimento con i seguenti obiettivi:

- a) completare le assunzioni previste nei PTA 2015 – 2017, 2016 - 2018 e 2017 - 2019;
- b) assumere due Dirigenti amministrativi, di cui uno attraverso lo strumento della mobilità;
- c) ripopolare i livelli dei Dirigenti di ricerca e dei Primi ricercatori e Primi tecnologi per avere personale qualificato per coprire ruoli di responsabilità anche nel contesto internazionale e per venire incontro alle esigenze di progressione di carriera;
- d) assumere giovani Tecnologi di alta specializzazione che possano contribuire alla realizzazione dei progetti previsti nei prossimi anni o alla gestione dei servizi tecnologici di avanguardia dell'Ente;
- e) assumere per i livelli IV – VIII 43 tecnici (41 Collaboratori tecnici ER e 2 Operatori tecnici), 51 amministrativi (6 Funzionari di amministrazione e 45 Collaboratori di amministrazione) continuando la politica assunzionale iniziata nei precedenti Piani Triennali, con gli obiettivi di rispondere nei prossimi anni alle stringenti richieste poste dagli upgrade degli esperimenti LHC e da altri progetti internazionali, quali ad esempio quelli riguardanti la fisica del neutrino, le onde gravitazionali e la ricerca della materia oscura, e nello stesso tempo favorire il superamento del precariato del personale tecnico amministrativo in servizio a tempo determinato presso l'INFN, ai sensi dell'articolo 20, comma 1 del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, n. 75;
- f) assumere 1 Dirigente di ricerca e 2 Primi ricercatori attraverso lo strumento del rientro dei cervelli previsto con la specifica circolare relativa all'annualità del 2016;
- g) completare l'assunzione su vari profili tecnici e amministrativi di personale appartenente alle categorie protette di cui alla legge 68/99;
- h) bandire 200 progressioni di livello nei profili ex art. 54 del CCNL del 21 febbraio 2002, previa sottoscrizione con le OO.SS. di un contratto collettivo integrativo con il quale verranno definite le modalità attuative di tali procedure e le risorse economiche necessarie per finanziare il relativo fondo. Tale accordo integrativo è soggetto all'accertamento congiunto, da parte della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Funzione Pubblica e dal Ministero dell'economia e delle finanze, della compatibilità economico-finanziaria ex art. 40 bis del D. Lgs. 165/01;
- i) bandire 72 posizioni di passaggio di profilo a parità di livello ex art. 52 del CCNL del 21 febbraio 2002;
- j) favorire una più efficiente ripartizione del personale tra le varie strutture INFN presenti sul territorio nazionale;
- k) migliorare la qualità della ricerca dell'intero Istituto.

Come già evidenziato nel precedente PTA l'Istituto, per la pianificazione del proprio fabbisogno, ha preso in considerazione anche l'importante aspetto legato all'aumento dell'età media tra il

personale assunto a tempo indeterminato. Questo fenomeno, che rischia di indebolire l'intera attività di ricerca, ha cominciato a trovare una risposta già dal precedente PTA attraverso l'assunzione di nuovi giovani dipendenti.

Nella Tabella 3.3 è riassunto il fabbisogno del personale INFN per l'anno 2018. Nelle prime colonne è mostrato il personale in servizio alla data del 31 dicembre 2017, e il numero di assunzioni previste sulla base dei concorsi conclusi e di quelli già autorizzati con l'approvazione dei precedenti Piani triennali.

**Tabella 3.3 – Fabbisogno di personale INFN anno 2018**

Profilo e livello	Personale in servizio al 31/12/2017	FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2018 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII																		Previsione di personale in servizio al 31/12/2018		
		Assunzioni											Progressioni									
		Personale da assumere PTA 2015 - 2017		Personale da assumere PTA 2016 - 2018		Personale da assumere PTA 2017 - 2019			Autorizzazioni ad assumere PTA 2018 - 2020		Rientro dei cervelli anno 2016			Rientro dei cervelli ex D. Lgs. 218/16	Rispetto obblighi legge 68/99	Cessanti anno 2018	Attuazione art. 65 del CCNL avviato nel 2017	Attuazione art. 65 del CCNL	Attuazione art. 54 del CCNL		Attuazione art. 52 del CCNL	Posti liberati con i concorsi e con le progressioni
		Vincitori	Idonei	Vincitori	Riserve	Vincitori	Riserve	Mobilità	Vincitori	Riserve	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3									
Dirigente I fascia	0																					0
Dirigente II fascia	1					1		1														3
Dirigente di ricerca	93	10							30		1					6						128
Primo ricercatore	255								32		2					2					40	247
Ricercatore	282														1	1	2				32	252
Dirigente tecnologo	39					12									1							50
Primo tecnologo	80	1				25			2						0						12	96
Tecnologo	135	1			9	5			22						1						30	141
CTER IV	288			1											1			98				386
CTER V	169								5								44			98		120
CTER VI	76	1							36						4					20	44	93
Op.tec. VI	59								1								6			20		46
Op.tec. VII	10																5				6	9
Op.tec. VIII	35								1												5	53
Funz. Amm. IV	34															2				9		41
Funz. Amm. V	16								6											50	9	63
Coll. Amm. V	138															3				32	50	117
Coll. Amm. VI	56																			6	32	30
Coll. Amm. VII	10								45												2	62
Op. Amm. VII	4																			0	2	2
Op. Amm. VIII	12														4						0	16
<b>Totale</b>	<b>1.792</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>43</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>180</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>42</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>200</b>	<b>72</b>	<b>386</b>	<b>1.955</b>

Nelle colonne successive la tabella evidenzia i concorsi che l'Istituto intende bandire e le posizioni che intende coprire con chiamate dirette nell'ambito del programma per il rientro dei cervelli.

Le colonne successive riassumono le autorizzazioni richieste per il 2018. In particolare si richiede l'autorizzazione a bandire e ad assumere per le seguenti posizioni:

- 2 Dirigenti amministrativi, uno attraverso lo strumento della mobilità e un secondo con un concorso pubblico;
- 30 Dirigenti di ricerca
- 32 Primi ricercatori
- 2 Primi tecnologi
- 22 Tecnologi
- 5 Collaboratori Tecnici (CTER) di V livello
- 36 Collaboratori Tecnici (CTER) di VI livello
- 1 Operatore tecnico di VI livello
- 1 Operatore tecnico di VIII livello
- 6 Funzionari di amministrazione
- 45 Collaboratori di Amministrazione di VII livello
- 1 Ricercatore di III livello (appartenenti alle categorie protette)
- 4 Collaboratori Tecnici (CTER) di VI livello (appartenenti alle categorie protette)

- 22 Operatori tecnici VIII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 11 Collaboratori di amministrazione di VII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 4 Operatori di amministrazione VIII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 200 progressioni di livello nei profili ex art. 54 del CCNL del 21 febbraio 2002
- 72 passaggi di profilo a parità di livello ex art. 52 del CCNL del 21 febbraio 2002

Si fa presente che le autorizzazioni ad assumere relative ai profili appartenenti ai livelli IV – VIII, ottenute con i Piani triennali precedenti, sono assorbite dalle richieste per l'anno 2018 esplicitate nella tabella 3.3 e nell'elenco sopra riportato.

Inoltre, l'Istituto è intenzionato a dare seguito alla chiamata diretta di 1 Dirigente di ricerca e 2 Primi ricercatori a seguito della relativa circolare ministeriale per l'annualità del 2016.

L'Istituto con deliberazione n. 14612 del 22 dicembre 2017 ha avviato la procedura per il superamento del precariato, ai sensi dell'art. 20 comma 1 del D. Lgs. N. 75/2017, a seguito di domanda del personale non dirigenziale in servizio a tempo determinato presso l'INFN alla data del 31 dicembre 2017 e inquadrato nei soli profili tecnici e amministrativi. A tale scopo l'Istituto ha previsto per l'anno 2018 un piano assunzionale dedicato al personale inquadrato nei profili tecnici-amministrativi in servizio a tempo determinato presso l'INFN in possesso dei requisiti previsti dalla normativa sopra citata. Tale pianificazione è stata definita in relazione alle esigenze dei programmi di ricerca e delle necessità funzionali delle strutture INFN. Nei prossimi anni INFN sarà particolarmente impegnato nella realizzazione degli upgrade dei rivelatori per LHC, nel potenziamento dello spettrometro Virgo per la misura delle onde gravitazionali, nella realizzazione di nuovi esperimenti, in particolare presso il laboratorio nazionale del Gran Sasso, per lo studio della fisica del neutrino e per la ricerca di materia oscura. In particolare, l'esigenza di riservare questa modalità al solo personale tecnico amministrativo, scaturisce anche dagli effetti legati all'applicazione delle norme contenute nel decreto legge 6 luglio 2012 n. 95, convertito con modificazioni dalla Legge 7 agosto 2012, n. 135 ("Spending review") che ha avuto un impatto solo per i profili tecnici e amministrativi. Infatti, negli ultimi anni, l'Istituto si è trovato nell'impossibilità di assumere a tempo indeterminato un adeguato numero di tale personale con un impatto diretto sul funzionamento delle strutture INFN.

Le Tabelle 3.4 e 3.5 mostrano le stesse informazioni rispettivamente per gli anni 2019 e 2020.

In particolare, si evidenzia che per l'anno 2019, l'Istituto richiede l'autorizzazione a bandire e ad assumere per

- 24 Primi tecnologi
- 21 Tecnologi
- 8 Collaboratori Tecnici CTER di VI livello (appartenenti alle categorie protette)
- 1 Funzionario di amministrazione di V livello (appartenente alle categorie protette)
- 4 Collaboratori di Amministrazione VII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 12 Operatori tecnici VIII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 3 Operatori di amministrazione VIII livello (appartenenti alle categorie protette)

**Tabella 3.4 – Fabbisogno di personale INFN anno 2019**

FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2019 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII												
Profilo e livello	Personale in servizio al 31/12/2018	Assunzioni				Cessanti anno 2019	Progressioni				Posti liberati con i concorsi e con le progressioni	Previsione di personale in servizio al 31/12/2019
		Autorizzazioni a bandire PTA 2018 - 2020		Rientro dei cervelli ex D. Lgs. 218/16	Rispetto obblighi legge 68/99		Attuazione art. 65 del CCNL avviato nel 2017	Attuazione art. 65 del CCNL	Attuazione art. 54 del CCNL	Attuazione art. 52 del CCNL		
		Vincitori	Riserve									
Dirigente I fascia	0											0
Dirigente II fascia	3											3
Dirigente di ricerca	128					2						126
Primo ricercatore	247					2						245
Ricercatore	252					2						250
Dirigente tecnologo	50					0						50
Primo tecnologo	96	24				1						119
Tecnologo	141	21				0					24	138
CTER IV	386					4						382
CTER V	120											120
CTER VI	93				8							101
Op.tec. VI	46					1						45
Op.tec. VII	9											9
Op.tec. VIII	53				12							65
Funz. Amm. IV	41					1						40
Funz. Amm. V	63				1							64
Coll. Amm. V	117					1						116
Coll. Amm. VI	30											30
Coll. Amm. VII	62				4							66
Op. Amm. VII	2											2
Op. Amm. VIII	16				3							19
<b>Totale</b>	<b>1.955</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>1.990</b>

Infine, per l'anno 2020 la Tabella 3.5 evidenzia la richiesta a bandire e ad assumere per le seguenti posizioni:

- 30 Primi ricercatori
- 3 Collaboratori tecnici ER VI livello (appartenenti alle categorie protette)
- 7 Operatori tecnici VIII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 2 Collaboratori di amministrazione VII livello (appartenenti alle categorie protette)
- 2 Operatori di amministrazione VIII livello (appartenenti alle categorie protette)

**Tabella 3.5 – Fabbisogno di personale INFN anno 2020**

FABBISOGNO DI PERSONALE INFN ANNO 2020 PER DIRIGENTE, LIVELLI I - III e IV - VIII												
Profilo e livello	Personale in servizio al 31/12/2019	Assunzioni				Cessanti anno 2020	Progressioni				Posti liberati con i concorsi e con le progressioni	Previsione di personale in servizio al 31/12/2020
		Autorizzazioni a bandire PTA 2018 - 2020		Rientro dei cervelli ex D. Lgs. 218/16	Rispetto obblighi legge 68/99		Attuazione art. 65 del CCNL avviato nel 2017	Attuazione art. 65 del CCNL	Attuazione art. 54 del CCNL	Attuazione art. 52 del CCNL		
		Vincitori	Riserve									
Dirigente I fascia	0											0
Dirigente II fascia	3											3
Dirigente di ricerca	126					4						122
Primo ricercatore	245	30				3						272
Ricercatore	250					1					30	219
Dirigente tecnologo	50					3						47
Primo tecnologo	119					1						118
Tecnologo	138					0						138
CTER IV	382					6						376
CTER V	120											120
CTER VI	101				3							104
Op.tec. VI	45					1						44
Op.tec. VII	9											9
Op.tec. VIII	65				7	1						71
Funz. Amm. IV	40					1						39
Funz. Amm. V	64											64
Coll. Amm. V	116					3						113
Coll. Amm. VI	30											30
Coll. Amm. VII	66				2							68
Op. Amm. VII	2											2
Op. Amm. VIII	19				2							21
<b>Totale</b>	<b>1.990</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>1.980</b>

Con l'invio dell'ultimo prospetto informativo on line, di cui all'art. 9, comma 6, della legge 68/99, avvenuto in data gennaio 2017, si fa presente che l'Istituto, al fine di adempiere all'obbligo di assunzione per il personale disabile, legge 68/99 art. 1, e per il personale appartenente alle categorie protette, legge 68/99 art. 18, ha deciso di avvalersi di quanto previsto dall'art. 7, comma 2 del DPR 333/2000, e ha inviato una comunicazione entro i termini stabiliti dalla legge, tramite PEC, a tutti i Centri per l'impiego a cui afferiscono tutte le strutture INFN presenti sul territorio nazionale, per la richiesta di una proposta di convenzioni ai sensi dell'art. 11 della legge 68/99.

Alla data odierna su 19 Centri per l'impiego, a cui abbiamo inviato la comunicazione, quasi tutti hanno risposto e con essi l'Istituto ha sottoscritto una convenzione.

Le convenzioni sottoscritte prevedono un piano assunzionale diluito nel tempo per permettere all'Istituto di attuare tutte le misure necessarie per favorire un inserimento mirato, così come prevede la normativa in vigore. Alla data del 31 dicembre 2017 il personale appartenente alle categorie protette in servizio presso l'Istituto è pari a 60 unità. Dai dati comunicati dal Ministero del Lavoro sulla base del personale in servizio alla data del 31/12/2016, ridotto a seguito delle assunzioni già effettuate in corso d'anno, l'Istituto dovrà ancora assumere un totale di 84 dipendenti appartenenti alle categorie protette, di cui 75 art. 1 (disabili) e 9 art. 18 (altre categorie).

La tabella 3.6 riporta in dettaglio il personale in servizio appartenente alle categorie protette distribuito tra i diversi profili e livelli.

**Tabella 3.6 – Distribuzione del personale in servizio appartenente alle categorie protette**

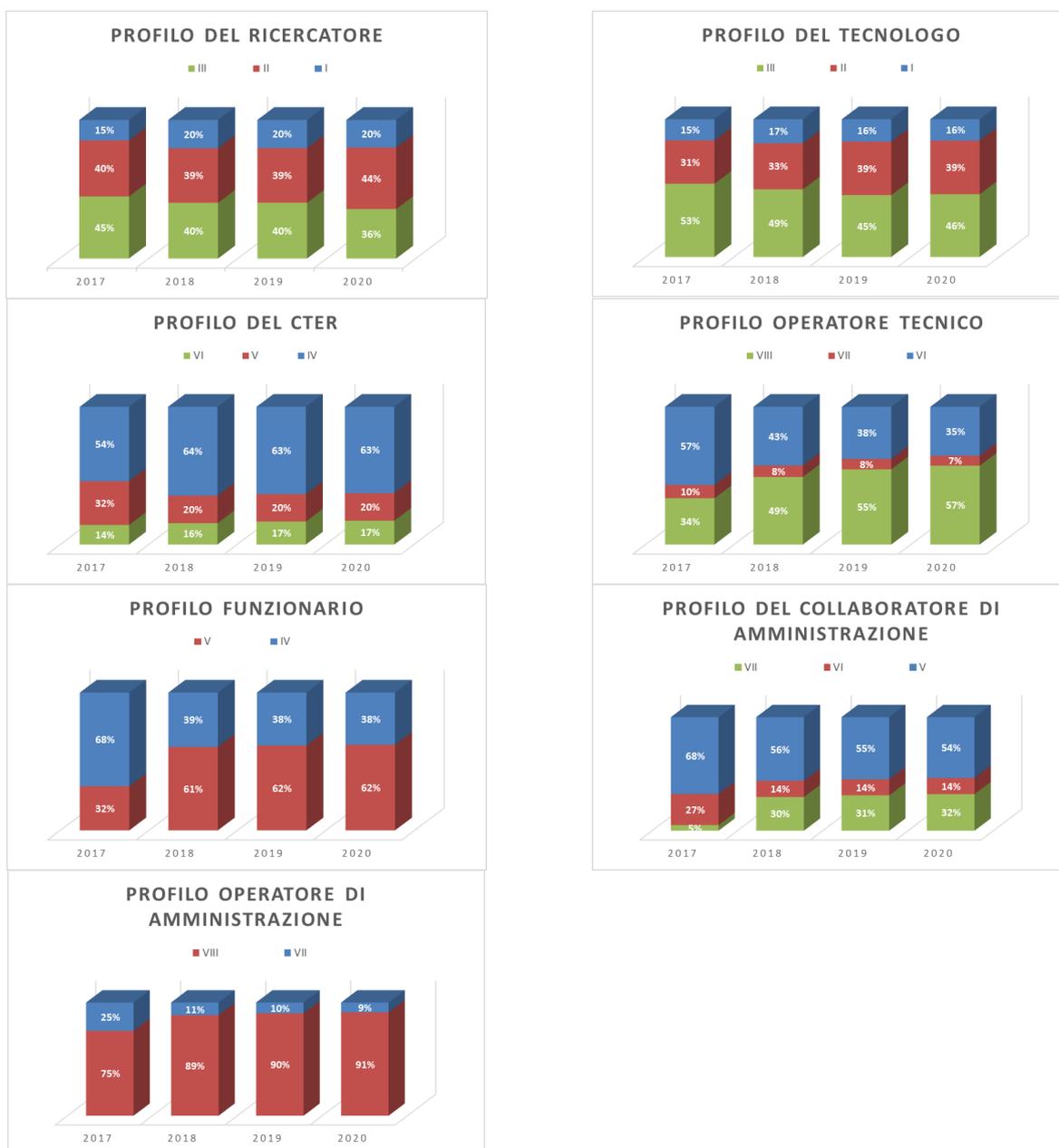
Profili	Personale in servizio al 31/12/2017		
	Art. 1	Art. 18	Totale
Ricercatore	3		3
CTER IV	3	1	4
CTER V	2		2
CTER VI	1		1
Op.tec. VI	1		1
Op.tec. VII	2		2
Op.tec. VIII	20	7	27
Funz. Amm. V	1		1
Coll. Amm. V	2	2	4
Coll. Amm. VI	2		2
Coll. Amm. VII	1		1
Op. Amm. VIII	11	1	12
<b>Totale</b>	<b>49</b>	<b>11</b>	<b>60</b>

Infine, la Tabella 3.7 sintetizza nel triennio di riferimento il numero delle persone presenti per ciascun profilo e livello con la percentuale di posizioni rispetto a ciascun profilo.

**Tabella 3.7 – Evoluzione del fabbisogno dei tempi indeterminati nel triennio di riferimento**

A TEMPO INDETERMINATO	Livello	2017		2018		2019		2020	
		N	% nel profilo						
Dirigente I fascia		0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Dirigente II fascia		1	100%	3	100%	3	100%	3	100%
Dirigente di ricerca	I	93	15%	128	20%	126	20%	122	20%
Primo ricercatore	II	255	40%	247	39%	245	39%	272	44%
Ricercatore	III	282	45%	252	40%	250	40%	219	36%
Dirigente tecnologo	I	39	15%	50	17%	50	16%	47	16%
Primo tecnologo	II	80	31%	96	33%	119	39%	118	39%
Tecnologo	III	135	53%	141	49%	138	45%	138	46%
Collaboratore tecnico E.R.	IV	288	54%	386	64%	382	63%	376	63%
Collaboratore tecnico E.R.	V	169	32%	120	20%	120	20%	120	20%
Collaboratore tecnico E.R.	VI	76	14%	93	16%	101	17%	104	17%
Operatore tecnico	VI	59	57%	46	43%	45	38%	44	35%
Operatore tecnico	VII	10	10%	9	8%	9	8%	9	7%
Operatore tecnico	VIII	35	34%	53	49%	65	55%	71	57%
Funzionario di amministrazione	IV	34	68%	41	39%	40	38%	39	38%
Funzionario di amministrazione	V	16	32%	63	61%	64	62%	64	62%
Collaboratore di amministrazione	V	138	68%	117	56%	116	55%	113	54%
Collaboratore di amministrazione	VI	56	27%	30	14%	30	14%	30	14%
Collaboratore di amministrazione	VII	10	5%	62	30%	66	31%	68	32%
Operatore di amministrazione	VII	4	25%	2	11%	2	10%	2	9%
Operatore di amministrazione	VIII	12	75%	16	89%	19	90%	21	91%
<b>Totale</b>		<b>1.792</b>		<b>1.955</b>		<b>1.990</b>		<b>1.980</b>	

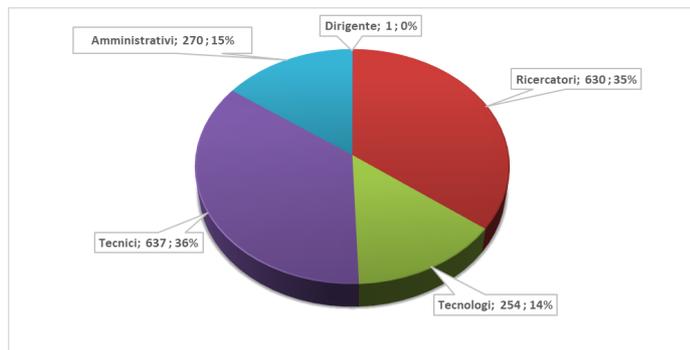
Al fine di meglio evidenziare le dinamiche relative alla distribuzione del personale per ciascun profilo nel previsto triennio, si riportano i seguenti istogrammi.



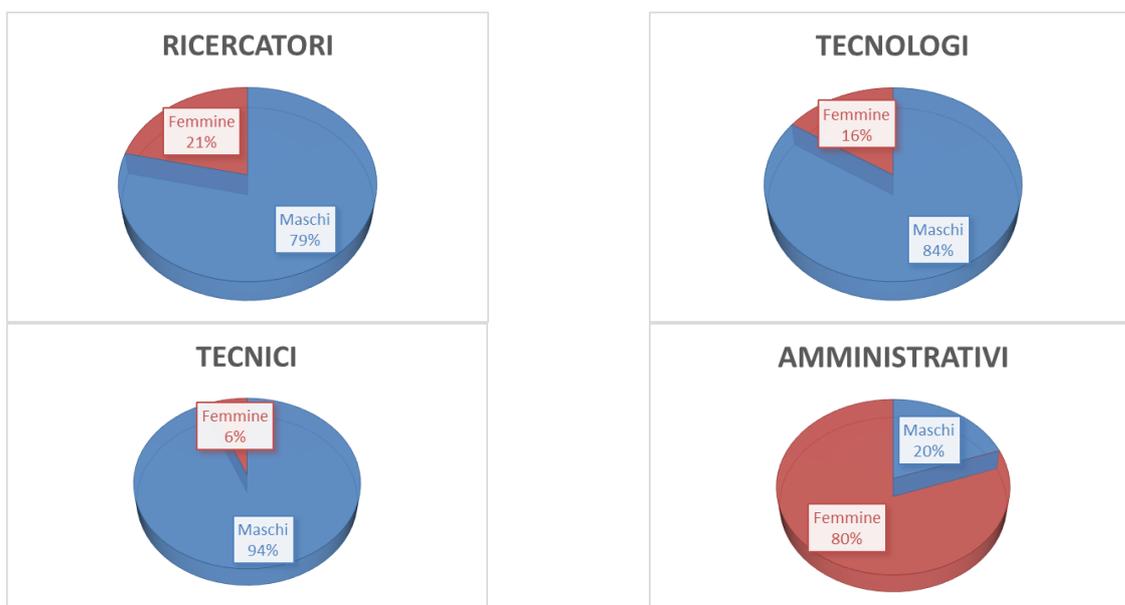
Come si può vedere la distribuzione sui livelli del personale ricercatore e tecnologo è molto simile. Circa il 15%/20% del personale si trova nella fascia apicale (I livello), mentre il personale al II e III livello si aggira rispettivamente attorno al 40%. La programmazione dell'Ente prevede nei prossimi anni di raggiungere una distribuzione sui tre livelli pari rispettivamente al 20%, 45% e 35%. Per i livelli IV-VIII la distribuzione risente pesantemente delle assunzioni legate alle categorie protette, soprattutto per i profili di Operatore tecnico e Operatore di amministrazione, e per l'impatto congiunto delle progressioni di carriera legate al passaggio di personale ai livelli superiori all'interno dello stesso profilo (art. 54 del CCNL) e al cambio di profilo a parità di livello (art. 52 del CCNL) che l'Istituto intende attuare nell'anno in corso.

Alla data del 31 dicembre 2017 l'organico complessivo dell'Istituto ammonta a 1.792 unità di personale. La distribuzione per macro categorie dei profili presenti nell'Istituto (ricercatore, tecnologo, tecnico e amministrativo) riportata nel seguente grafico evidenzia che la categoria più numerosa è quella dei tecnici con un totale di 637 unità e pari al 36% del totale del personale, mentre gli amministrativi, con 270 unità, pari al 15%, sono molto al di sotto del valore medio del comparto. I tecnologi sono il profilo meno popolato con un totale di 254 unità pari al 14% del totale.

È interessante notare che si registra una sostanziale parità tra i profili appartenenti ai livelli I – III e quelli dei livelli IV – VIII. Infine, si evidenzia che l'Istituto nel suo organico ha un solo dirigente amministrativo di II fascia.

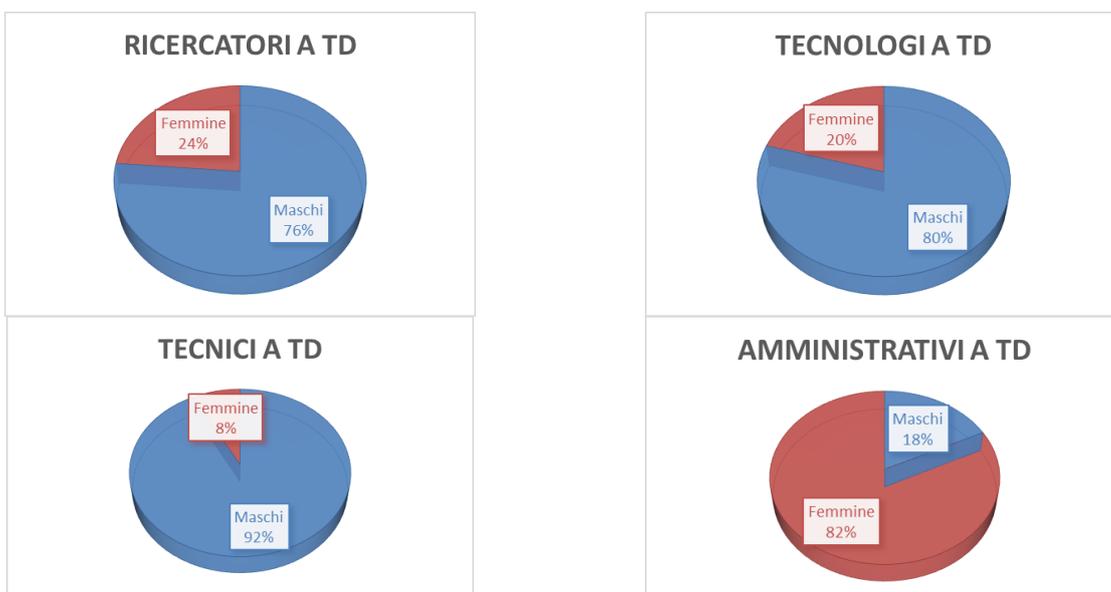


La componente maschile sul dato complessivo è pari a circa il 76%. Interessante è la distribuzione di genere nei rispettivi profili. Come si evidenzia nei seguenti grafici la percentuale degli uomini nei profili di ricercatore, tecnologo e tecnico è maggioritaria, fino ad arrivare per i profili tecnici al 94%. Mentre nei profili amministrativi il rapporto si inverte e la percentuale delle donne è di molto superiore.



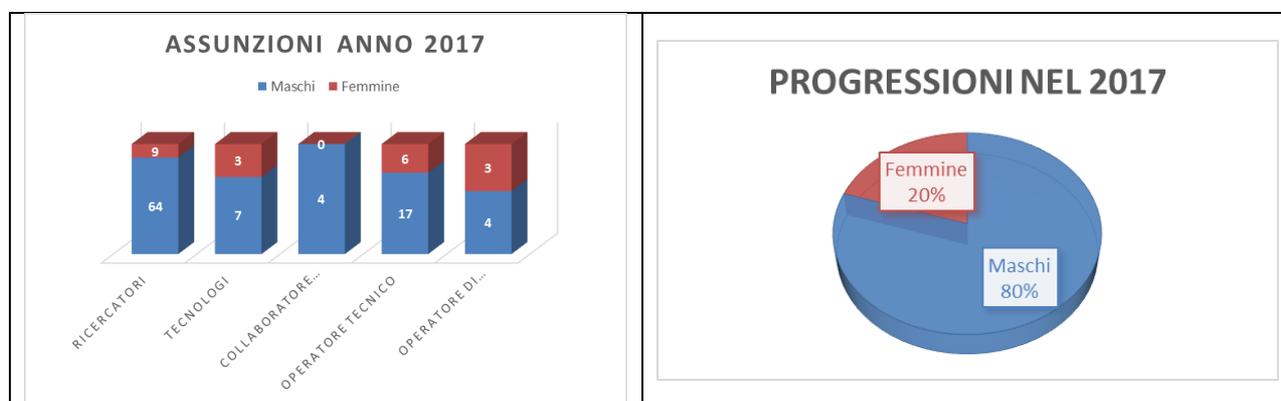
È interessante notare che tali squilibri sono, seppur di poco, attenuati con il personale a tempo determinato. Su un totale di 314 dipendenti il 31% è di genere femminile con un differenziale positivo di 7 punti percentuali rispetto alla percentuale di dipendenti a tempo indeterminato di genere femminile.

I seguenti grafici evidenziano la distribuzione di genere tra i diversi profili per il personale a tempo determinato.



Le assunzioni che si sono concluse nel 2017 hanno purtroppo incrementato tale sbilanciamento in quanto la percentuale di personale assunto di genere maschile è stata complessivamente superiore all'80%. In particolare, tale squilibrio è stato maggiore con le assunzioni dei tecnici. Infatti la percentuale di assunzioni di personale di genere maschile è stata del 100% per i tecnici e dell'88% per i ricercatori.

L'ente guarda con attenzione alle politiche di parità e pari opportunità per le lavoratrici e i lavoratori e ha promosso pratiche che tendano a compensare questa situazione, come ad esempio la costituzione di appositi gruppi di lavoro (par. 3.4).



Anche in merito alle progressioni concluse nell'anno 2017 i dipendenti di genere maschile che hanno ottenuto una promozione sono stati pari all'80%, come è evidenziato dal grafico sopra riportato. Tale percentuale rispecchia la distribuzione di genere presente nel profilo di ricercatore di III livello, che corrisponde all'insieme del personale coinvolto nel concorso per 10 posizioni di Primo ricercatore concluso nell'anno.

Per quanto riguarda invece l'indicatore del limite massimo alle spese di personale alla data del 31 dicembre 2017, calcolato con il rapporto tra le spese complessive per il personale di competenza dell'anno di riferimento con la media delle entrate complessive dell'Istituto dell'ultimo triennio è pari al 34,68%. Tale percentuale, esplicitata nella tabella 3.8, evidenzia che l'Istituto vanta un rapporto ampiamente al di sotto della percentuale limite dell'80% stabilita dall'art. 9, comma 2 del D. Lgs. 218 del 2016.

**Tabella 3.8 – Primo indicatore rapporto assunzionale**

Indicatore art. 9, comma 2 del D. Lgs 218/2016	2017
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2017	€ 130.000.000,00
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 374.880.542,00
<b>Rapporto assunzionale al 31/12/2017</b>	<b>34,68%</b>

Come stabilisce l'art. 9 co. 4 del D. Lgs. 218/16, il calcolo delle spese complessive del personale è stato definito dalla somma algebrica delle spese di competenza dell'anno di riferimento, comprensive degli oneri a carico dell'amministrazione, al netto di quelle sostenute per personale con contratto a tempo determinato la cui copertura sia stata assicurata da finanziamenti esterni di soggetti pubblici o privati. In particolare si precisa che il dato di previsione di spesa del personale è stato calcolato come preconsuntivo sulla base dei costi effettivamente sostenuti dall'istituto alla data del 30/09/2017 più la previsione per i restanti mesi fino al 31/12/2017. Mentre i costi per le assunzioni, le progressioni e i risparmi legati alle future cessazioni, che hanno un impatto sull'anno 2018, sono stati determinati sulla base del costo medio annuo definito nella circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 72298 del 13 dicembre 2018.

**Tabella 3.9 – Secondo indicatore rapporto assunzionale**

Indicatore art. 9, comma 6 lett b) del D. Lgs 218/2016	2018
Previsione di spesa complessiva per il personale al 31/12/2017	€ 130.000.000,00
Media delle entrate complessive dell'ultimo triennio	€ 374.880.542,00
Costo delle assunzioni e delle progressioni previste nel 2018	€ 11.885.136,01
Risparmio ottenuto con le cessazioni previste nel 2018	€ 2.465.107,90
<b>Rapporto assunzionale previsto al 31/12/2018 a media delle entrate invariata</b>	<b>37,19%</b>

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 2018 è inferiore al margine a disposizione rispetto al limite dell'80%. Infine, la tabella evidenzia anche che alla data del 31 dicembre 2018, 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 al 37,19%.

La tabella 3.10 mostra l'andamento del fabbisogno del personale a tempo indeterminato nel triennio di riferimento con l'evidenza della spesa complessiva determinata con il personale presente alla data del 31/12 di ciascun anno e calcolata sulla base del costo medio. L'importo relativo all'anno 2017 differisce dalla previsione di spesa complessiva riportata nelle tabelle 3.8 e 3.9 in quanto quest'ultima contiene anche i costi del personale dipendente a tempo determinato e risente inoltre dell'andamento del personale nel corso dei dodici mesi che influenza diversamente rispetto ai costi calcolati sulla base del personale al 31/12.

**Tabella 3.10 – Fabbisogno del personale a tempo indeterminato nel triennio di riferimento**

A TEMPO INDETERMINATO	Livello	Personale al 31/12/2017		Previsione al 31/12/2018		Previsione al 31/12/2019		Previsione al 31/12/2020	
		N	Costo	N	Costo	N	Costo	N	Costo
Dirigente I fascia		0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Dirigente II fascia		1	€ 132.860,68	3	€ 398.582,04	3	€ 398.582,04	3	€ 398.582,04
Dirigente di ricerca	I	93	€ 11.541.232,11	128	€ 15.884.706,56	126	€ 15.636.508,02	122	€ 15.140.110,94
Primo ricercatore	II	255	€ 21.677.039,99	247	€ 20.996.975,99	245	€ 20.826.959,99	272	€ 23.122.175,99
Ricercatore	III	282	€ 15.818.189,35	252	€ 14.135.403,25	250	€ 14.023.217,51	219	€ 12.284.338,54
Dirigente tecnologo	I	39	€ 4.578.518,47	50	€ 5.869.895,47	50	€ 5.869.895,47	47	€ 5.517.701,74
Primo tecnologo	II	80	€ 6.651.720,87	96	€ 7.982.065,05	119	€ 9.894.434,80	118	€ 9.811.288,29
Tecnologo	III	135	€ 7.086.688,81	141	€ 7.401.652,76	138	€ 7.244.170,79	138	€ 7.244.170,79
Collaboratore tecnico E.R.	IV	288	€ 13.009.574,67	386	€ 17.436.443,83	382	€ 17.255.755,29	376	€ 16.984.722,49
Collaboratore tecnico E.R.	V	169	€ 6.501.560,76	120	€ 4.616.492,84	120	€ 4.616.492,84	120	€ 4.616.492,84
Collaboratore tecnico E.R.	VI	76	€ 2.678.558,64	93	€ 3.277.709,92	101	€ 3.559.663,46	104	€ 3.665.396,04
Operatore tecnico	VI	59	€ 2.079.407,37	46	€ 1.621.232,86	45	€ 1.585.988,67	44	€ 1.550.744,48
Operatore tecnico	VII	10	€ 309.007,18	9	€ 278.106,46	9	€ 278.106,46	9	€ 278.106,46
Operatore tecnico	VIII	35	€ 1.146.677,25	53	€ 1.736.396,99	65	€ 2.129.543,47	71	€ 2.326.116,72
Funzionario di amministrazione	IV	34	€ 1.535.852,57	41	€ 1.852.057,51	40	€ 1.806.885,37	39	€ 1.761.713,24
Funzionario di amministrazione	V	16	€ 615.532,38	63	€ 2.423.658,74	64	€ 2.462.129,52	64	€ 2.462.129,52
Collaboratore di amministrazione	V	138	€ 5.308.966,77	117	€ 4.501.080,52	116	€ 4.462.609,75	113	€ 4.347.197,43
Collaboratore di amministrazione	VI	56	€ 1.973.674,79	30	€ 1.057.325,78	30	€ 1.057.325,78	30	€ 1.057.325,78
Collaboratore di amministrazione	VII	10	€ 309.007,18	62	€ 1.915.844,53	66	€ 2.039.447,40	68	€ 2.101.248,84
Operatore di amministrazione	VII	4	€ 123.602,87	2	€ 61.801,44	2	€ 61.801,44	2	€ 61.801,44
Operatore di amministrazione	VIII	12	€ 393.146,49	16	€ 524.195,32	19	€ 622.481,94	21	€ 688.006,35
<b>Totale</b>		<b>1.792</b>	<b>€ 103.470.819,20</b>	<b>1.955</b>	<b>€ 113.971.627,85</b>	<b>1.990</b>	<b>€ 115.832.000,01</b>	<b>1.980</b>	<b>€ 115.419.369,94</b>

Nella Tabella 3.11 si evidenzia il fabbisogno del personale a tempo determinato nel triennio di riferimento. Il primo elemento significativo che emerge dall'analisi di questo fabbisogno è la prevista riduzione di personale a tempo determinato nell'anno in corso rispetto a quanto registrato nel 2017 e riportato in tabella. Infatti, da un totale di 327 unità si prevede di passare al 31 dicembre 2018 a un totale di personale pari a 195 unità, con una riduzione pari a circa il 40% sul totale. Questo andamento si spiega con il piano assunzionale previsto dall'Istituto finalizzato alla valorizzazione dell'esperienza professionale del personale con contratto di lavoro flessibile e al superamento del precariato. Si evidenzia che tale trend si consolida negli anni successivi fino ad arrivare a un numero complessivo, alla data del 31 dicembre 2020, pari a 175 unità di personale, con una riduzione rispetto al 2017 di circa il 46%.

**Tabella 3.11 – Fabbisogno del personale a tempo determinato nel triennio di riferimento**

A TEMPO DETERMINATO	Livello	Personale al 31/12/2017		Previsione al 31/12/2018		Previsione al 31/12/2019		Previsione al 31/12/2020	
		N	Costo	N	Costo	N	Costo	N	Costo
Dirigente I fascia		0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Dirigente II fascia		0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Dirigente di ricerca	I	1	€ 124.099,27	1	€ 124.099,27	1	€ 124.099,27	1	€ 124.099,27
Primo ricercatore	II	2	€ 170.016,00	2	€ 170.016,00	2	€ 170.016,00	2	€ 170.016,00
Ricercatore	III	52	€ 2.916.829,24	52	€ 2.916.829,24	52	€ 2.916.829,24	52	€ 2.916.829,24
Dirigente tecnologo	I	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Primo tecnologo	II	5	€ 415.732,55	5	€ 415.732,55	5	€ 415.732,55	5	€ 415.732,55
Tecnologo	III	108	€ 5.669.351,05	71	€ 3.727.073,38	51	€ 2.677.193,55	51	€ 2.677.193,55
Collaboratore tecnico E.R.	IV	1	€ 45.172,13	1	€ 45.172,13	1	€ 45.172,13	1	€ 45.172,13
Collaboratore tecnico E.R.	V	5	€ 192.353,87	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Collaboratore tecnico E.R.	VI	69	€ 2.431.849,29	32	€ 1.127.814,17	32	€ 1.127.814,17	32	€ 1.127.814,17
Operatore tecnico	VI	1	€ 35.244,19	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Operatore tecnico	VII	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Operatore tecnico	VIII	2	€ 65.524,41	1	€ 32.762,21	1	€ 32.762,21	1	€ 32.762,21
Funzionario di amministrazione	IV	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Funzionario di amministrazione	V	7	€ 269.295,42	1	€ 38.470,77	1	€ 38.470,77	1	€ 38.470,77
Collaboratore di amministrazione	V	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Collaboratore di amministrazione	VI	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Collaboratore di amministrazione	VII	61	€ 1.884.943,81	16	€ 494.411,49	16	€ 494.411,49	16	€ 494.411,49
Operatore di amministrazione	VII	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
Operatore di amministrazione	VIII	0	€ -	0	€ -	0	€ -	0	€ -
<b>Totale</b>		<b>314</b>	<b>€ 14.220.411,25</b>	<b>182</b>	<b>€ 9.092.381,22</b>	<b>162</b>	<b>€ 8.042.501,39</b>	<b>162</b>	<b>€ 8.042.501,39</b>

Inoltre, come riportato nella Tabella 3.12 l'importo dei contratti a tempo determinato finanziati dai fondi esterni risulta considerevolmente superiore rispetto a quello dei contratti finanziati dai fondi interni. Questi ultimi corrispondono a circa il 23% del totale dei contratti a tempo determinato sottoscritti dall'Istituto. Tale rapporto verrà ulteriormente ridotto al termine delle assunzioni programmate per l'anno 2018 soprattutto per i profili tecnici e amministrativi. In ogni caso i contratti TD su fondi esterni dipendono da quanti progetti saranno presentati e vinti dall'Istituto. Inoltre, la tabella evidenzia anche il personale in servizio a tempo determinato nel triennio 2018-2020 con l'evidenza delle variazioni di personale per profilo in ciascun anno.

**Tabella 3.12 – Personale a tempo determinato nel 2017 suddiviso per tipologia di fondo con il fabbisogno nel triennio 2018 – 2020**

Profilo e livello	PIANO DEL PERSONALE A TEMPO DETERMINATO ANNO 2017												PIANO DEL PERSONALE A TEMPO DETERMINATO TRIENNIO 2018 - 2010											
	In servizio al 31/12/2017												Anno 2018		Anno 2019		Anno 2020							
	Fondi INFN			Fondi esterni Overhead			Fondi progetto			Dati complessivi			Variazioni	In servizio al 31/12/18	Costo	Variazioni	In servizio al 31/12/19	Costo	Variazioni	In servizio al 31/12/20	Costo			
	M	F	Tot	M	F	Tot	M	F	Tot	M	F	Tot												
Dirigente I fascia			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Dirigente II fascia			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Dirigente di ricerca			0	1		1			0	1	0	1	1	€	124.099,27		1	€	124.099,27		1	€	124.099,27	
Primo Ricercatore			0			0	1	1	2	1	1	2	2	€	170.016,00		2	€	170.016,00		2	€	170.016,00	
Ricercatore			0			0	40	12	52	40	12	52	52	€	2.916.829,24		52	€	2.916.829,24		52	€	2.916.829,24	
Dirigente Tecnologo			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Primo Tecnologo	1	1	2			0	3		3	4	1	5	5	€	415.732,55		5	€	415.732,55		5	€	415.732,55	
Tecnologo	9	7	16	7	2	9	70	13	83	86	22	108	-37	71	€	3.727.073,38	-20	51	€	2.677.193,55		51	€	2.677.193,55
CTER IV			0			0	1		1	1	0	1	1	€	45.172,13		1	€	45.172,13		1	€	45.172,13	
CTER V	2		2			2	2	1	1	3	2	5	-5	0	€	-		0	€	-		0	€	-
CTER VI	14	1	15	18	1	19	33	2	35	65	4	69	-37	32	€	1.127.814,17		32	€	1.127.814,17		32	€	1.127.814,17
Op.tec. VI	1		1			0			0	1	0	1	-1	0	€	-		0	€	-		0	€	-
Op.tec. VII			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Op.tec. VIII	1		1			0	1		1	2	0	2	-1	1	€	32.762,21		1	€	32.762,21		1	€	32.762,21
Funz. Amm. IV			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Funz. Amm. V	1	5	6		1	1			0	1	6	7	-6	1	€	38.470,77		1	€	38.470,77		1	€	38.470,77
Coll. Amm. V			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Coll. Amm. VI			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Coll. Amm. VII	9	21	30	2	18	20		11	11	11	50	61	-45	16	€	494.411,49		16	€	494.411,49		16	€	494.411,49
Op. Amm. VII			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
Op. Amm. VIII			0			0			0	0	0	0	0	€	-		0	€	-		0	€	-	
<b>Totale</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>73</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>52</b>	<b>150</b>	<b>39</b>	<b>189</b>	<b>216</b>	<b>98</b>	<b>314</b>	<b>-132</b>	<b>182</b>	<b>€</b>	<b>9.092.381,22</b>	<b>-20</b>	<b>162</b>	<b>€</b>	<b>8.042.501,39</b>	<b>0</b>	<b>162</b>	<b>€</b>	<b>8.042.501,39</b>

## 4. 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<sup>1</sup>. Si possono citare i Consorzi RFX e Futuro in Ricerca, attivi sia con iniziative di stampo europeo sia con attività di trasferimento tecnologico verso le piccole e medie imprese. Alcuni come COMETA, hanno specifici obiettivi nel campo della fisica spaziale (Lisa Pathfinder) o delle infrastrutture di calcolo (EGI) con trasferimenti verso paesi terzi (eI4Africa, EarthServer). Nel campo dei Beni Culturali è da ricordare ColRICH, che vanta iniziative verso la Comunità Europea (Synergy Grant), verso fondi regionali e nazionali (PON) e verso Confindustria (PICH). Nel settore dell'energia il Consorzio RFX gioca un ruolo primario, con la partecipazione ai progetti di fusione nucleare ITER e IFMIF. Particolarmente significativa è anche la partecipazione dell'INFN al consorzio EGO, che ha realizzato con partner statunitensi la rete internazionale degli osservatori di onde gravitazionali e, nel campo delle reti, l'Associazione Consortium GARR.

Ancora, si possono citare le adesioni a: NETVAL, il Network delle Università e dei principali EPR sul trasferimento tecnologico; MELODI, Associazione di diritto francese attiva nella ricerca sui rischi da esposizione alle radiazioni a bassa dose cui aderiscono Università e Centri di ricerca internazionali; ETP4HPC, attiva nel settore dell'HPC e di cui fanno parte Aziende, anche mondiali, e centri di ricerca; ASTER, la società consortile in house della Regione Emilia-Romagna (ha come soci le Università presenti nella regione e gli Enti pubblici nazionali di ricerca CNR, ENEA ed INFN) per l'innovazione del sistema produttivo e la valorizzazione del capitale umano impegnato in ricerca in questi ambiti.

Nel 2015 l'INFN ha aderito, altresì, all'Associazione Cluster Fabbrica Intelligente, che intende "promuovere e agevolare la ricerca pre-competitiva in materia di tecnologie di produzione all'interno dell'area della ricerca italiana ed europea", alla Società "DHITECH Distretto Tecnologico HIGH-TECH S.c.a.r.l." che intende "sostenere attraverso l'eccellenza scientifica e tecnologica l'attrattività di investimenti in settori produttivi ad alta tecnologia", alla OPENPOWER Foundation, Fondazione di diritto statunitense che ha come obiettivo la creazione di una tecnologia "open" basata su architettura di calcolo Power della IBM, all'Associazione Smart Cities and Communities che intende promuovere e agevolare l'attivazione di soluzioni innovative utilizzabili in ambito regionale e nazionale da parte della Pubblica Amministrazione, promuovendo la collaborazione tra i soci nei settori strategici tipici delle Smart Cities, secondo i paradigmi innovativi introdotti dall'Agenda Digitale Europea e fatti propri da quella Italiana.

Nel 2016 l'INFN ha aderito al Cluster Nazionale Scienza della vita-ALISEI (**A**dvanced **L**ife **S**cience in **I**taly) considerato la risposta concreta "made in Italy" alla domanda di ricerca e innovazione tecnologica nel settore biomedicale e farmaceutico.

Nel corso del 2016, per sopravvenuta carenza di interesse, l'Istituto ha esercitato il diritto di recesso dai Consorzi Milano Ricerche e Catania Ricerche, mentre il Consorzio Criospazio Ricerche è stato liquidato e cancellato dal Registro delle imprese a far data dal 12 gennaio 2017.

Complessivamente l'INFN partecipa a circa trenta organismi associativi delle suddette tipologie, per un impegno finanziario dell'ordine di 10 milioni di Euro annui. La quasi totalità di tale impegno è concentrata nei contributi erogati in favore di tre partecipate ritenute strategiche per l'Istituto, il

---

<sup>1</sup> Di regola l'Istituto partecipa con servizi, competenze o prestazioni di opera scientifica o tecnologica

Consorzio RFX, il Consorzio EGO e l'Associazione Consortium GARR. I dettagli sono presentati nella seguente tabella.

Nel corrente anno l'INFN ha partecipato alla costituzione alla costituzione delle seguenti Associazioni tematiche nella Regione Emilia Romagna:

1. "Clust-ER Meccatronica e Motoristica";
2. "Clust-ER Agroalimentare";
3. "Clust-ER Industrie Culturali e Creative";
4. "Clust-ER Edilizia e Costruzioni";
5. "Clust-ER Energia e Sviluppo Sostenibile";
6. "Clust-ER Innovazione nei Servizi";
7. "Clust-ER Industrie della Salute e del Benessere"

Denominazione	tipologia	anno di costituzione partecipazione/estremi autorizzazione	capitale /fondo € X 1000	% partecipazione	contributi trasferimen ti annuali € X 1000	2013 € X 1000		2014 € X 1000		2015 € X 1000	
						Utili	Perdite	Utili	Perdite	Utili	Perdite
Consorzio Catania Ricerche*	Consorzio	1988 adesione	93	0% <sup>1</sup>	0		145		149	12,7	
Consorzio Milano Ricerche*	Consorzio	1988 Adesione	188	0% <sup>1</sup>	0		13		7		46,6
Consorzio COMETA	Consorzio	2005 Costituzione 88 del 31 gennaio 2005 <sup>2</sup>	85	18%	0	0,1		1,5		5,8	
Consorzio RFX	Consorzio	2005 Adesione	192	13%	1.000	21			831	49	
Consorzio Criospazio Ricerche **	Consorzio	1989 Adesione	35	0% <sup>1</sup>	0		0,2		2		20,6
Consorzio Futuro in Ricerca (Ferrara Ricerche)	Consorzio	2005 Adesione	40	4%	0	28		77		27,1	
Consorzio per la Fisica Trieste	Consorzio	1994 Adesione	0	0% <sup>1</sup>	8	391		333		-	
European Gravitational Observatory	Consorzio	2000 Costituzione	100	50%	4.500	297		269		162,2	
COIRICH	S.c.a.r.l.	2010 Costituzione 946 del 9 luglio 2010 <sup>2</sup>	20	14%	0		6		5		4,8
TICASS - Tecnologie Innovative per il Controllo Ambientale e lo Sviluppo Sostenibile	S.c.a.r.l.	2011 Adesione 17986 del 19 luglio 2013 <sup>2</sup>	90	3%	0	3			25	22,2	
POLO ENERGIA - Polo di Innovazione per l'Efficienza Energetica e le Fonti Rinnovabili	S.c.a.r.l.	2011 Adesione Silenzio assenso	60	2%	0		4		13	0,057	
PUMAS - Polo di Innovazione Umbro Materiali Speciali e Micro Nano Tecnologie	S.c.a.r.l.	2011 Adesione 1300 del 5 giugno 2012 <sup>2</sup>	48	1%	0	1		1,6		1,9	
CRDC	S.c.a.r.l.	2006 Costituzione 929 del 26 novembre 2009 <sup>2</sup>	235	3%	0	9		5,6		1,8	
DHITECH	S.c.a.r.l.	2015 Adesione		4%	-	-	-	-		109	
ASTER Soc.Cons.p.a	Soc.Cons.p.a.	2014 Adesione	740	1%	0	0,7		1,4		3,3	
European Synchrotron Radiation Facility	Società civile <sup>3</sup>	1988 Adesione	2287	5%	0	114		102		105,4	
Consortium GARR	Associazione	2002 Adesione	500	n.a. <sup>4</sup>	5.000		135	177		540	
Festival della Scienza	Associazione	2003 Adesione	138	n.a. <sup>4</sup>	0		109	7			59
ASP - Promozione e sviluppo scientifico e tecnologico del Piemonte	Associazione	2001 Adesione	75	n.a. <sup>4</sup>	2	0,1		0,7		3,5	
MELODI Multidisciplinary European Low Dose Initiative Association	Associazione <sup>5</sup>	2013 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	1	97		126		13	
NETVAL Network per la valorizzazione della ricerca universitaria	Associazione	2013 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	2	1,5		1,3		11,2	
A.I.N. Associazione Italiana Nucleare	Associazione	2010 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	2	12		53		13	
A.P.R.E. Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea	Associazione	2003 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	6	18		27		9,8	
ETP4HPC European Technology Platform for High Performance Computing	Associazione <sup>6</sup>	2012 adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	5	98		202		467	

<b>Cluster Fabbrica Intelligente</b>	Associazione	2015 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	-	-	-	-	-	2,9	
<b>Smart Cities and Communities</b>	Associazione	2015 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	0	-	-	-	-	-	
<b>Cluster-ALISEI</b>	Associazione	2016 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	0	-	-	-	-	-	
<b>Fondazione CNAO</b>	Fondazione	2003 Adesione	150	n.a. <sup>4</sup>	0	291		0	0	0	0
<b>OPENPOWER FOUNDATION</b>	Fondazione <sup>7</sup>	2015 Adesione	-	n.a. <sup>4</sup>	0	-	-	-	-	-	

In applicazione dell'art. 24 del decreto legislativo 19 agosto 2016, n. 175, recante "Testo Unico in materia di società a partecipazione pubblica" pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 120 dell'8 settembre 2016 ed in vigore dal 23 settembre 2016, l'Istituto, con deliberazione del Consiglio Direttivo n. 14527 del 27 settembre 2017, ha approvato la revisione straordinaria della società partecipate.

Tale provvedimento prevede la dismissione dalla partecipazione dell'INFN nel capitale delle seguenti società:

1. TICASS-Tecnologie Innovative per il Controllo Ambientale e lo Sviluppo Sostenibile S.c.a.r.l.;
2. Polo Energia - Polo di Innovazione per l'Efficienza Energetica e le Fonti Rinnovabili S.c.a.r.l.;
3. PUMAS - Polo di Innovazione Umbro Materiali Speciali e Micro Nano Tecnologie S.c.a.r.l.

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

L'attività di ricerca scientifica e tecnologica dell'INFN, seguendo lo schema di articolazione di H2020, si può organizzare raggruppando i progetti di ricerca lungo le tre linee: "excellent science", "better society" e "competitive industries and innovation technology". In questo capitolo verranno discusse le prime due linee, mentre le attività relative alla terza saranno trattate nei capitoli 7 e 8.

### **5.1 EXCELLENT SCIENCE**

La linea di ricerca relativa ai progetti di "excellent science", racchiude gran parte delle attività svolte nelle quattro commissioni scientifiche CSN1 – CSN4. Va precisato, tuttavia, che la linea "excellent science" non si esaurisce all'interno delle attività di queste CSN, ma, come avremo modo di vedere, è presente anche in alcuni progetti di CSN5, Commissione Calcolo e Reti (CCR) etc.

Le linee salienti dell'attività di ricerca scientifica dell'INFN nell'ambito di "excellent science" sono le seguenti:

1) Con la scoperta del bosone di Higgs (H di massa 125 GeV) da parte degli esperimenti ATLAS e CMS al Large Hadron Collider (LHC) del CERN nel 2012, comincia la verifica finale del Modello Standard (MS) delle particelle elementari. Molti sono ancora i problemi da investigare e l'esplorazione nella regione d'energia del TeV è appena cominciata. Dal 2015 LHC ha iniziato a fornire collisioni all'energia record in laboratorio di 13 TeV, superando nel 2016 le prestazioni di disegno della macchina. Scopo ultimo è di studiare con maggiore precisione le proprietà del bosone di Higgs e i suoi accoppiamenti, ricercando il segnale della presenza di una nuova fisica oltre il MS. La precisione del 5-10% che si potranno ottenere a LHC sulla misura delle proprietà del bosone di Higgs potrebbero essere ridotte all'1% alle future macchine acceleratrici elettrone-positrone, se corredate da accurate predizioni teoriche. Lo studio accurato della fenomenologia del quark top rappresenta uno dei principali campi di indagine a LHC e ai futuri acceleratori: in particolare la determinazione dei suoi accoppiamenti sia ai bosoni massivi W, Z e H che a fotoni e gluoni rappresenta un test cruciale per il MS.

Le nuove macchine acceleratrici, di cui ora si sta discutendo anche nell'ambito dell'aggiornamento della Europea Strategy for Particle Physics prevista per maggio 2020, dovranno permettere sia misure di precisione (ad es. una copiosa produzione del bosone di Higgs o di coppie top-antitop) che raggiungere energie più elevate (100 TeV) per cercare tracce di nuove particelle non contenute nel MS.

Quale nuova fisica è legata all'origine della massa delle particelle elementari che compongono l'Universo? Quali altre interazioni e mattoni fondamentali della natura comporta questa nuova fisica? Alle più alte energie mai prima raggiunte, potremo vedere il passaggio dai protoni e neutroni ai quark liberi che li costituiscono? Questa è la "terra incognita" dove hanno cominciato ad avventurarsi gli esperimenti dell'INFN all'acceleratore LHC del CERN. È una terra su cui sono concentrati i maggiori sforzi teorici dell'Ente: a LHC troveremo un nuovo mondo di mattoni fondamentali, le nuove particelle delle teorie supersimmetriche, oppure vedremo aprirsi nuove dimensioni spaziotemporali al di là del mondo quadridimensionale trasmesso dai nostri sensi, come suggerito dalla teoria delle stringhe?

2) Le particelle elementari della materia hanno masse molto diverse tra loro, si mescolano in modo più o meno intenso e le loro interazioni violano (anche se di pochissimo) una simmetria, correlata alla presenza di materia e antimateria chiamata, CP. Che cosa sta alla base di tutte queste proprietà fondamentali della materia? Pensiamo che la risposta a questo problema, chiamato problema del flavour, sia racchiusa ancora una volta nella nuova fisica oltre il Modello Standard, fisica che studieremo a LHC (frontiera dell'alta energia), ma anche con macchine specificamente dedicate allo studio del flavour in cui le energie sono più basse, ma l'intensità (cioè il numero) di particelle che collidono è altissima (frontiera dell'alta intensità).

3) Le oscillazioni dei neutrini sono un'inequivocabile testimonianza di nuova fisica al di là del Modello Standard. Ma quanto valgono e in quale scala di gerarchia si trovano le masse delle tre specie di neutrino conosciute, ovvero, qual è il neutrino più leggero? E il meccanismo che conferisce loro la massa è lo stesso (quello legato al bosone di Higgs) che dà massa a tutte le altre particelle oppure siamo in presenza di un nuovo meccanismo con nuove particelle? La fondamentale simmetria CP è violata nelle interazioni dei neutrini? In particolare nel nostro laboratorio sotterraneo del Gran Sasso (LNGS) e in altri laboratori internazionali, in Cina (JUNO) e Stati Uniti (DUNE), cerchiamo una risposta a queste domande guidati dalle predizioni di teorie legate a quella nuova fisica già investigata nelle frontiere dell'alta energia e alta intensità. Recentemente, si sono accumulate alcune controverse indicazioni sulla possibile esistenza di ulteriori neutrini oltre a quelli del Modello Standard, ancor più debolmente interagenti con la materia ordinaria e per questo detti "sterili". Esistono questi neutrini sterili? Se sì, hanno un ruolo in cosmologia? Alcune teorie ipotizzano che i neutrini sterili possano essere parte della materia oscura che permea l'Universo.

4) Se nell'universo primordiale ad altissima temperatura doveva esserci una pari abbondanza di materia e antimateria, perchè oggi non c'è più traccia di questa antimateria primordiale e perchè la materia di cui siamo fatti non è scomparsa nell'annichilazione con l'antimateria pochi istanti dopo il Big Bang? Nuovamente incontriamo tracce di nuova fisica al di là del Modello Standard perchè per originare una asimmetria tra materia e antimateria partendo da una situazione simmetrica, relativamente alle loro rispettive abbondanze, è necessario avere una più potente sorgente di violazione di CP rispetto a quella finora misurata all'interno del Modello Standard.

5) Se i costituenti fondamentali della materia sono i quark, come si passa dai quark ai protoni e neutroni e come da questi si arriva ai nuclei degli atomi? Questi complessi processi influiscono sulla nostra vita quotidiana e sono stati alla base dei fenomeni fisici che più di 13 miliardi di anni fa seguirono il Big Bang e diedero origine alla prima sintesi di nuclei ("nucleosintesi"). I vari modelli teorici che cercano di rispondere a queste domande vengono vagliati in una vasta gamma di esperimenti, in particolare nell'esperimento ALICE a LHC al CERN e nei nostri due laboratori nazionali dedicati alla fisica nucleare, quello di Legnaro (LNL) e quello del Sud (LNS).

6) Inaspettatamente, numerose e indipendenti osservazioni astrofisiche ci hanno portato a concludere che la materia costituita dai familiari atomi rappresenta solo una piccola frazione della materia presente nell'Universo, mentre più dell'80% di questa è fatta da particelle che non fanno parte del Modello Standard (la cosiddetta "materia oscura"). È ovvio che compito primario di un Ente come l'INFN è cercare di scoprire che cosa sia la materia oscura. La materia oscura costituisce la più formidabile evidenza della presenza di nuova fisica, forse quella stessa fisica che LHC o le "macchine del flavour" ci riveleranno. In particolare al LNGS stiamo conducendo una serie di esperimenti leader a livello mondiale alla ricerca di candidati di materia oscura. Nel frattempo, studiamo anche la possibilità di produrre noi stessi tali particelle nelle collisioni ad alta

energia a LHC e cerchiamo segni indiretti della materia oscura per mezzo dei quattro strumenti astrofisici che abbiamo in volo, Agile, Pamela, Fermi e AMS.

7) Ancora più sconvolgente è stato scoprire che la materia (sia essa quella atomica o quella oscura) non rappresenta che circa un quarto di tutta l'energia presente nell'Universo. I restanti tre quarti sono chiamati "energia oscura". L'origine di questa potrebbe essere legata a deviazioni dalla gravità descritta dalle teorie di Newton prima e di Einstein poi (relatività generale). Nuove teorie dello spazio-tempo vengono studiate dai teorici dell'Ente e intanto sperimentalmente, a pochi Km da Pisa, nell'infrastruttura di ricerca EGO-VIRGO continuiamo lo studio di una delle cruciali predizioni della relatività generale di Einstein, le onde gravitazionali, **la cui scoperta, annunciata nel 2016 e premiata con il premio Nobel 2017**, è stata confermata in modo cruciale nel 2017, con la prima rivelazione di eventi di collisione di buchi neri precisamente localizzati (grazie all'aggiunta dell'interferometro VIRGO-Adv) e soprattutto con l'osservazione della prima collisione di stelle di neutroni che, grazie alla precisa localizzazione nel cielo offerta dalla terna di interferometri in USA e in Italia e alla successiva osservazione prolungata con strumenti a ottici, radio, infrarossi, X e Gamma (fra cui lo strumento INFN FERMI), ha aperto il campo dell'astrofisica e dell'astronomia a onde gravitazionali. Fisici INFN si sono inseriti nella collaborazione ESA Euclid, progettata esplicitamente con lo scopo di studiare le caratteristiche dell'energia oscura. Inoltre, tecnologie INFN sviluppate per lo studio della massa del neutrino saranno messe a frutto in un progetto per lo studio delle onde gravitazionali primordiali emessi nei primissimi istanti del Big Bang.

8) La realizzazione dei sofisticati esperimenti richiesti per esplorare le fondamentali questioni di cui sopra comporta lo sviluppo di tutte le tecniche e tecnologie necessarie a tali ricerche, dando vita a nuovi strumenti di misura, oltre all'utilizzo delle tecnologie di punta già esistenti. Questo sforzo di ricerca tecnologica induce un "circolo virtuoso" nei rapporti dell'Ente con le nostre industrie tecnologicamente più avanzate e ha immediate ricadute applicative in settori cruciali per la nostra società (ad es. in campo medico, ambientale, energetico, spaziale, sottomarino e nel campo dei beni culturali).

### 5.1.1 FISICA SUBNUCLEARE

Gli obiettivi principali della fisica subnucleare sono: le misure di precisione dei parametri del Modello Standard, la ricerca di nuovi fenomeni fisici, le verifiche di meccanica quantistica e delle simmetrie fondamentali. I relativi progetti sono gestiti e finanziati attraverso la CSN1. Le principali aree di ricerca della fisica subnucleare riguardano la fisica adronica, la fisica del sapore, la fisica dei leptoni carichi e lo studio della struttura del protone. Una parte significativa dell'attività della CSN1 consiste nella ricerca e sviluppo per future applicazioni sia nel campo degli acceleratori che dei rivelatori di particelle.

Nel corso del 2017 gli esperimenti di fisica subnucleare, effettuati ad acceleratori di particelle, hanno esplorato vari campi del settore, tutti alla frontiera della ricerca in Fisica delle Alte Energie. Al CERN LHC con l'energia nel centro di massa di 13 TeV, ha ormai superato i limiti di disegno in quantità e qualità dei dati forniti agli esperimenti, che sono stati pronti a raccogliergli con un'efficienza altissima.

I risultati maggiormente significativi sono riportati qui di seguito:

- Gli esperimenti ATLAS e CMS ad LHC hanno accumulato  $\sim 95 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata a 13 TeV, dedicati a varie ricerche di: risonanze in di-fotoni, nuovi fenomeni nella distribuzione di massa e angolare di doppi getti, squarks e gluini in stati finali con getti ed energia mancante, Materia Oscura in associazione ad altri oggetti (Z, Higgs, top e bottom)
- ATLAS e CMS hanno effettuato l'analisi combinata di tutti i dati all'energia nel centro di massa di 7 e 8 TeV e misurato la produzione del bosone di Higgs, i rapporti di decadimento e i limiti sugli accoppiamenti
- ATLAS ha ottenuto la prima misura della massa del bosone W pari a  $80370 \pm 19 \text{ MeV}$  dai dati a 7 TeV, consistente con il Modello Standard e la misura di CDF
- CMS ha conseguito la più precisa misura della massa del top dai dati a 7 e 8 TeV pari a  $172.44 \pm 0.13 \pm 0.47 \text{ GeV}$
- A LHCb, che ha raccolto  $\sim 4 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata a 13 TeV, si sono effettuate numerose misure di precisione nel campo del sapore: l'osservazione di quattro nuovi stati esotici  $J/\psi$ , la prima osservazione del decadimento  $B_c^+ \rightarrow D_0 K^+$ , il primo tentativo di misurare la polarizzazione anomala del fotone in  $B_s \rightarrow \gamma$ , la più precisa determinazione dell'asimmetria  $A_{CP}(K^+ K^-)$  da un singolo esperimento e la misura del più raro decadimento adronico mai osservato:  $B^0 \rightarrow K^- K^+$
- LHCf misura la regione molto in avanti ( $|\eta| > 8$ ) dello spettro in energia dei neutroni e dei fotoni in collisioni p-p a 13 TeV e raccoglie dati in collisioni p-Pb a 8 TeV, con trigger in comune con l'esperimento ATLAS
- MEG, dopo aver pubblicato i risultati finali della prima fase dell'esperimento:  $BR(m \rightarrow e\gamma) < 4.2 \times 10^{-13}$  con un miglioramento di un fattore 30 in sensibilità rispetto al precedente limite, sta preparando la nuova presa dati del 2018
- BES-III realizza la misura diretta dei rapporti di decadimento della  $\underline{L}_c$  a soglia, lo studio della lineshape della  $Y(4260)$  e della  $Y(4330)$  e misura l'asimmetria di Collins con coppie di pioni
- TOTEM ha pubblicato il valore centrale della sezione d'urto totale, elastica ed inelastica a 2.76 TeV, con metodo indipendente dalla luminosità
- KLOE 2 ha raggiunto  $3 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata raccolta entro dicembre 2016 con tutto il rivelatore completamente operativo e pubblicato nuove misure di precisione come la costante running  $\alpha_s$  nella regione sotto 1 GeV
- COMPASS completa la prima misura assoluta di Drell-Yan su bersaglio polarizzato e misura nuove asimmetrie di spin legate all'impulso trasverso di quark e gluoni. Con il rivelatore RICH fornito di nuovi fotorivelatori a MPGD si prosegue lo studio delle distribuzioni partoniche con fascio di pioni
- NA62 completa l'analisi "blind" di tutto il campione di dati raccolto nel 2016 con il rivelatore funzionante a regime, e trigger interamente implementato anche nella parte calorimetrica
- UA9 dimostra la fattibilità della collimazione con cristalli a LHC e osserva il channeling di ioni piombo all'energia di  $2.6 \text{ TeV}$

- BELLE2 misura fondi e caratteristiche del fascio al main ring di SuperKEKB e si prepara alla presa dati nel 2018
- g-2 comincia la fase di presa dati con il fascio di muoni a Fermilab
- Mu2e, con l'approvazione definitiva, avvia le gare per la costruzione del calorimetro elettromagnetico
- PADME prepara il fascio di positroni alla BTF dei LNF con bunch di ~200 ns e avvia i test del bersaglio di diamante e del prototipo del calorimetro elettromagnetico a cristalli per cominciare la presa dati nel 2018

Per i prossimi tre anni le milestone più significative sono:

- Contributo all'aggiornamento della European Strategy of Particle Physics previsto entro maggio 2020, con studi su potenzialità di fisica a futuri colliders circolari o con fasci estratti dedicati, valutazioni e simulazioni di nuovi rivelatori, costruzione di prototipi e misure su fasci di test
- Studi di fattibilità sulla produzione di coppie di muoni freddi con fasci di positroni
- Gli esperimenti a LHC continuano la presa dati a 13 TeV fino alla fine del 2018 e preparano le installazioni di nuove parti dell'apparato previste per il 2019-2020
- ATLAS installa il trigger di traccia (FTK) e prepara le nuove camere a muoni
- CMS completa l'installazione del nuovo rivelatore a pixel e costruisce i nuovi rivelatori in avanti LHCb avvia la costruzione dei nuovi rivelatori per il potenziamento dell'esperimento
- TOTEM completa il programma di aggiornamento del rivelatore per le misure con rivelatori di timing nelle pot verticali e presa dati durante i run speciali
- LHCf continua la presa dati a LHC e a RHIC
- MEG termina nel 2017 la costruzione e l'installazione del nuovo rivelatore e dal 2018 con la messa in funzione dell'esperimento al completo avvia le prime analisi di studio dei fondi
- NA62 completa la fase di presa dati nel 2018 e l'analisi della misura del BR di  $K^+ \rightarrow p^+$  nu nubar sul campione totale di dati raccolti mentre prepara sviluppi futuri
- KLOE e COMPASS completano la presa dati entro il 2018 e procedono ad analizzare i dati.
- BES-III completa la nuova camera a GEM cilindriche per il 2018 e analizza i dati dello scan della risonanza  $\psi(2S)$  per pubblicare la misura della fase tra le ampiezze di decadimento forte ed elettromagnetica
- BELLEII avvia la presa dati con i cosmici durante la messa a punto della macchina SuperKEKB, completa il rivelatore di vertice ed avvia la presa dati con il rivelatore completo nel 2018 per iniziare nel 2019 una presa dati al alta luminosità ottimizzando le prestazioni di acceleratore e rivelatore

UA9 dimostra alle energie di LHC la fattibilità della collimazione di ioni piombo ultrarelativistici con cristalli piegati

- g-2 a Fermilab con il sistema laser perfettamente funzionante e integrato nel sistema di DAQ e nell'analisi dati completa la prima presa dati con statistica sufficiente a garantire una misura con errore compatibile con quella pubblicata a BNL
- MU2E inizia la produzione di cristalli e sensori per il calorimetro che sarà completamente assemblato nel 2019, pronto per un test con raggi cosmici di tutto il rivelatore in sala nel 2020.

Il bilancio annuale della CSN1 ammonta a circa 21 M€. Il personale impegnato nelle ricerche di Fisica delle Particelle agli Acceleratori e ai suoi sviluppi futuri conta circa 1100 ricercatori e tecnologi afferenti alla commissione, di cui il 20% sono dottorandi, assegnisti e borsisti.

### 5.1.2 FISICA ASTROPARTICELLARE

Lo studio della fisica Astroparticellare affronta le questioni legate alle componenti e alle forze fondamentali dell'Universo in modo complementare rispetto agli studi svolti presso gli acceleratori di particelle. I relativi progetti sono gestiti e finanziati attraverso la CSN2. Questa area di ricerca copre temi come la comprensione delle proprietà dei neutrini, la rivelazione diretta delle onde gravitazionali, l'identificazione dei costituenti della materia e dell'energia oscura, la spiegazione dell'assenza dell'antimateria nell'Universo, lo studio della composizione e dello spettro della radiazione cosmica, lo studio di precisione degli effetti di Relatività Generale e Meccanica Quantistica. La fisica Astroparticellare condivide quindi gli stessi obiettivi di fisica fondamentale con tecniche sperimentali, strumenti ed infrastrutture diverse da quelle che vengono utilizzate al CERN o presso altri laboratori di fisica delle alte energie (HEP). Infatti le ricerche della CNS2 si svolgono spesso in particolari ambienti, naturali (es. spazio, alta montagna, profondità del mare) o artificiali (es. laboratori sotterranei), in modo da ottimizzare il rapporto tra segnale e fondo nello studio di fenomeni estremamente deboli basati sull'utilizzo dei vari tipi di radiazione cosmica o su fasci di neutrini. Alcune attività, come quelle relative alla fisica del neutrino, si svolgono anche per mezzo di acceleratori di particelle o di reattori nucleari che fungono da sorgenti artificiali di neutrini.

Le attività della CSN2 sono divise in 4 aree scientifiche: fisica del neutrino, radiazione dal cosmo, l'Universo Oscuro e Gravitazione, Onde Gravitazionali e Fondamenti di Meccanica Quantistica. I risultati maggiormente significativi sono riportati qui di seguito:

- La Collaborazione VIRGO-LIGO ha annunciato, nel 2016, la prima rivelazione di onde gravitazionali. Nel febbraio 2017 il nuovo rivelatore VIRGO-Adv è stato inaugurato ed ha iniziato la fase di messa a punto in vista dell'inizio del run di fisica nella tarda primavera del 2017. In agosto 2017 ha iniziato a prendere dati, osservando due eventi importantissimi: un'altra collisione di buchi neri (la cui localizzazione nel cielo è stata possibile proprio grazie a VIRGO-Adv) e la prima osservazione assoluta di una collisione di stelle di neutroni. Tale evento è stato in primo luogo osservato e localizzato con le onde gravitazionali e dopo pochi secondi con un segnale di raggi gamma. La precisa localizzazione offerta dalla terna di interferometri ha consentito di capire che tali collisioni sono responsabili delle cosiddette kilonovae, un tipo particolare di lampo gamma. Grazie alla localizzazione, moltissimi

telescopi e strumenti nel mondo hanno osservato l'evento per mesi in tutte le frequenze, raccogliendo un'enorme quantità di informazioni scientifiche fondamentali e avviando di fatto il campo dell'astrofisica multi-messaggero. Fra le conclusioni più rilevanti, quella che gli elementi chimici pesanti siano in larga misura prodotti da eventi di questo tipo.

- La collaborazione LISA-PF ha ottenuto eccellenti risultati dal prototipo di LISA, dimostrando la fattibilità del progetto di una futura missione spaziale per l'osservazione di onde gravitazionali di bassa frequenza
- GERDA, presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, ha fornito risultati eccellenti nella ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini, abbassando significativamente il limite superiore al rate di questo processo per il Ge-76
- L'esperimento XENON ha iniziato la presa dati. Ha inoltre pubblicato risultati importanti ottenuti con i dati raccolti con il prototipo da 100 kg, escludendo alcuni possibili modelli di materia oscura
- L'esperimento DArkSide-50kg ha pubblicato i primi risultati con Argon di origine sotterranea, dimostrando la piena fattibilità del progetto DarkSide-20ton
- CUORE ha completato l'installazione al Gran Sasso iniziando la presa dati nel gennaio 2017. A fine ottobre ha rilasciato il primo importante risultato, mettendo il limite più stringenti oggi disponibile sul doppio decadimento beta del Tellurio-130
- L'esperimento Gingerino al Gran Sasso ha misurato le componenti rotatorie di onde sismiche e ha mostrato la fattibilità di un esperimento terrestre basato su tecniche giro-laser per lo studio del frame drag in relatività generale
- BOREXINO, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha misurato con precisione il flusso di quasi tutte le componenti dei neutrini solari, ed in particolare quelli del  $^7\text{Be}$ , del pep (protone-elettrone-protone) e del pp (protone-protone), mai misurati in modo diretto da altri esperimenti. Borexino ha anche misurato il flusso di antineutrini generati dall'uranio e dal torio all'interno della terra. inoltre il rivelatore di Borexino sarà presto utilizzato per la ricerca di nuovi neutrini sterili per mezzo di una sorgente artificiale di neutrini (progetto SOX).
- L'esperimento AMS-02 ha pubblicato importanti risultati sul flusso di protoni, anti-protoni, positroni e nuclei di elio.
- DAMPE, in volo da dicembre 2015, sta continuando la presa dati, con ottime performance. In novembre 2017 ha pubblicato su Nature il primo spettro di elettroni-positroni, evidenziando interessanti caratteristiche dello spettro stesso la cui origine potrebbe essere legata a fenomeni astrofisici oppure al contributo di materia oscura o altri fenomeni ancora non compresi.

Per i prossimi tre anni le milestone più significative sono:

- Ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini. Lo studio di questo decadimento si prefigge di poter rispondere ad una delle domande più profonde della fisica delle particelle: i neutrini hanno anch'essi una massa dello stesso tipo di quelle dei quark o dell'elettrone

(massa di Dirac) oppure hanno una massa proveniente da un meccanismo del tutto nuovo, chiamato di Majorana (dalla prima proposta formulata da Ettore Majorana più di 80 anni fa) ? L'esperimento CUORE ai LNGS è entrato in funzione e produrrà i suoi primi, attesissimi, risultati nel 2017.

- Ricerca delle onde gravitazionali. Nell'interferometro gravitazionale VIRGO a Cascina (Pisa) si raggiungerà nel triennio la sensibilità sufficiente per rivelare questo fenomeno previsto dalla teoria della relatività generale di Einstein, in collaborazione con i rivelatori americani di LIGO. LIGO ha rivelato il primo evento di onde gravitazionali il 14 settembre 2015. VIRGO entrerà in funzione nel 2017. VIRGO e LIGO insieme, con tre interferometri, inizieranno l'astronomia con onde gravitazionali.
- Nel 2017 sono in corso di installazione ulteriori rivelatori realizzati per il progetto Km3Net, rivelatore sottomarino per neutrini astrofisici. I rivelatori costruiti nel triennio precedente saranno messi in funzione in acqua, completando la prima fase della costruzione.
- Nella fisica dello spazio, oltre alla pubblicazione dei risultati di AMS-02 sulle misure di precisione della composizione dei raggi cosmici, è partito a Dicembre 2015 il rivelatore DAMPE, in collaborazione con la Cina. DAMPE è in fase di presa dati in orbita e ha fornito i primi risultati di fisica nel 2017. In futuro si prevede la realizzazione di un rivelatore di raggi gamma da mettere su un satellite cinese – per poi proseguire con un esperimento sempre di astronomia  $\gamma$ , ma più grande, all'interno della futura Stazione Spaziale Cinese.
- Nel campo dello studio delle oscillazioni dei neutrini: si darà avvio ad un nuovo programma con due generatori di neutrini (Cromo e Cerio) posti molto vicino a Borexino per lo studio di possibili oscillazioni di neutrini elettronici in un nuovo tipo di neutrino, chiamato neutrino sterile (SOX); inoltre, il grande rivelatore ICARUS (con più di 700 tonnellate di argon quale bersaglio per i neutrini provenienti dal CERN) è stato trasportato dal Gran Sasso al CERN, da dove, dopo un paio di anni di lavoro per ricostruirlo e migliorarlo, procederà per la sua meta finale, il Fermilab di Chicago, per la misura su fascio di neutrino dei processi che possono interessare i neutrini sterili. È inoltre allo studio la possibile partecipazione al progetto americano DUNE per lo studio della violazione di CP nel settore dei neutrini.
- Inizio della costruzione dell'osservatorio a luce Čerenkov CTA.
- Nel prossimo triennio volerà su pallone il rivelatore micro-bolometrico del progetto LSPE per lo studio della polarizzazione del fondo cosmico a micro-onde. La tecnologia INFN sviluppata per lo studio della massa del neutrino (progetti MARE e Holmes) sarà messa a frutto per realizzare radiometri sensibili alla polarizzazione di nuova concezione.
- L'apparato di AUGER in Argentina funzionerà ancora per 10 anni con un apparato potenziato per la discriminazione muone-elettrone e per lo studio quindi della composizione dei raggi cosmici di altissima energia. Nel prossimo triennio sarà completata la costruzione delle nuove parti dell'apparato.
- L'INFN parteciperà alla missione Euclid per lo studio della Dark Energy. Il lancio della missione è previsto per il 2021, ma il prossimo triennio vedrà il contributo dell'INFN allo sviluppo di moduli elettronici essenziali per il controllo dello strumento e la partecipazione allo sviluppo dell'analisi dei dati.

- Nel prossimo triennio si costruirà il rivelatore JUNO in Cina per lo studio della gerarchia di massa dei neutrini. L'INFN mette così a frutto le competenze sviluppate nel contesto di Borexino.

Il bilancio annuale della CSN2 ammonta a circa 24 M€, di cui circa 14 M€ sono assegnati sul budget ordinario dell'Ente e circa 10 M€ provengono da fonti esterne (4 progetti ERC attivi, fondi dalle agenzie spaziali ASI, ESA, NASA e CAS, fondi regionali per progetti specifici in Sicilia, Abruzzo e Sardegna). Il personale impegnato nelle ricerche di Fisica Astroparticellare conta circa 740 ricercatori e tecnologi e circa 350 dottorandi, assegnisti e borsisti.

### 5.1.3 FISICA NUCLEARE

L'obiettivo scientifico della Fisica Nucleare moderna è quello d'indagare l'origine, l'evoluzione, la struttura dei nuclei e dei loro costituenti (detti adroni) e le diverse fasi della materia nucleare. La conoscenza delle proprietà dei nuclei atomici e della materia nucleare è fondamentale per la descrizione della cosmogenesi e dei processi che regolano il comportamento delle stelle e di altri corpi celesti, ed ha inoltre ricadute dirette in campi applicativi quali per esempio il medicale e l'energetico. Di particolare interesse sono i nuclei instabili ricchi in neutroni che verranno prodotti dall'acceleratore SPES a Legnaro e che sono responsabili dei processi di nucleo-sintesi stellare. I relativi progetti sono gestiti e finanziati attraverso la CSN3. Le principali aree di ricerca della fisica nucleare riguardano la struttura e la dinamica degli adroni, le transizioni di fase della materia adronica, la struttura e le reazioni nucleari, l'astrofisica nucleare. I risultati maggiormente significativi sono riportati qui di seguito:

- Sta continuando l'analisi dei dati raccolti presso il JLab durante il programma scientifico con il fascio a 6 GeV che ha permesso di raccogliere una statistica pari ad un milione di volte quella ottenuta a SLAC negli anni '60. Sono stati fatti circolare con successo i primi fasci a 12 GeV mentre prosegue come da programma l'upgrade di Hall A ed Hall B; il calorimetro elettromagnetico per HPS è stato installato ed è perfettamente funzionante, il tracker ed il calorimetro HCAL per Hall A sono in via di completamento e verranno installati nel 2017/18, il Forward Tagger di Hall B è stato completato ed è pronto per l'installazione in sala sperimentale, il rivelatore RICH è in fase di completamento e la sua installazione è prevista nel 2018. La collaborazione MAMBO a Mainz e Bonn sta prendendo dati e si aspettano a breve i risultati. ASACUSA ha completato l'analisi della sezione d'urto di annichilazione antiprotone su target di carbonio; si tratta delle misure più precise di questi processi. KAONNIS ai LNF sta completando la costruzione dell'apparato ed è in attesa del fascio di DAPHNE (al termine della sperimentazione di KLOE) previsto per la seconda metà del 2018. ULYSSES sta continuando lo studio della spettroscopia degli ipernuclei ed ha osservato una prima evidenza sperimentale di stati legati di iperoni con doppia stranezza. PAX procede verso la realizzazione di una facility per la prima misura in assoluto del momento elettrico di dipolo del deutone.
- Nel 2016 ALICE ha preso dati protone-protone e protone-piombo. La collaborazione sta continuando la costruzione dell'upgrade dell'ITS che si stima durare fino al 2018.
- La Collaborazione GAMMA sta investigando le proprietà di nuclei lontano dalla valle di stabilità (n-rich e p-rich) mediante misure di spettroscopia nucleare, soprattutto con il rivelatore

AGATA attualmente a GANIL. EXOTIC sta studiando il comportamento di nuclei leggeri n-rich quali  ${}^8\text{B}$  e  ${}^{28}\text{Ne}$ .

- NEWCHIM sta studiando il contributo di isospin alla equazione di stato della materia nucleare ed ha effettuato la prima misura ad un valore doppio della densità della materia nucleare “fredda”. Altri effetti legati alla materia nucleare “calda” sono stati studiati da NUCL-EX che ha osservato fenomeni di correlazione nella emissione di 3 particelle alfa.
- NUMEN sta proseguendo la fase preliminare volta alla misura degli elementi di matrice nucleare di interesse per il doppio decadimento beta senza neutrini. Sono in corso run di test e sviluppo di prototipi di rivelatori, in particolare in carburo di silicio.
- Nel campo delle misure di astrofisica nucleare gli esperimenti LUNA3, ERNA e ASFIN2 hanno continuato lo studio sistematico dei meccanismi che regolano i processi di nucleosintesi stellare. In particolare ASFIN2 ha misurato mediante la tecnica del “Cavallo di Troia” i processi di cattura p,alfa su  ${}^{18}\text{F}$  e  ${}^{10}\text{B}$ , ERNA la cattura di protoni su  ${}^7\text{Be}$  e di alfa su  ${}^{15}\text{N}$  mentre LUNA3 ha misurato la risonanza a 64.5 keV nella reazione di cattura p,alfa su  ${}^{17}\text{O}$ . Prosegue la pianificazione della realizzazione della facility LUNA-MV.
- Al CERN la collaborazione nTOF ha pubblicato la misura della reazione  ${}^7\text{Be}(n,\alpha)$  cruciale per il problema del Litio cosmologico. La collaborazione AEGIS sta progredendo nella costruzione della linea di trasporto dell’anti-idrogeno. L’esperimento FAMU volto alla misura spettroscopica della transizione iperfina dello stato 1S dell’idrogeno muonico sta completando la realizzazione del laser, elemento cruciale per la realizzazione dell’esperimento.
- Sono stati approvati due nuovi esperimenti: FOOT per lo studio dei processi di frammentazione di interesse per applicazioni di adroterapia e Th229 volto alla misura del livello metastabile previsto essere dell’ordine di diversi eV.
- Si sta studiando la possibilità di studiare i processi di nucleosintesi stellare in condizioni simili a quelle che si trovano all’interno delle stelle. Per questo motivo il progetto PANDORA ha ottenuto un primo finanziamento dalla CSN5 per la realizzazione di un plasma da usarsi come bersaglio nucleare.

Per i prossimi tre anni le milestone maggiormente significative sono riportate qui di seguito:

- AEGIS proseguirà nello sviluppo della facility per la produzione di anti-idrogeno.
- ALICE continuerà la realizzazione del nuovo layer interno di rivelatori a pixel (ITS) la cui completamento è previsto per il 2018.
- Verrà condotto lo studio dei meccanismi nucleari che regolano la combustione dell’elio e di altri nuclei leggeri nelle stelle. Questa problematica è affrontata, con tecniche complementari, da tre esperimenti finanziati dalla commissione: LUNA3, ASFIN2 ed ERNA in attesa di avere disponibile la facility LUNA-MV presso i LNGS prevista nel 2018-19.
- GAMMA continua le attività di presa dati con il rivelatore AGATA a GANIL in attesa di spostare il rivelatore a SPES in occasione del primo fascio previsto nel 2017-18.

- JLAB12 completerà nel 2018 i contributi alla strumentazione di Sala A e Sala B del laboratorio JeffersonLab dove nel 2017 è ripresa l'attività sperimentale con il nuovo fascio di elettroni.
- KAONNIS installerà nella seconda metà del 2018 l'apparato sperimentale nell'acceleratore DAPHNE in modo da studiare le proprietà del deuterio kaonico (atomo di deuterio dove l'elettrone è sostituito da un mesone  $K^-$ ) fondamentale per la comprensione delle forze nucleari in presenza di stranezza.
- NUMEN completerà nel 2018 la fase-2 che prevede la campagna preliminare di misura di processi a doppio scambio carica nei nuclei di interesse per il doppio decadimento beta senza neutrini.
- La realizzazione della strumentazione per SPES (esperimenti GAMMA, PRISMA-FIDES, EXOTIC) iniziata nel 2015 prosegue in modo da poter effettuare le prime misure con SPES appena i fasci si renderanno disponibili. Contestualmente il rivelatore AGATA verrà spostato a Legnaro
- Nel 2017-18 si definirà il disegno del rivelatore per FOOT che permetterà di studiare nel dettaglio i meccanismi di frammentazione di fasci di ioni ad energie di interesse per applicazioni medicali.

Il bilancio annuale della CSN3 ammonta a circa 10 M€. Il personale impegnato nelle ricerche di Fisica Nucleare conta circa 350 ricercatori, tecnici e tecnologi e circa 160 dottorandi, assegnisti e borsisti.

#### 5.1.4 FISICA TEORICA

La CSN4 coordina le ricerche in fisica teorica che sviluppano ipotesi, modelli e teorie fisiche sia per spiegare i risultati sperimentali già acquisiti sia per aprire nuovi scenari per la fisica del futuro. I principali argomenti su cui sono impegnati i fisici teorici della CSN4 sono le indagini sull'origine della massa delle particelle elementari, la natura e le proprietà della cosiddetta materia oscura e l'unificazione a livello quantistico di tutte le interazioni fondamentali, inclusa la gravità, anche mediante la teorie di stringhe. Altre ricerche riguardano lo studio della natura e della struttura intrinseca dello spazio-tempo, la fisica del nucleo e delle particelle che lo costituiscono, inclusi i processi all'epoca del Big-Bang e la successiva evoluzione dell'Universo. Tali studi teorici si avvalgono, da un lato dei risultati sperimentali prodotti dagli acceleratori di particelle e dagli esperimenti di fisica astroparticellare, e dall'altro di metodi matematici e strumenti sia formali che numerici.

L'attività coordinata dalla CSN4 è organizzata in sei settori, detti Linee Scientifiche, che coprono i campi più importanti della ricerca in fisica teorica, e precisamente: 1) Teoria dei campi e delle stringhe, 2) Fenomenologia delle particelle elementari, 3) Fisica nucleare e adronica, 4) Metodi Matematici, 5) Fisica astroparticellare e cosmologia, 6) Meccanica Statistica e teoria dei campi applicata. Il budget annuale della CSN4 è di circa 2.75 M€; alla CSN4 afferiscono oltre 1000 ricercatori, fra dipendenti, incaricati di ricerca e associati, corrispondenti a circa 900 FTE. Le attività della CSN4 sono organizzate in 35 progetti di ricerca, detti Iniziative Specifiche, che coinvolgono gruppi appartenenti ad almeno due sezioni diverse.

Come quelle sperimentali, anche le attività teoriche si sviluppano in stretta connessione con il mondo accademico e con altri enti di ricerca in Italia e all'estero. La varietà e la qualità della ricerca svolta dalla CSN4 sono dimostrate dall'alto numero di pubblicazioni, di citazioni e di relazioni a conferenze internazionali. Molte delle ricerche teoriche si svolgono in stretto collegamento con le attività sperimentali dell'INFN in fisica delle particelle elementari, in fisica nucleare e in fisica astroparticellare coordinate dalle altre CSN dell'INFN. Le collaborazioni internazionali sono fortemente supportate dalla CSN4 che infatti utilizza gran parte del suo budget per scambi internazionali e missioni presso istituzioni straniere. Un'altra attività importante e tradizionale della CSN4 è la formazione di giovani ricercatori e studenti. Ciò si riflette anche nell'elevato numero di pubblicazioni i cui autori o co-autori sono dottori di ricerca o dottorandi; queste rappresentano circa il 30% della produzione scientifica totale della CSN4.

Una delle iniziative di maggior successo della CSN4 è l'Istituto Galileo Galilei in Arcetri (GGI). Istituto dalla CSN4 nel 2005, il GGI si è conquistato una consolidata fama internazionale nell'organizzazione di workshop di lunga durata a cui partecipano scienziati provenienti da tutto il mondo; i fondi necessari al suo funzionamento sono forniti dall'INFN e permettono di organizzare tre workshop l'anno, di durata media di 8 settimane, oltre a miniworkshop e meeting di varia natura. Dal 2016 è attivo al GGI il programma "Simons @ GGI", finanziato dalla Simons Foundation (USA), che prevede la permanenza di due o tre scienziati di fama mondiale per tutta la durata di ogni workshop. Come già avvenuto negli anni precedenti anche per il 2017/2018 è prevista l'organizzazione di quattro scuole per studenti di dottorato sponsorizzate dalla CSN4. Le quattro scuole tratteranno argomenti di Fenomenologia e Fisica oltre il Modello Standard, di Teoria dei Campi Statistica, di Struttura dei Nuclei e di Teoria dei Campi e Stringhe. Maggiori informazioni possono essere reperite alla pagina <http://www.ggi.fi.infn.it/>.

Lo studio dei problemi fondamentali della fisica nucleare e delle particelle elementari è entrato in una fase di grande interesse a causa dello sviluppo dei fronti sperimentali lungo le linee dell'alta energia, dell'alta intensità e della fisica astroparticellare. Il cosiddetto "fronte dell'alta energia" consiste nel cercare di produrre nuove particelle pesanti usando acceleratori ad alta energia e ad alta frequenza di collisioni come il Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra. Il cosiddetto "fronte dell'alta intensità" consiste invece nella ricerca di nuovi fenomeni, di nuove particelle e di nuove proprietà usando acceleratori ad energia medio-alta ma con un'altissima frequenza di collisioni. Infine, il cosiddetto "fronte astroparticellare" consiste nel considerare l'Universo stesso come una macchina naturale per produrre particelle e per fornirci indicazioni sulle proprietà della materia ed energia oscura, dei raggi cosmici etc. In questo contesto il compito della fisica teorica è quello di fornire metodi e modelli per interpretare le osservazioni sperimentali ed in particolare formulare teorie per estendere il Modello Standard delle interazioni fondamentali, al fine di includere i nuovi fenomeni della fisica elettrodebole e del sapore e di trovare candidati particellari di materia oscura. Esistono fondamentalmente due approcci per raggiungere questi obiettivi: uno detto "bottom-up", che partendo dai dati sperimentali e dalla fenomenologia arriva all'elaborazione di modelli e teorie di nuova fisica, e uno detto "top-down" che partendo invece da astratte teorie spesso basate su sofisticati strumenti matematici giunge ad implicazioni fenomenologiche da confrontare con i risultati sperimentali.

Nell'approccio "bottom-up" molto importante è lo studio degli aspetti fenomenologici delle interazioni forti alla scala di Fermi (esplorata dagli esperimenti di LHC) o lo studio dei meccanismi di rottura della simmetria elettrodebole per spiegare l'origine della massa. Inoltre è fondamentale continuare l'analisi dei dati provenienti dagli esperimenti di astrofisica al fine di trovare correlazioni tra segnali diretti o indiretti di materia oscura nei diversi esperimenti. La correlazione tra questi

segnali e l'eventuale produzione di materia oscura a LHC costituisce una delle sorgenti più interessanti per teorie di nuova fisica oltre il Modello Standard. A questi studi si affianca l'attività di ricerca sulla fisica del sapore, sui meccanismi di leptogenesi nel contesto di teorie unificate, lo studio del mescolamento delle diverse specie di fermioni in modelli con o senza supersimmetria alla scala debole o in modelli con "dimensioni extra", cioè con altre dimensioni oltre quelle corrispondenti allo spazio e al tempo che conosciamo.

Un esempio tipico e molto importante dell'approccio "top-down" della fisica teorica è rappresentato dalla teoria delle superstringhe che fornisce uno schema consistente per l'unificazione a livello quantistico di tutte le forze fondamentali, inclusa la gravità, nell'ambito del quale le particelle elementari e i mediatori delle forze sono associati a diversi modi di vibrazione di oggetti estesi unidimensionali detti stringhe. Nel limite in cui la lunghezza delle stringhe diventa trascurabile, questa teoria si riduce alla relatività generale (ovvero alla sua estensione supersimmetrica, la supergravità) unificata con le altre interazioni fondamentali descritte dalle cosiddette teorie di gauge. Negli ultimi anni lo studio della teoria delle stringhe e delle loro generalizzazioni a più dimensioni, dette membrane o più concisamente "brane", è stato uno degli argomenti di punta della ricerca fondamentale in fisica teorica a livello mondiale portando alla formulazione dei cosiddetti modelli di "brane-world" per la descrizione della fisica delle particelle elementari. Inoltre, lo studio delle brane e della geometria ad esse associata ha aperto nuove prospettive per la comprensione del settore non-perturbativo delle teorie di gauge portando alla formulazione di varie corrispondenze gauge/gravità il cui prototipo è la dualità AdS/CFT che oggi trova applicazioni e sviluppi in numerosi e svariati settori, dalla idrodinamica alla fisica della materia condensata.

L'attività coordinata dalla CSN4 non si esaurisce nei temi menzionati finora, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti più formali della teoria dei campi, nella fisica matematica, nella fisica nucleare e adronica, nella fisica statistica, nella fisica dei sistemi complessi, nella biofisica, nella biologia computazionale, nella turbolenza.

Il bilancio annuale della CSN4 ammonta a circa 3 M€. Il personale impegnato nelle ricerche di Fisica Teorica conta circa 600 ricercatori, e circa 350 dottorandi, assegnisti e borsisti.

### 5.1.5 CALCOLO SCIENTIFICO

Negli ultimi quindici anni, grazie anche alla partecipazione a numerosi progetti Europei, l'INFN ha pianificato e realizzato un'infrastruttura nazionale e multidisciplinare a supporto del calcolo scientifico, basata sul modello del Grid Computing, che è una delle più vaste in Europa. La sua interconnessione con le e-infrastrutture delle altre nazioni la rende una componente fondamentale della Grid europea EGI (European Grid Infrastructure) e del WLCG (Worldwide LHC Computing Grid). Al fine di ottimizzarne l'efficienza d'uso complessiva, questa infrastruttura è basata sulla condivisione di risorse di calcolo e storage, fornite dall'INFN, da altri Enti di Ricerca e da Università. L'accesso e l'utilizzo della Grid è governato da meccanismi che consentono una flessibile definizione delle priorità basata sulla quantità di risorse messe a disposizione dagli enti partecipanti: questa importante infrastruttura di calcolo distribuita è stata cruciale nella fase di analisi dei dati prodotti dall'LHC e ha contribuito in maniera determinante alla scoperta del bosone di Higgs. Essa continuerà a svolgere un ruolo insostituibile a supporto delle attività che richiedono accesso a imponenti risorse di calcolo e storage, e in questo campo, oltre agli esperimenti al CERN, sono diventati attori importanti anche gruppi sperimentali in aree quali la fisica Astro-

particellare, quelli dello studio delle onde gravitazionali e gli esperimenti in caverna e sotto la superficie marina, ambito quindi fortemente multidisciplinare.

L'infrastruttura nazionale italiana per il calcolo distribuito, alla quale l'INFN ha fornito e continua a dare un contributo fondamentale, è stata realizzata in collaborazione con altri Enti e centri di ricerca; essa è costituita da numerosi siti dotati di Data Center di varie dimensioni che offrono servizi basati su standard comuni e che vengono utilizzati in modo trasparente dagli utenti del mondo della ricerca. I centri maggiori (in particolare, il centro Tier-1 e i 9 centri Tier-2 dell'INFN) forniscono risorse di calcolo e storage a varie comunità scientifiche, sia a livello nazionale sia internazionale, rendendo l'infrastruttura un punto di riferimento multidisciplinare importante per permettere alla comunità scientifica nazionale di attivare collaborazioni sul calcolo a livello locale, nazionale, europeo ed internazionale.

Nell'infrastruttura di produzione, basata su Grid, sempre maggiore rilevanza sta assumendo l'utilizzo delle più moderne tecnologie Cloud, che finora erano state determinanti principalmente nei progetti di collaborazione con altre scienze, pubbliche amministrazioni o con compagnie private. L'esigenza di integrare nell'infrastruttura di produzione risorse reperite da soggetti esterni o da fornitori commerciali ha reso indispensabile l'utilizzo di queste soluzioni. L'esperienza maturata in numerosi progetti a cui l'INFN ha partecipato negli ultimi anni (vedi paragrafo 5.2.2) sta rendendo questa operazione relativamente indolore.

Oltre alle attività sperimentali anche numerose aree di ricerca in fisica teorica richiedono un supporto rilevante di specifiche risorse di calcolo. Le richieste di calcolo possono in alcuni casi raggiungere il limite delle odierne capacità tecnologiche: esempi in questo campo sono rappresentati dalle teorie di gauge su reticolo e dallo studio della turbolenza (in questi casi si parla di High-Performance Computing, HPC); in altri casi le risorse necessarie possono essere un po' meno estreme, come nel caso della fisica nucleare, dello studio dei sistemi di spin o in ambito fenomenologico, ma il ruolo del calcolo resta anche in questo caso fondamentale. Nel recente passato l'INFN ha fatto rilevanti investimenti nel campo del calcolo avanzato, sviluppando sistemi originali ottimizzati soprattutto per le simulazioni di teorie di gauge sul reticolo; la finestra di opportunità per avere un ruolo primario in quest'area strategica del computing si è ora ridotta, ma grazie al ricco e prezioso bagaglio di know-how nell'ambito delle architetture di calcolo, l'INFN riesce ancora ad avere un ruolo significativo nelle attività di ricerca e sviluppo del settore, come testimonia il progetto H2020 ExaNeSt e il nuovo progetto EuroExa.

ExaNeSt è un progetto triennale iniziato nel dicembre 2015 che prevede di studiare le tecnologie di rete e storage necessarie per la realizzazione di sistemi di calcolo alla scala dello "ExaFlops" ( $10^{18}$  operazioni floating point per secondo). Il prodotto finale del progetto consisterà in un prototipo dell'elettronica e della meccanica di un sistema HPC basato su componenti programmabili (FPGA) e processori allo stato dell'arte che possa scalare alla molteplicità prevista per i sistemi ExaScale dell'immediato futuro (tra  $10^5$ - $10^6$  nodi di calcolo).

In continuità con ExaNeSt, il nuovo progetto EuroExa che partirà alla fine del 2017 e avrà una durata di 42 mesi, si propone di realizzare un prototipo funzionante di maturità tecnologica alta, a scala medio/grande e basato su processori a bassa potenza, componenti riconfigurabili (FPGA) per accelerazione ottimizzata del calcolo e implementazione di una innovativa infrastruttura di network gerarchica e ibrida con topologie "dirette" (Torus e DragonFly) ed "indirette" (fat-tree). Il prototipo sarà rilasciato insieme ad un nuovo ambiente di programmazione parallela che fa leva su

software open-source esistente, ma ottimizzato, integrato con framework di programmazione per i componenti riconfigurabili basato su OpenCL.

Oltre al campo del calcolo ad alte prestazioni, l'evoluzione delle architetture hardware si è indirizzata verso la produzione di sistemi a basso impatto energetico.

Occorre peraltro menzionare che le necessità di calcolo dichiarate dagli esperimenti prevedono una crescita che non può più essere compensata dall'aumento delle prestazioni dei processori ma solo dalle opportunità offerte da un utilizzo ottimizzato in modo specifico delle nuove architetture hardware. Questo si traduce sostanzialmente nell'adozione di tecniche di programmazione moderna che vedono il parallelismo e la vettorizzazione come attori principali. L'ente ha storicamente sviluppato un notevole bagaglio di esperienza nel settore del calcolo ad alte prestazioni. Il progresso in questo campo è tuttora vorticoso e richiede la formazione di personale con le opportune competenze non solo nel settore teorico ma anche in quello sperimentale.

Occorre menzionare l'attività di supporto, nel campo del computing, ai progetti ESFRI. In particolare l'INFN partecipa come partner al progetto ASTERICS: si tratta di un progetto, nell'ambito dell'astronomia osservativa, che si pone l'obiettivo di creare un ambiente di sviluppo di software aperto a sostegno della raccolta e dell'analisi dei dati dei cosiddetti osservatori multi-wavelength/multi-messenger. Questo tipo di ricerca necessita di soluzioni comuni tra gli osservatori per la gestione di database di dimensioni eccezionalmente grandi, di tecniche innovative per l'analisi di streams continui di dati su intervalli temporali particolarmente lunghi oltre che di svariati strumenti per il controllo della qualità dei dati.

Infine è necessario menzionare l'impegno sempre più importante che l'INFN sta mettendo nella costruzione di servizi per l'accesso aperto ai dati scientifici (dati, software e prodotti della ricerca); a tal proposito è stato recentemente firmato un MoU con CNR, INAF e INGV per la realizzazione dei principi, delle strategie, delle azioni necessarie per l'affermazione dell'accesso aperto ai risultati della ricerca finanziata con fondi pubblici e per sviluppare un sistema informativo integrato e aperto della Ricerca e Sviluppo.

Il bilancio annuale della CCR ammonta a poco meno di 2 M€. Il personale impegnato nella gestione dei servizi informatici e nelle attività di ricerca e sviluppo sul calcolo conta circa 115 tecnici e tecnologi a tempo indeterminato e circa 20 a tempo determinato. Il calcolo non include le persone che si occupano di calcolo nell'ambito delle attività delle Commissioni Scientifiche o su fondi esterni.

## **5.2 BETTER SOCIETY**

### **5.2.1 FISICA MEDICA**

L'applicazione della fisica fondamentale alla salute dell'uomo sta sempre di più diventando un'esigenza primaria e riconosciuta della ricerca moderna.

L'INFN sta organizzando le sue risorse in quegli ambiti particolari delle scienze biomedicali per i quali le competenze maturate nell'ente risultano apportare un contributo determinante.

In prima approssimazione possiamo suddividere le attività biomedicali dell'INFN nei seguenti macrosettori: Bio-imaging, Radio- e Adroterapia, Dosimetria, Radiobiologia, Medicina Nucleare. A

questi macro-settori appartengono una serie di progetti specifici con obiettivi a medio-lungo termine che citeremo nel seguito. Ciascuno di questi progetti, pur operando nell'ambito del proprio macro-settore, viene monitorato attraverso un sistema di "peer reviewing" sotto la responsabilità della CSN5 dell'INFN.

La CSN5 ha un bilancio complessivo di 5.15 MEuro, a cui si aggiungono 0.3 MEuro contribuiti in parti uguali dalle CSN1, 2 e 3 come contributo per i grant giovani. Circa un terzo del budget è assegnato ad attività di carattere interdisciplinare. Il personale dipendente impegnato nelle ricerche di competenza della CSN5 conta circa 350 tra ricercatori, tecnici e tecnologi; vi sono inoltre circa 190 dottorandi, assegnisti e borsisti.

In tutti gli ambiti di ricerca sopra menzionati, l'INFN prevede di impegnarsi per tutto il presente decennio.

Per quel che riguarda il bio-imaging nei prossimi anni l'Ente porterà a maturazione alcune esperienze di punta sulla diagnostica delle malattie degenerative del sistema nervoso, quali l'uso della Risonanza Magnetica ad alto campo e le tecniche CAD applicate all'imaging neurologico (già sviluppate precedentemente con gli esperimenti TESLA e MIND, rispettivamente) tramite gli esperimenti NEXTMR (che prevede tra l'altro l'uso di campi magnetici a 7 Tesla) e MRFBRAIN (grant per giovani ricercatori della CSN5 per lo sviluppo di tecniche di acquisizione e ricostruzione immagini per la risonanza magnetica 3D). Di grande rilievo sono anche le esperienze connesse allo sfruttamento di innovative sorgenti di luce collegate allo sviluppo delle tecniche di accelerazione di particelle: produzione di raggi X monocromatici da FEL (free electron laser) o ICS (inverse compton scattering). Tra questi sono da menzionare gli esperimenti REDSOX2, per quanto riguarda lo sviluppo di sensori a deriva di silicio innovativi per sorgenti di luce di sincrotrone di ultima generazione, e THz\_RD per quanto riguarda invece la realizzazione di sorgenti di radiazione nel range del THz per imaging medicale. La luce di sincrotrone può essere inoltre usata per applicazioni tomografiche, come si sta indagando nell'esperienza SYRMA\_3D presso ELETTRA di Trieste. Questo esperimento ha infatti come finalità principale la sperimentazione clinica della tomografia con raggi X monocromatici, dopo aver dimostrato con successo la superiorità dei fasci monocromatici rispetto a quelli convenzionali nel caso della sperimentazione clinica della mammografia planare con luce di sincrotrone.

Sempre in ambito bio-imaging, si continua lo sviluppo di tecniche innovative di imaging intraoperatorio, già portato avanti con successo dall'esperimento CHIRONE con la realizzazione ed il test in vivo di una sonda intraoperatoria per chirurgia radio-guidata con radiazione  $\beta$ - in grado di dare informazioni sulla presenza di attività di Yttrio-90 in campo aperto, cioè durante una operazione convenzionale. Il nuovo esperimento CHIR2 si propone di far avanzare ulteriormente lo stato dell'arte sviluppando una sonda per uso endoscopico e permettere la rivelazione di elettroni di bassa energia con sensori CMOS.

Nel settore imaging, infine, il nuovo progetto 3CATS (grant giovani CSN5) si pone l'obiettivo di sviluppare un prototipo di rivelatore di CdZnTe ad alta segmentazione, con capacità spettrometrica e risoluzione spaziale 3D per imaging spettroscopico di fotoni nel range da alcune decine di keV a 1000 keV; le applicazioni in fisica medica di questo sviluppo sono focalizzate sul settore BNCT-SPECT.

L'applicazione terapeutica delle radiazioni nucleari e delle particelle cariche rimane uno dei settori considerati strategici dall'INFN. Per quanto riguarda l'adroterapia, l'INFN si avvia a consolidare le competenze sviluppate nel passato per affrontare con un approccio globale e coordinato gli aspetti

di ricerca che sono considerati prioritari a livello mondiale. Questi riguardano lo studio dei processi nucleari rilevanti, i sistemi innovativi di imaging del tipo Proton Computed Tomography, i controlli on-line sul range, l'approccio basato sulla misura di attività con la PET-in beam, la misura di fotoni prompt e di particelle cariche emesse nei trattamenti, lo sviluppo di nuovi beam monitors e di nuove sorgenti per acceleratori terapeutici. Le competenze maturate negli ultimi anni sul tema dei piani di trattamento iniziano ad essere messe a frutto per la realizzazione di strumenti di ricerca innovativi da utilizzare nella pratica clinica. Unitamente a quanto menzionato, sarà necessario approfondire alcuni aspetti mirati, di carattere radiobiologico, sui quali torneremo più avanti. Nei prossimi anni si prevede di dare impulso a nuove iniziative nel settore, soprattutto quelle attività di fisica nucleare applicata che possono contribuire a chiarire maggiormente una serie di incertezze evidenziate ad oggi nella pratica clinica, con lo scopo di contribuire a potenziare ed affermare questo approccio terapeutico. La maggior parte di questo tipo di attività sono state portate avanti finora nell'ambito della collaborazione RDH, ma su questi filoni, l'Ente ha ricevuto finanziamenti aggiuntivi, quali i progetti premiali e Prin del MIUR. Fra i progetti premiali ha particolare rilevanza il progetto IRPT, che ha permesso, da una parte, di intensificare gli sforzi in atto sui temi sopra citati e, dall'altra, di iniziare la realizzazione di una linea di estrazione di fascio dedicata alla ricerca presso il CNAO. Tale lavoro sarà portato a termine entro l'anno in corso. Allo stesso tempo l'INFN ha costruito e gestisce la sala sperimentale presso il centro di protonterapia IBA di Trento. La sala, gestita dal Trento Institute for Fundamental Physics and Applications (TIFPA), il centro nazionale INFN di Trento, contiene due linee orizzontali, una dedicata alla fisica ed una alla biologia. Con il completamento dei primi lavori la sala è già in condizioni di utilizzo, e i futuri upgrade ne faranno un laboratorio avanzato a livello mondiale. L'INFN continuerà a impegnarsi, insieme al CNAO e alla proton-terapia di Trento, per proporre nuovi progetti e per rafforzare la rete italiana per la ricerca in adroterapia, in modo da potenziarne la capacità di crescita infrastrutturale. In questo senso, di grande importanza è l'inizio dell'attività della nuova "call" MOVE\_IT, che prevede lo sviluppo di modelli per piani di trattamento (TPS) con fasci di ioni, ottimizzati su modelli biologici, e la loro validazione sperimentale. In particolare, l'attività prevede l'implementazione nei TPS dell'effetto delle interazioni nucleari (integrando le misure che saranno fornite dall'esperimento FOOT, CNS3), della disomogeneità del tessuto tumorale e dei modelli di controllo dei rischi su tessuto sano. Il nuovo esperimento HADROCOMBI propone uno studio di fattibilità relativo all'effetto dell'ipertermia magnetica fluida combinato con tecniche di irraggiamento (radio- e adroterapia) per la cura del tumore al pancreas, notoriamente radio-resistente.

La validazione dei nuovi modelli implementati nei TPS procederà attraverso la realizzazione di dispositivi innovativi per l'irraggiamento in vitro e in vivo, l'upgrade di tre facility italiane per l'irraggiamento, lo sviluppo di rivelatori innovativi per il monitoraggio dei fasci.

L'apporto allo sviluppo dell'adroterapia si caratterizza anche nella ricerca su nuove tecniche di accelerazione. Su quest'ultimo punto è da menzionare l'esperienza ELIMED sulla produzione e accelerazioni di protoni per uso terapeutico con impulsi laser, nell'ambito dell'infrastruttura europea ELI (Extreme Light Infrastructure). Sempre nel settore dell'adroterapia, l'esperimento MONDO (grant per giovani della CSN 5), giunto a conclusione, ha sviluppato un sistema di rivelazione per la misura quantitativa della dose neutronica (misura del punto di emissione e dell'energia dei neutroni da 20 a 200 MeV).

Nel settore della dosimetria, l'INFN vanta diverse esperienze, giunte ormai a uno stadio maturo per realizzazione e capacità di trasferimento tecnologico, che risulteranno utili sia in radioprotezione, sia in radioterapia e adroterapia. L'esperimento NADIR sta conducendo sviluppi di nuovi sistemi di rivelazione per misure simultanee di nanodosimetria e di radiobiologia di cellule sane e tumorali.

L'esperimento 3DOSE è finalizzato a realizzare nuove architetture di sensore a diamante mirate alla misura di precisione delle dosi rilasciate in ambito radioterapeutico, con particolare riferimento alla problematica dei piccoli campi e/o dei campi ad elevato gradiente spaziale e temporale.

Il settore della radiobiologia, che in Italia vede l'INFN come uno dei soggetti principali per quanto riguarda la ricerca, ha iniziato una fase di riorganizzazione globale in CSN5. La principale attività nel settore è attualmente rappresentata dall'esperimento ETHICS, che raggruppa una parte considerevole della comunità di ricercatori interessati ed ha come oggetto di indagine lo studio dell'induzione di danno al tessuto sano dall'interazione con il materiale biologico delle particelle cariche usate in medicina (fasci esterni e irraggiamenti interni da terapia con radionuclidi). È allo studio nell'INFN la possibilità di promuovere delle ricerche specifiche sulla base di bandi mirati. Gli obiettivi riguarderanno quegli aspetti della radiobiologia che, a livello europeo e mondiale, sono considerati prioritari soprattutto in relazione allo sviluppo delle tecniche radio e adroterapiche. Fra gli esempi possibili si possono citare il passaggio dallo studio in vitro a quello in vivo, lo studio di effetti biologici delle radiazioni a lungo termine, lo sviluppo di nuova modellistica. Sempre nel settore radiobiologia, è anche da segnalare la nuova attività HIBRAD, che si propone di investigare il potenziale radioprotettivo dovuto allo stato letargico indotto tramite ibernazione.

Infine, per quanto riguarda il settore della medicina nucleare, l'INFN è attivo con l'esperimento TECHN\_OSP per la produzione di Tecnezio mediante ciclotroni ospedalieri per attività di imaging. Sempre in questo settore, inoltre, prosegue presso i LNL la realizzazione di un centro per la produzione di radionuclidi di tipo innovativo e sperimentale, oltre che di tipo convenzionale, basato sul ciclotrone da 70 MeV e 750 mA di cui l'INFN si sta dotando. Tale infrastruttura LARAMED, (*LAB*oratorio per *RA*dionuclidi di interesse *MED*ico) forte anche dell'approvazione di uno specifico progetto premiale, realizzerà sinergie fra scienza di base e applicazioni tecnologiche, ponendo l'Italia all'avanguardia internazionale in questo campo. In questo settore confluiscono anche le competenze di carattere radiochimico che fanno parte del patrimonio scientifico dell'INFN.

Trasversalmente agli specifici sviluppi qui menzionati, l'INFN promuove lo sviluppo anche di tecniche di calcolo da applicare alla medicina: ottimizzazione, simulazione Monte Carlo (in MC-INFN), CAD. In questo senso, il nuovo progetto GENIALE (grant giovani CSN5) si propone di migliorare sensibilmente le performance di Geant4 nel riprodurre i processi di frammentazione nucleare al di sotto dei 100 MeV/A.

Nel complesso, va sottolineato che nell'INFN esistono le conoscenze di base e le competenze specialistiche per introdurre efficaci innovazioni e realizzare il loro trasferimento al mondo della medicina. Tuttavia, affinché questo trasferimento abbia successo, sia da un punto di vista scientifico che sociale, è necessario che l'Istituto nel prossimo decennio operi in stretta cooperazione e sinergia con la fisica medica operativa e con il mondo medico. Nel tracciare la prospettiva futura bisognerà continuare a programmare investimenti su tecniche e tecnologie consolidate da trasferire al mondo industriale, che a sua volta le sviluppi nei suoi aspetti di affidabilità e riproducibilità per l'utilizzo operativo in campo medico. In una prospettiva di più lungo termine, sarà altresì necessario continuare ad investire su nuove idee che seppure ora alla frontiera della conoscenza potranno, se ben indirizzate e coordinate, portare nel futuro a sviluppi strategici nella prevenzione, diagnosi e terapia. Il successo in questa direzione dipende anche dalla capacità che l'INFN metterà in campo per partecipare ad iniziative in sinergia sia con altri Enti di ricerca che con soggetti operanti nel settore della medicina, anche per accedere a finanziamenti specifici. Per questo scopo l'INFN ha aderito al Cluster per le Scienze della Vita della Regione Lombardia e si appresta ad aderire al Cluster nazionale denominato ALISEI. La partecipazione a

queste forme di aggregazione potrà risultare molto importante anche per la partecipazione a bandi H2020.

L'INFN ha anche iniziato a dare un contributo ad un progetto fondamentale per le neuroscienze, entrando in Human Brain Project (HBP) come capofila del consorzio WAVESCALES (WAVE SCALing Experiments and Simulations), uno dei 4 vincitori, su 57 proposte, della Call for Expressions of Interest (CEoI) di HBP. L'HBP, con 500 milioni di euro di finanziamento previsti tra il 2013 e il 2023, è uno dei due progetti bandiera della Commissione Europea (Future and Emerging Technology, FET, Flagships) attivi per il prossimo decennio, insieme a quello sul grafene.

Analogamente al Progetto Genoma Umano per il sequenziamento del DNA, HBP nasce con l'ambizioso scopo di decodificare il funzionamento del cervello umano, definito da molti neuroscienziati il sistema più complesso dell'universo - per migliorare comprensione, diagnosi e terapia dei disordini cerebrali. Lo scopo dell'INFN in WAVESCALES è realizzare una simulazione del funzionamento cerebrale su grande scala, con particolare riferimento alla propagazione di onde cerebrali durante il sonno profondo e l'anestesia, e durante la transizione allo stato cosciente, per mezzo di reti neurali. Le simulazioni saranno confrontate con misure effettuate in vivo con tecniche non invasive su esseri umani, ed in vitro, con la misura della risposta elettrofisiologica a stimolazioni optofarmacologiche. Il consorzio WAVESCALES è formato da 5 partner: oltre all'INFN, coordinatore del progetto, ne fanno parte l'Università degli studi di Milano, l'Institut D'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (IDIBAPS) e l'Institut de BioEnginyeria de Catalunya (IBEC), entrambi a Barcellona, e l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), a Roma. Il progetto prevede un finanziamento di 2 milioni di euro per i primi due anni, con possibili estensioni negli anni successivi.

### 5.2.2 CLOUD E SMART CITIES

L'esistente infrastruttura di calcolo distribuito, attualmente basata su Grid e da lungo tempo in produzione, necessita, da un lato, di poter essere integrata con l'emergente paradigma del Cloud computing per poter essere adeguatamente sostenuta nel tempo e dall'altro di fornire metodologie di accesso semplificate per permetterne la condivisione con ricercatori di discipline scientifiche estranee alla fisica delle alte energie. Il Cloud Computing non possiede ancora il livello di maturità implementativa che possa permettere tale integrazione in maniera sostenibile e trasparente per tutta l'utenza scientifica, in quanto carente di alcune soluzioni che sono necessarie in particolari ambienti di ricerca ma non necessariamente per la generica utenza pubblica (per la quale il middleware Cloud è stato originalmente sviluppato). A questo scopo l'INFN ha avviato da tempo una specifica attività di ricerca e sviluppo, nell'ambito della CCR, volta a studiare e contribuire a risolvere queste carenze strutturali in un ambito progettuale nazionale ed internazionale. A livello nazionale tramite finanziamenti opportuni nell'ambito del Programma Operativo Nazionale Ricerca e Competitività 2007-2013, Smart Cities and Communities del MIUR, mentre a livello internazionale tramite la partecipazione a call del programma H2020 nei diversi pillar in cui esso si articola, che prevedono sostegno a tematiche nel campo dell'ICT.

Dal 2015 sono attivi due progetti H2020 nel campo delle e-Infrastructures, INDIGO-DataCloud e EGI-Engage, volti allo sviluppo delle infrastrutture di calcolo distribuito in vista della possibile integrazione dei modelli di calcolo esistenti nel paradigma Cloud.

INDIGO DataCloud, si propone di costruire e produrre una PaaS (Platform-as-a-Service) che permetta di rendere sostanzialmente trasparente all'utente finale (ma, in buona parte, anche al gestore dell'infrastruttura) l'erogazione di servizi in modalità Cloud in un ambito specifico e ricco di casi d'uso particolari quali quello della Ricerca in senso lato. Lo sviluppo di questa piattaforma, agnostica rispetto alle risorse fisiche rese disponibili come pure rispetto al modello computazionale richiesto dall'utente, permetterà l'uso ottimale sia delle risorse fisiche di calcolo dedicate agli enti di ricerca sia delle risorse opportunistiche e commerciali quali quelle offerte da gestori pubblici come Amazon o Aruba. Il progetto è coordinato dall'INFN e comprende 26 partner europei appartenenti a centri di ricerca, ESFRI e comunità scientifiche multidisciplinari (fisica, astronomia, scienze della terra, scienze della vita, meteorologia, bioinformatica, biomedicina, beni culturali), grandi infrastrutture distribuite e imprese private europee.

L'obiettivo principale di EGI-Engage è di continuare il coordinamento a livello europeo creato con il precedente progetto EGI InSPIRE delle infrastrutture Grid nazionali, supportando e facilitando la loro evoluzione verso la Cloud in base ai requisiti di alcune comunità di utenti rilevanti (principalmente progetti ESFRI). Queste attività verranno accompagnate da una forte azione per la costituzione e promozione di un "Open Science Commons" che faciliti l'interoperabilità tra e-infrastrutture diverse.

Dal punto di vista della gestione dell'infrastruttura, l'INFN partecipa assieme al CERN e ai principali enti di ricerca europei al progetto di "Pre-Commercial Procurement" di H2020 HNSciCloud iniziato nel gennaio 2016 per creare un mercato competitivo per provider di servizi Cloud innovativi al servizio della scienza.

Da gennaio 2017 l'INFN partecipa al progetto H2020 "European Open Science Cloud for Research Pilot" (EOSCPilot). Compito del progetto è creare la *governance* per la futura infrastruttura EOSC, costruire prototipi che integrino servizi e infrastrutture e dimostrino l'interoperabilità in diversi domini scientifici.

L'INFN partecipa alla preparazione del progetto IPCEI HPC-BDA: Important Project of Common European Interest su High Performance Computing (HPC) e Big Data enabled Applications. Si tratta di un progetto internazionale IPCEI sul calcolo che coinvolge Lussemburgo, Francia e Spagna. A livello italiano il progetto ha lo scopo di realizzare per la prima volta in Italia una infrastruttura di calcolo integrando l'infrastruttura INFN con il centro di High Performance Computing del CINECA sfruttando il collegamento in fibra ultraveloce del GARR. In questo modo si realizzerebbe una infrastruttura integrata e flessibile, distribuita su tutto il territorio nazionale. Questa infrastruttura dovrebbe essere resa disponibile ai ricercatori di tutte le discipline scientifiche, appartenenti ad Enti di ricerca o Università, che abbiano necessità di risorse di calcolo come ad esempio tempo di CPU per calcolo scientifico avanzato o capacità disco per il trattamento di grandi moli di dati (Big Data). Questo progetto rappresenta la naturale evoluzione del progetto DHTCS-IT ad esso dovrebbero contribuire in primo luogo l'INFN, con le sue risorse di calcolo High throughput che sono in grado di gestire grandi moli di dati in tempi molto brevi, il CINECA con le proprie risorse HPC, il CNR con le proprie infrastrutture dati, ed il GARR che attraverso la connessione ultrarapida dovrebbe permettere il trasferimento dei dati ed un facile accesso agli utenti. Una volta realizzata l'infrastruttura questa potrebbe essere facilmente resa disponibile anche a comunità diverse da quelle della ricerca, come le industrie e le imprese (PMI), la pubblica amministrazione, gli ospedali, la scuola, la protezione civile etc.

In ambito nazionale l'INFN ha creato il progetto High performance data network: Convergenza di metodologie e integrazione di infrastrutture per il calcolo High Performance (HPC) e High Throughput (HTC). Il progetto è biennale ed è in parte finanziato dal CIPE per la creazione di un'infrastruttura di calcolo e di cura dei dati integrata a supporto della comunità scientifica nazionale.

L'INFN continua a partecipare a progetti che abilitino comunità scientifiche all'utilizzo di strumenti di calcolo distribuito già ampiamente collaudati dalla propria comunità di riferimento. In particolare da novembre 2015 partecipa al progetto West Life di H2020 per la creazione di servizi specifici per la biologia strutturale e per l'abilitazione all'uso delle infrastrutture EGI ed EUDAT.

Grazie ai forti investimenti di ricerca e sviluppo nel settore dei sistemi distribuiti e alla partecipazione a progetti per la gestione coerente di risorse di calcolo distribuite, INFN ha potuto proporsi come partner, spesso principale, in progetti PON "Smart Cities" del MIUR. L'anno passato il progetto "High performance data network: Convergenza di metodologie e integrazione di infrastrutture per il calcolo High Performance (HPC) e High Throughput (HTC)", di cui l'INFN è capofila, è stato finanziato dal CIPE col fine di contribuire a realizzare un'infrastruttura di calcolo innovativa di punta a livello nazionale, in grado di rispondere alle esigenze di calcolo HPC e HTC previste nell'arco temporale dei prossimi tre anni, costituendo così un primo modello di struttura di calcolo integrata (e-infrastructure) nazionale.

L'INFN è partner di ricerca principale, oltre a ricoprire il ruolo di responsabile, del progetto Open City Platform (OCP), selezionato nell'ambito "Cloud Computing Technologies per Smart Government" del bando di cui al Decreto Direttoriale prot.n. 391/Ric del 5 luglio 2012. In esso sono coinvolte, oltre a grandi imprese come Almagora, Maggiori e Santer Reply, numerose piccole e medie aziende impegnate nello sviluppo di applicazioni per la PA e, in qualità di enti sperimentatori, diverse Pubbliche Amministrazioni regionali e comunali appartenenti alle regioni Emilia-Romagna, Marche e Toscana. Il Progetto OCP rappresenta la naturale prosecuzione del primo progetto Smart Cities a cui ha partecipato l'INFN come Partner nell'ambito della "Cloud Computing per smart technologies".

INFN ha una posizione di rilievo anche in un altro progetto PON "Smart Cities", denominato Cagliari2020. Il Progetto ha come obiettivo principale lo sviluppo di soluzioni innovative, sostenibili e a basso impatto ambientale per la mobilità urbana così da migliorare le prestazioni della città in termini di energia e ambiente. Il progetto si basa su un sistema di sensori fissi e mobili per il tracciamento dei veicoli e la raccolta di dati ambientali. L'INFN ha responsabilità nelle aree dell'acquisizione dati e delle soluzioni basate su Cloud per l'elaborazione e la gestione dei dati.

Lo sviluppo dei progetti legati al Cloud computing ha quindi rilevanti ricadute sia nell'ambito del Calcolo Scientifico vero e proprio dell'Ente (evidenziato nel paragrafo 5.1.5) che in quello delle Smart Cities e di progetti in generale legati al tema di H2020 denominati "Better society".

### 5.2.3 BENI CULTURALI

Le stringenti richieste degli esperimenti di fisica fondamentale applicati allo studio degli eventi rari hanno portato allo sviluppo di tecnologie e metodologie di misura estremamente avanzate e di elevatissimo livello di sensibilità. La sensibilità strumentale, le metodiche analitiche e le competenze sviluppate hanno ad oggi già prodotto importanti risultati e ricadute in molti ambiti

tecnologici/applicativi o sociali: indagini ambientali, analisi di reperti di interesse artistico, archeologico e storico.

### La rete

A partire dal 2014 si è pensato di dare un coordinamento unico alle diverse attività da anni presenti in numerose Strutture dell'Ente riguardanti l'utilizzo di tecnologie della fisica nucleare per l'analisi scientifica dei Beni Culturali. Questo ha portato alla costituzione, all'interno di INFN, di una rete di trasferimento tecnologico per i Beni Culturali, CHNet, coordinata dalla sezione di Firenze. La rete ad oggi è costituita da una rete "interna" comprendente 17 Strutture INFN, ma si prevede il suo ampliamento tramite una rete nazionale "esterna" di laboratori universitari, centri di restauro ed associazioni che offrano competenze complementari a quelle della rete interna, ed una rete di laboratori scientifici internazionali che agiscano a loro volta da catalizzatori per la costituzione di reti di Beni Culturali nei paesi di origine.

Parte della rete internazionale è già in fase di creazione; in particolare stanno diventando operativi due laboratori con strumentazione sviluppata da INFN, uno presso l'istituto IIPC della Universidad de San Martin a Buenos Aires, Argentina, e l'altro presso la New York University di Abu Dhabi, negli Emirati Arabi. Presso entrambi i laboratori è stato installato uno scanner XRF che è il primo strumento su cui si è iniziato a fare sviluppo congiunto. Si prevede di estendere a breve a altra strumentazione, come per esempio quella necessaria per costruire una linea di preparazione campioni per la datazione con radiocarbonio. È in fase di definizione anche una collaborazione con l'Università di Kashan, in Iran.

Strutture INFN afferenti:

FI (Labec), AQ, BA, BO, CNAF, CT, FE, LNF, LNGS, LNL, LNS (Landis), MIB, NA, PV, RM2, RM3, TIFPA, TO.

Il personale della rete interna coinvolto ammonta a 85 unità di cui il 65% con contratti a tempo indeterminato per un numero complessivo di circa 60 FTE.

### Obiettivi:

La rete si configura al contempo come una rete di ricerca ed una infrastruttura di servizio e trasferimento tecnologico, che permetta un miglioramento significativo a livello nazionale nei settori scientifici e tecnologici legati al patrimonio culturale e rappresenti un valore aggiunto per rafforzare la posizione dell'Italia in Europa, presentandosi in maniera coordinata e compatta. Seguendo lo schema utilizzato per le infrastrutture di ricerca, la rete è organizzata in tre piattaforme: la strumentazione per analisi in laboratorio (FIXLAB), la strumentazione per le analisi in situ (MOLAB) e i servizi di stoccaggio e fruizione dei dati acquisiti dalle analisi diagnostiche (DIGILAB).

Tutte le attività di rete si inquadrano all'interno di una più ampia collaborazione con altri EPR italiani, in primis CNR, che dispone di grandi competenze complementari a quelle INFN nel settore della Scienza e tecnologia applicate ai Beni Culturali. Questa collaborazione ha portato alla creazione del nodo italiano dell'infrastruttura europea di Heritage Science E-RIHS (European Research Infrastructure on Heritage Science), a guida CNR, che nel settembre 2016 è entrata ufficialmente nella Preparatory Phase della roadmap ESFRI con l'obiettivo di dare successivamente origine a un ERIC il cui hub principale è previsto a Firenze.

È stata inoltre presentata una proposta al Global Senior Officials per costituire una Global Research Infrastructure sui Beni Culturali insieme a circa 80 istituti di ricerca e musei europei e extraeuropei.

### Attività di ricerca

Le attività di ricerca, che rappresentano il 50% delle attività di rete, sono portate avanti in maniera congiunta dai nodi della rete e sviluppate in sinergia con la Commissione Scientifica Nazionale V. Comprendono studi di fattibilità di nuovi strumenti, metodi, concetti o tecnologie e avvengono anche tramite la partecipazione il più possibile congiunta a bandi su scala internazionale, nazionale o regionale.

Fondamentale per le attività di ricerca è la definizione di linee guida comuni da seguire nello sviluppo di strumentazione, in modo da rafforzare la collaborazione fra i vari nodi e l'efficienza dell'intera rete. Questo infatti facilita lo sviluppo congiunto da parte di più laboratori, permette di avere strumentazione interoperabile e formati dati uguali che permettano un'immediata condivisione dei risultati fra i partner della rete attraverso gli strumenti di fruizione realizzati nell'ambito dei DigiLab.

Nell'ottica di una ricerca congiunta fra le varie unità appartenenti alla rete, sono in corso alcune linee di sviluppo che più Sezioni/Laboratori stanno portando avanti insieme seguendo le proprie competenze di settore.

### MOLAB - strumentazione mobile

- Proseguirà a Bologna lo sviluppo il miglioramento e la sperimentazione di 2 sistemi tomografici mobili leggeri e la sperimentazione di nuovi rivelatori per alte energie, attraverso la collaborazione di altri centri o, in mancanza di questo, reperibili in commercio. Un tubo a raggi X da 300kV potrà essere usato per misure sul campo montandolo sul sistema mobile più grande. In tal modo potrà fornire risultati significativi per l'analisi di oggetti e reperti maggiormente radiopachi (metalli). Un caso di applicazione interessante è quello della tomografia dei cosiddetti 'pani di terra', porzioni di suolo o recipienti pieni di terra provenienti da scavi archeologici, che potrebbero contenere reperti. Per queste analisi sono necessari particolari accorgimenti fisici come la collimazione del fascio con speciali dispositivi che verranno studiati e applicati. Continuerà anche lo sviluppo del software parallelo di ricostruzione tomografica (PARREC), per permettere rapide ricostruzioni di TAC con elevato numero di proiezioni, che verrà ulteriormente ampliato e migliorato. È in progetto anche lo sviluppo della parte di rendering tridimensionale per la visualizzazione, la manipolazione e l'analisi dei volumi ricostruiti.

- A Ferrara sono stati completati i test del sistema di radiografia differenziale al K-edge per la mappatura elementale con filtri bilanciati e, grazie al confronto con le tecniche di scansione XRF del gruppo di LNS, sono stati individuati gli aspetti positivi e negativi delle due metodiche. Le nuove modalità di irraggiamento includono l'impiego in linea di campioni di riferimento e il ricorso ad un numero maggiore di filtri bilanciati per il controllo dello spettro dei fotoni incidenti. Sono in corso applicazioni in questo senso, che hanno già dimostrato la capacità di superare i limiti riscontrati.

- Proseguiranno ai LNS le attività di sviluppo della tecnica Full Field XRF facente uso di rivelatori CCD operati con tecniche di singolo fotone per misure di spettroscopia X risolta spazialmente. L'unità LNS continuerà l'implementazione di tecniche a scansione XRF real-time integrando in un unico apparato Macro-XRF, Micro-XRF e XRF confocale.

- A Firenze sta continuando la miniaturizzazione dello scanner XRF ultraportatile e sostenibile (costi e radiazione X ridotti) con acquisizione basata su mini pc-board, grazie alla collaborazione con la New York University di Abu Dhabi, che sta contribuendo allo sviluppo di schede elettroniche per il controllo di tubo X e rivelatore.

- Sempre riguardo alle tecniche mobili, a Torino si sta sviluppando un primo sistema mobile di radioluminescenza basato su sorgenti X poco intense, simili a quelle usate per XRF (30kV- 60 kV e 0.1 mA – 0.5 mA) che verrà integrato nell'apparato XRF a scansione. Insieme alla Sezione di Firenze si sta lavorando per sviluppare uno strumento che esegua insieme radiografie e immagini XRF, tramite l'aggiunta di un flat panel (rivelatore ad area di raggi-X). Tale upgrade permetterà di integrare le informazioni superficiali ottenute con XRF con quelle relative all'assorbimento di raggi X da parte di tutto lo spessore dell'oggetto in analisi, ottenute invece con la radiografia (particolarmente utile nel caso di dipinti su tela e tavola).

#### FIXLAB - Linee di sviluppo dei laboratori fissi

- Datazione tramite luminescenza, termicamente e otticamente stimolata (TL/OSL): vede coinvolte le Sezioni di BA, CT, MIB, TO, FI, e i LNF e si propone di studiare i fenomeni che determinano la diversa efficienza di luminescenza a irraggiamenti alfa. Essa è, infatti, sia nel caso dei segnali TL che OSL, molto più bassa rispetto a quella relativa ad irraggiamenti beta o gamma. L'obiettivo finale è l'ottimizzazione delle necessarie procedure di irraggiamento artificiale e, quindi, di datazione. Il fenomeno è stato poco studiato in letteratura e, pur riconoscendone il ruolo essenziale nelle procedure di datazione, gli studi esistenti si limitano alla misura dell'efficienza di luminescenza attraverso la valutazione di quest'ultima nelle condizioni di irraggiamento calibrato sia alfa che beta sugli stessi campioni.

Dopo i primi incoraggianti risultati ottenuti nel corso di uno studio di provenienza di lapislazzuli con fasci di elettroni e di ioni, i gruppi delle Sezioni di CT, FI e TO, hanno intrapreso uno studio finalizzato alla caratterizzazione dei segnali di luminescenza stimolata tramite radioluminescenza e OSL. Nel triennio, oltre che i lapislazzuli, saranno oggetto delle misure vari pigmenti di origine minerale.

- Per la parte di datazioni col metodo del radiocarbonio, la ricerca si è concentrata sull'ottimizzazione della Spettroscopia di Massa con Acceleratore (AMS) per riuscire a datare campioni di pochi  $\mu\text{g}$ , nell'ambito dell'esperimento di CSN5 CHNet\_lilliput, che vede coinvolte le Sezioni di FI, MIB e BA. L'obiettivo generale di CHNet\_Lilliput si può dividere in due "macroaree": preparazione dei campioni e misura con l'acceleratore. Per quanto riguarda la preparazione dei campioni ci si sta concentrando sull'ottimizzare l'efficienza del processo di combustione-graftizzazione, minimizzare la possibilità di perdere materiale o introdurre contaminazioni nel passare da una fase all'altra della preparazione, e ottimizzare le procedure per estrarre la frazione carboniosa di interesse in materiali di matrice complessa (p. es. estrazione di collagene da ossa). Per quanto riguarda la misura con l'acceleratore: massimizzare l'efficienza di estrazione della corrente di fascio dalla sorgente, ottimizzare le procedure di misura (per esempio, tempi di iniezione in macchina dei fasci delle tre diverse

masse, 12, 13 e 14) e ottimizzare la misura delle correnti di 12C e 13C ad alta energia, che è fondamentale anche per la stabilità nel tempo delle condizioni di misura.

- Da quest'anno, alle altre linee di sviluppo nell'ambito dei FixLab, si è aggiunta la progettazione e costruzione di una facility Gamma Prompt presso uno dei canali neutronici orizzontali del reattore nucleare di ricerca TRIGA Mark II, in esercizio presso il LENA. Questo è stato possibile grazie all'ingresso nella rete di un gruppo della Sezione di Pavia coinvolto nell'utilizzo e gestione del reattore. Il progetto è portato avanti nell'ambito della CSN5 (esperimento CHNet\_tandem); a fine progetto la struttura sarà disponibile ai gruppi di ricerca che ne faranno richiesta.

## DIGILAB

Il CNAF ha avviato, con la consulenza dell'Opificio delle Pietre Dure a Firenze per quanto riguarda le esigenze della partnership "umanistica", l'implementazione di piattaforme che consentano un'archiviazione completa e opportunamente strutturata dei risultati di tutte le misure di diagnostica che vengono svolte nell'ambito della rete, sia con strumentazione fissa che mobile, per renderle poi accessibili e fruibili da tutti all'interno della collaborazione, ma anche per la loro diffusione verso l'esterno. Questa attività si svolge anche in collaborazione col CNR e sempre più coinvolgerà tutti i partner anche esterni alla rete INFN. Un prototipo di applicazione web per la fruizione dei dati relativi all'imaging XRF è stato sviluppato nell'ambito di una tesi triennale. Si prevede a breve l'integrazione dei dati relativi all'imaging multispettrale.

### Attività di formazione e accesso e terza missione:

A livello nazionale è ormai consolidata la collaborazione fra la rete INFN e gli altri membri del nodo italiano di E-RIHS, fra cui CNR, ENEA, Opificio delle Pietre Dure, il consorzio INSTM e altre Università. Nell'ambito di questa collaborazione proseguono le attività principali, che si sono già svolte negli anni a partire dal 2014 e che sono previste anche per i prossimi anni. In particolare:

1) organizzazione di scuole di formazione (training camp) sull'utilizzo di tecniche diagnostiche nel campo dei Beni Culturali, rivolte anche a operatori del settore del restauro e della conservazione.

2) offerta, a studiosi del campo umanistico e a restauratori, dell'accesso alla strumentazione e alle competenze tecnico-scientifiche del nodo italiano di E-RIHS per lo studio di opere d'arte, monumenti e siti archeologici del territorio italiano.

Nell'ambito del punto 1) CHNet si è fatta carico nel 2016 dell'organizzazione del Training Camp nazionale di E-RIHS presso il museo Bellomo di Siracusa e si farà carico durante il 2017 di due Training Camps tra cui il primo a carattere tematico (archeologico) in collaborazione anche con l'Università di Sassari.

Nell'ambito del punto 2) la rete ha offerto accesso per misure a quattro laboratori mobili e due laboratori fissi per i progetti che sono risultati essere i vincitori della call Nazionale di E-RIHS. La call è annuale e il panel valutazione è composto da referees scelti tra conservatori, restauratori e storici dell'arte dei più prestigiosi musei e centri di restauro internazionali.

Le attività dei punti 1) e 2) sono finanziate con i fondi FOE dedicati ad E-RIHS per un ammontare complessivo di 196kEuro.

Inoltre, sempre a livello nazionale, la rete continua a essere impegnata in attività di diagnostica in esterno presso musei e centri di restauro con cui esistono convenzioni specifiche, quali per esempio l'Opificio delle Pietre Dure di Firenze e la Venaria Reale di Torino, dove sono state trasferite permanentemente strumentazioni INFN (scanner XRF e Tomografi) progettati dalla rete. Questa attività di laboratorio presso i centri di restauro è svolta in collaborazione anche con il CNR.

Il bilancio annuale di CHNet ammonta a circa 500 k€. Il personale impegnato nelle attività di beni culturali conta circa 55 ricercatori, tecnici e tecnologi e circa 30 dottorandi, assegnisti e borsisti.

## 6. INFRASTRUTTURE DI RICERCA

Le infrastrutture di ricerca dell'INFN si articolano in quattro grandi laboratori 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. Come sarà evidente dalla descrizione ogni centro ha la sua peculiarità e specializzazione.

### **6.1 I GRANDI LABORATORI NAZIONALI**

#### **6.1.1 LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI (LNF)**

La caratteristica principale dei Laboratori Nazionali di Frascati risiede nella progettazione e realizzazione di acceleratori di particelle.

Sono in funzione a Frascati due acceleratori: DAFNE, un acceleratore materia-antimateria con elettroni e positroni, che detiene il record mondiale di luminosità a bassa energia e l'acceleratore lineare SPARC\_LAB usato per studi di nuove tecniche di accelerazione con plasma e per produrre fasci di radiazione TeraHertz, Thomson e tramite un Free Electron Laser. I LNF sono tra i pochi laboratori nel mondo che hanno realizzato luce LASER con questa tecnica e ad avere un anello di accumulazione elettroni-positroni con alta luminosità. Le competenze tecniche e scientifiche sono messe a disposizione di una vasta comunità. I laboratori hanno infatti contribuito in modo significativo alla costruzione ed alla messa a punto di un



*Fig. 6.1.1 DAFNE con la sua cupola in elementi pre-fabbricati(Cestelli Guidi, 1960) ed uno scorcio della macchina.*

acceleratore di protoni e ioni carbonio per la terapia medica al Centro Nazionale per la Adroterapia Oncologica (CNAO) entrato in funzione nel 2011 a Pavia. Il Laboratorio è attualmente impegnato nelle costruzioni del progetto Europeo di ELI-NP (Extreme Light Infrastructure -Nuclear Photonics) a Magurele-Bucarest in Romania e in quella di una sorgente Thomson (STAR) presso l'Università della Calabria. La Divisione Acceleratori partecipa anche a progetti di collaborazione su future macchine con il CERN, l'ESRF, il CNAO.

I LNF sono impegnati in numerosi programmi sperimentali con collaborazioni di carattere internazionale. Particolare rilievo rivestono gli esperimenti al CERN di Ginevra con notevole presenza su quelli a LHC. Attività sperimentali vengono svolte anche presso il laboratorio KEK di Tsukuba in Giappone, al Jefferson National Laboratory (JLAB) in Virginia, al Beijing Electron Positron Collider cinese, ed in altri Laboratori internazionali. Per il prossimo triennio si prevede il completamento della sperimentazione in fisica delle particelle e nucleare a DAFNE con gli esperimenti KLOE2 (sino a fine Marzo 2018) e SIDDHARTA-2 (entro il 2019).

Il complesso dell'acceleratore ospita un laboratorio di luce di sincrotrone (DAFNE-Luce), per il quale va sottolineata la partecipazione dei LNF al programma H2020 CALIPSO-Plus. Con tale progetto verrà fornito tempo macchina ad utenti europei per esperimenti nell'ambito della fisica dei materiali e della biologia. Continuano ad essere disponibili per utenti 3 linee di luce di sincrotrone di diverse frequenze: infrarosso (IR), ultravioletto (UV) e la terza nella regione dei raggi X molli. È in corso la realizzazione di 2 ulteriori linee XUV che serviranno a fare test di photo-emissione sulle camere a vuoto previste per HL-LHC, in collaborazione con il CERN.

All'interno del complesso dell'acceleratore DAFNE è presente una linea denominata Beam Test Facility (BTF) che fornisce fasci di positroni/elettroni tra 50 e 550/650 MeV in un vasto intervallo di intensità. Questi sono utilizzati per un'ampia gamma di applicazioni di ricerca sia fondamentale che applicata. Nei prossimi anni si prevede di migliorare la linea di estrazione dal Linac di DAFNE e di realizzare nuove linee di fascio di elettroni e positroni. Questo permetterà di soddisfare un maggior numero di utenti esterni, sia per finalità di ricerca che per applicazioni industriali, e di effettuare sperimentazioni in parallelo. Recentemente l'INFN ha approvato la costruzione di un esperimento (PADME) che utilizzando il fascio della BTF studierà la possibile esistenza di particelle che possano spiegare l'esistenza di un "dark sector". L'inizio della presa dati per questo esperimento è prevista nella prima metà del 2018.

SPARC\_LAB è un laboratorio interdisciplinare dedicato allo studio di nuove tecniche di accelerazione di particelle (elettroni, protoni, ioni) ed allo sviluppo ed applicazione di sorgenti di radiazione avanzate (FEL, THz, Compton-Thomson). Sono previsti nell'attuale configurazione esperimenti di fisica della materia ed applicazioni biomediche. Di recente è stato approvato un progetto europeo in Horizon2020 (EUPRAXIA), nel quale i LNF hanno un ruolo rilevante, che prevede lo studio di fattibilità per una prima facility europea per acceleratori compatti. Nell'ottica della partecipazione dei LNF a questo programma, si prevede un ampliamento dell'attuale struttura:

- la realizzazione di una sala attrezzata dedicata alle linee per gli utenti delle sorgenti di radiazione;
- la realizzazione di un acceleratore a plasma pilotato da fasci di elettroni e/o laser;
- la realizzazione di sorgenti FEL, THz e Compton compatte;
- la realizzazione di una sorgente di radiazione FEL innovativa pilotata da un'accelerazione a plasma nell'ambito della collaborazione Europea EUPRAXIA.

Le attività previste 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.

Nel corso del 2017 è stato presentato il progetto (Conceptual Design Report) di una nuova infrastruttura di ricerca presso i LNF, denominata EuPRAXIA, che dovrebbe accogliere una possibile futura facility europea per la generazione di radiazione da un Free Electron Laser operato da un sistema di accelerazione al plasma. Nel 2018 cominceranno le attività legate a questo progetto, incluse quelle relative alla realizzazione di una nuova grande sala sperimentale nei Laboratori che accoglierà tale facility.

Il Laboratorio ha inoltre un'intensa attività di R&D sui rivelatori, in particolare su quelli a "micro-pattern" che hanno importanti applicazioni non solo in esperimenti di alta energia, quali ad es. per gli apparati per LHC, ma anche per scopi applicativi (dosimetria, rivelazione neutroni, ecc...). Tale

attività coinvolge anche aziende italiane leader dell'elettronica e nella produzione di circuiti stampati di grandi dimensioni. Nei LNF sono in corso le costruzioni per gli upgrade di fase-1 degli esperimenti ALICE, ATLAS, CMS e LHCb sulla macchina LHC del CERN.

Il laboratorio di caratterizzazioni spaziali SCF\_Lab continua ad operare con strumentazione ottica, meccanica ed elettronica e due camere climatiche, per la calibrazione del tracciamento laser di retro-riflettori da installare su satelliti per sistemi di localizzazione GPS o per sonde da inviare sulla Luna o su Marte.

Il Laboratorio dispone di uno staff di 261 persone in ruolo (127 Tecnici, 28 Amministrativi e 106 Ricercatori/Tecnologi), 60 non di ruolo (20 Tecnici, 10 Amministrativi, 30 Ricercatori Tecnologi). Includendo il Gruppo Collegato dell'Università della Calabria, allo staff si aggiungono 137 associati, 31 Assegnisti di Ricerca, 11 Borsisti, e 29 Dottorandi.

Il Laboratorio presenta una spesa prevista per il suo funzionamento nel 2018 pari a circa 12 M€, incluso il costo dell'energia elettrica, una spesa per la ricerca da fondi FOE pari a 5 M€ ed una spesa a destinazione vincolata (inclusi fondi esterni) pari a 4 M€.

Gli utenti del Laboratorio sono circa 500 dei quali la metà stranieri. Il Laboratorio ha un rilevante impatto sulla formazione e sulla divulgazione nel territorio, con circa 7500 visitatori all'anno e con numerosi eventi di incontro, quali Open Lab, Notte dei Ricercatori, seminari divulgativi per il vasto pubblico, Stage e Masterclass per studenti (anche stranieri), corsi di Fisica Moderna per docenti, Matinee per studenti, riprese e servizi televisivi.

### 6.1.2 LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO (LNGS)

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso sono i più grandi laboratori sotterranei al mondo. L'area sotterranea, che beneficia di una copertura di oltre 1400 m di roccia, è costituita da tre grandi sale sperimentali, ognuna delle quali misura circa  $100 \times 20 \times 18 \text{ m}^3$ . Queste sono raccordate tra loro e al traforo autostradale da gallerie di servizio. La superficie totale è pari a  $17800 \text{ m}^2$  e il volume totale ammonta a  $180,000 \text{ m}^3$ .

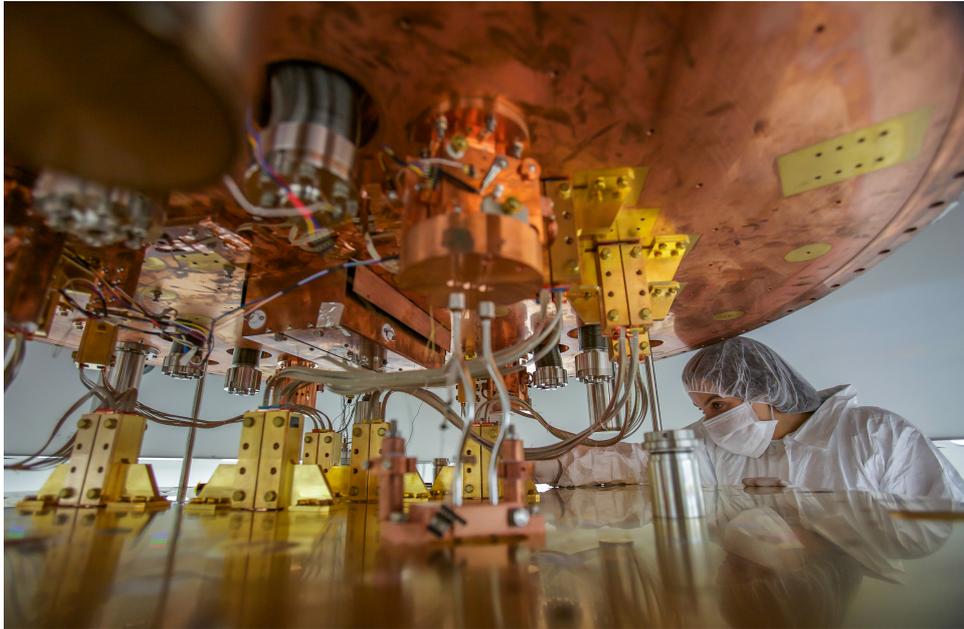
L'elevata copertura rocciosa, la natura della roccia, povera di elementi radioattivi, e l'accurata scelta dei materiali impiegati nella costruzione ne fanno un sito ideale per tutte le misure che possano essere perturbate dalla radioattività o dalla radiazione cosmica. Il sito sotterraneo integrato dagli impianti di servizio per la fornitura di energia elettrica e per garantire la qualità dell'aria, la sicurezza delle persone, la sicurezza degli apparati e la tutela dell'ambiente. costituisce la principale infrastruttura del laboratorio.

Un complesso edilizio in superficie, situato in prossimità dell'ingresso del traforo accoglie uffici, sala-mensa, sale per conferenze, magazzino, laboratori, officina meccanica e capannoni di assemblaggio per grandi apparati.

Le ricerche condotte presso i LNGS sono rivolte prevalentemente ai seguenti ambiti:

- studio delle proprietà intrinseche dei neutrini: fenomeni di oscillazioni, studiati anche con sorgenti artificiali, e ricerche del doppio decadimento beta senza neutrini;
- studio di sorgenti astrofisiche di neutrini: sole e supernove;
- ricerca della materia oscura;

- misura di reazioni nucleari rilevanti per la produzione di energia nelle stelle e per la nucleosintesi nelle stelle e al big bang.



*Fig. 6.1.2 Il criostato di Cuore durante l'assemblaggio dell'esperimento.*

I principali obiettivi per il prossimo triennio sono:

- la continuazione dell'esperimento Borexino per approfondire l'analisi della regione di neutrini di bassa energia con nuove informazioni sul contributo del ciclo CNO nel sole;
- la misura con Borexino delle proprietà di antineutrini prodotti da una sorgente artificiale in prossimità dell'apparato;
- la ricerca della materia oscura con gli esperimenti Xenon1T e CRESST;
- la ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini con gli esperimenti GERDA (fase II) e CUORE;
- la definizione del progetto DarkSide20k, un apparato da 20 tonnellate per la ricerca della materia oscura, e l'inizio della costruzione dell'esperimento;
- l'installazione e messa in funzione dell'acceleratore LUNA-MV nel sito sotterraneo;
- lo sviluppo di nuove tecnologie per la terza generazione di esperimenti sul doppio decadimento beta;
- il potenziamento delle infrastrutture scientifico-tecnologiche di avanguardia al servizio della ricerca.

L'organico dei LNGS alla fine del 2016 è costituito da 74 unità a tempo indeterminato e 18 unità a tempo determinato. A queste va aggiunto il personale in formazione: 10 assegnisti di ricerca e 7 borsisti.

Gli utenti scientifici (per utenti scientifici si intendono gli utilizzatori dei dati prodotti dagli esperimenti condotti nei laboratori) del Laboratorio sono circa mille di cui 2/3 provenienti da 32 paesi stranieri.

Il bilancio di previsione 2017 dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso ammonta a un totale di circa 10 M€ (inclusa l'energia elettrica).

I LNGS hanno stretto da tempo un solido rapporto di collaborazione con la Regione Abruzzo. Questo si è manifestato negli anni 2007-2013 in tre POR per formazione e alta formazione; si è sviluppato più recentemente in progetti di ricerca fondamentale (DarkSide20k) con attenzione allo sviluppo di nuove tecnologie e alla loro ricaduta sul territorio.

Il Laboratorio ha un rilevante impatto sulla formazione e divulgazione sul territorio con circa 8000 visitatori all'anno e con numerosi eventi di outreach per il pubblico con oltre 20,000 partecipanti raggiunti per anno (Notte Europea dei Ricercatori e Open Day).

L'INFN è promotore di un'iniziativa a livello europeo per creare un ERIC centrato sui Laboratori Nazionali del Gran Sasso. L'obiettivo è ampliare ulteriormente la presenza scientifica internazionale ai Laboratori al fine di garantirne il livello di eccellenza mondiale, e di aumentarne le ricadute economiche e culturali sul territorio.

### 6.1.3 LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO (LNL)

La missione dei LNL è il progresso delle conoscenze nella fisica e astrofisica nucleare di base assieme allo sviluppo delle tecnologie nucleari connesse.

Punti di forza dei laboratori sono lo sviluppo di rivelatori di radiazioni nucleari per ricerche di fisica nucleare di punta e la realizzazione di acceleratori innovativi per ioni.

I LNL sono dotati di cinque macchine acceleratrici, tutte utilizzate con continuità dalla comunità scientifica nazionale e internazionale per studi in fisica nucleare degli ioni pesanti e per applicazioni volte allo studio dei materiali, alla fisica dei neutroni e per ricerche interdisciplinari.



*Fig. 6.1.3 Acceleratori attualmente in funzione a LNL:  
CN, AN2000, PIAVE (in alto da sinistra a destra);  
TANDEM, ALPI (in basso da sinistra a destra).*

Il bilancio annuale del laboratorio ammonta a circa 15 M€, di cui circa 8 M€ sono le spese generali di funzionamento (inclusa l'energia elettrica), mentre il resto sono fondi di ricerca e fondi esterni di progetto.

Il laboratorio conta 142 dipendenti, dei quali 103 sono di ruolo e 39 con contratti a tempo determinato. Afferiscono inoltre a LNL 20 associati da Università e altri enti di ricerca, nonché 47 tra dottorandi, borsisti e assegnisti.

In media, annualmente il Laboratorio vede la presenza di circa 700 scienziati, di cui quasi la metà stranieri, che utilizzano le attrezzature del laboratorio. Il laboratorio ha un notevole impatto sulla formazione e divulgazione del territorio con circa 3300 visitatori italiani e stranieri e numerose iniziative quali cicli di conferenze per la cittadinanza, corsi di alta formazione per l'orientamento agli studi universitari, eventi scientifici, notte europea della ricerca.

Le ricerche sono svolte generalmente nell'ambito di ampie collaborazioni internazionali e inoltre, il laboratorio ha accordi diretti con i principali laboratori esteri di fisica nucleare, fra cui il CERN e GANIL. Inoltre, LNL è parte di due LIA (Laboratorio Internazionale Associato), strutture di coordinamento europeo nel campo della fisica nucleare che prevedono accordi scientifici e tecnologici con la Francia (Coll\_AGAIN) e la Polonia (POLITA).

I principali obiettivi per il prossimo triennio sono:

- svolgimento di campagne di misura per lo studio della struttura nucleare con lo spettrometro gamma GALILEO, nonché misure di reazioni nucleari relative ai processi di fusione, trasferimento di molti nucleoni, clustering e pre-equilibrio con lo spettrometro magnetico PRISMA, l'apparato  $4\pi$  GARFIELD, il selettore PISOLO, l'apparato per fasci esotici leggeri EXOTIC agli acceleratori TANDEM ALPI PIAVE;
- il completamento degli upgrading degli apparati sperimentali realizzati dalle collaborazioni GAMMA, PRISMA e NUCLEX per la sperimentazione con i fasci potenziati del complesso PIAVE-ALPI; in preparazione della sperimentazione con SPES;
- la preparazione di nuovi punti di misura per apparati innovativi da installare per la sperimentazione con i fasci esotici di SPES quali l' ACTIVE TARGET per SPES (ATS) nella III sala sperimentale – gli apparati per fasci non riaccelerati in sala SPES (Tape system di diagnostica, Decay station ed ancillari, spettrometro per misure di massa);
- lo sviluppo del progetto SPES, che comprende la messa in funzione del nuovo ciclotrone e del sistema di bersaglio ISOL, l'estrazione di fasci radioattivi di bassa energia, l'installazione del sistema di Charge Breeder; la messa in funzione del pre-acceleratore RFQ normal conduttivo e l'iniezione in ALPI per la riaccelerazione;
- l'inizio della sperimentazione con fasci non riaccelerati (linea di bassa energia);
- il completamento, mediante accordi con altri enti di ricerca e con aziende del settore, di un centro per ricerche, produzione e distribuzione di radio isotopi di interesse medico, basato sulla seconda uscita del Ciclotrone da 70 MeV (progetto LARAMED, fase gamma del progetto SPES);

- il commissioning e quindi la sperimentazione riguardo all' acceleratore RFQ per il progetto IFMIF/EVEDA, già installato in Giappone e relativo allo studio degli effetti di irraggiamento neutronico sui materiali dei futuri reattori a fusione nucleare;
- la partecipazione al progetto della European Spallation Source, con la progettazione, realizzazione e commissioning di parte dell'acceleratore;
- lo sviluppo di una infrastruttura "Laboratorio Tecnologie Acceleratori" (LATA) dove poter effettuare test di nuovi acceleratori con particolare riguardo a una sorgente neutronica, ad alta intensità per applicazioni interdisciplinari (progetto MUNES);
- il completamento della campagna di misure della radioattività di rocce e suoli dell'Italia centrale (progetto ITALRAD).

#### 6.1.4 LABORATORI NAZIONALI DEL SUD (LNS)

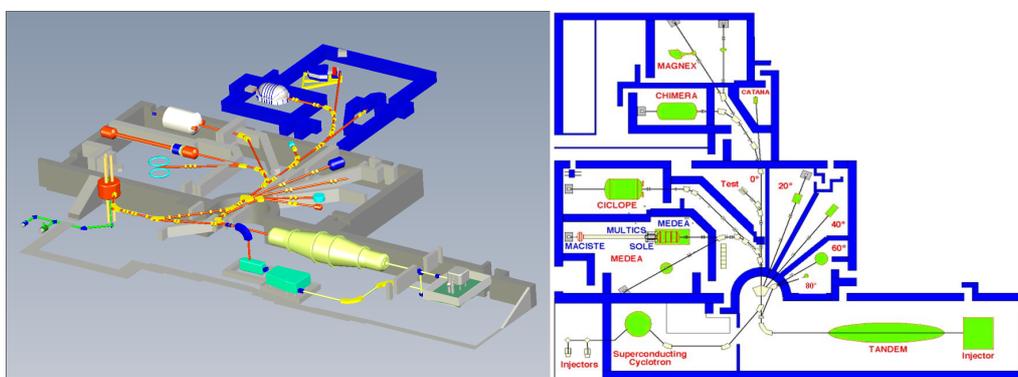


Fig. 6.1.4 Pianta degli Acceleratori e degli apparati sperimentali dei LNS.

I Laboratori Nazionali del Sud sono coinvolti in un certo numero di progetti scientifici di rilevanza internazionale. Le attività di ricerca si svolgono nel campo della Fisica Nucleare, sia con fasci stabili sia con fasci instabili, nel campo dell'Astrofisica Nucleare e Particellare, e nel campo interdisciplinare (fisica degli acceleratori, studio di sistemi di accelerazione innovativi, fisica dei plasmi con applicazioni alle sorgenti di ioni a elevato stato di carica, fisica nucleare applicata alla medicina, alla biologia e ai beni culturali, monitoraggio ambientale e di scorie radioattive, irraggiamento di componentistica per l'industria aerospaziale).

Ai LNS sono operativi un Ciclotrone Superconduttore (CS) e un Tandem, per accelerare fasci di ioni dall'idrogeno al piombo con energie sino a diverse decine di MeV per nucleone. Tramite l'infrastruttura FRIBS@LNS vengono anche prodotti fasci di ioni radioattivi alle energie del CS. Per la Fisica Nucleare e l'Astrofisica Nucleare sono in funzione grandi apparati di rivelazione (CHIMERA, MAGNEX, MEDEA) e apparati custom che possono essere installati in una delle sale sperimentali disponibili. Per l'Astrofisica particellare è in costruzione una grande infrastruttura di ricerca sottomarina (KM3NeT) per la rivelazione di neutrini, alla quale fa capo una sede dei LNS situata a Capo Passero, utilizzata anche per attività di ricerca multidisciplinari (Geofisica, Vulcanologia, Biologia marina, ecc.). Ai LNS sono inoltre presenti una sala di irraggiamento per la protonterapia (CATANA), un laboratorio per i beni culturali (LANDIS), un laboratorio per la

radioattività ambientale e altri laboratori per attività multidisciplinari (fotonica, biologia, chimica, ecc.).

Si prevede nei prossimi anni di effettuare un upgrade del Ciclotrone Superconduttore inteso ad aumentare l'intensità del fascio estratto per ioni con  $A < 40$ . Il caso di fisica è l'esperimento NUMEN che intende misurare l'elemento di matrice nucleare del doppio decadimento beta, ma l'aumento di intensità permetterà di avere un rate maggiore di produzione di fasci radioattivi con FRIBS@LNS. Per raggiungere l'obiettivo indicato, si pensa di implementare, per i soli fasci leggeri di interesse, un modo di estrazione basato sulla variazione di rigidità magnetica dovuta all'aumento di stato di carica per stripping, diverso da quello attualmente in uso basato sull'azione deflettente di due deflettori elettrostatici. Le intensità dei fasci leggeri da estrarre per stripping corrispondono a potenze di fascio fino a 10 kW. L'attuale modo di estrazione resterà comunque operativo per tutti gli altri fasci disponibili. A seguito di uno studio dettagliato della dinamica del fascio per il nuovo modo di estrazione, è stato definito un nuovo canale di estrazione che va ad aggiungersi a quello attuale. Pertanto, è necessario installare un nuovo magnete superconduttivo al posto dell'attuale, compatibile con le traiettorie di estrazione per stripping e per deflessione elettrostatica, dove siano state praticate le opportune aperture. L'approvvigionamento del nuovo magnete superconduttivo è in corso, essendo la relativa gara stata istruita con il metodo del dialogo competitivo. La realizzazione si estenderà su tre anni a partire dall'anno in corso.

Si prevede la continuazione dei programmi di adroterapia clinica (CATANA), che vedono i LNS impegnati costantemente nel trattamento dei melanomi oculari con i fasci di protoni da 62 MeV accelerati dal Ciclotrone Superconduttore, con i quali più di 350 pazienti sono stati finora trattati. Tali programmi prevedono, parallelamente, uno sviluppo costante degli elementi di trasporto, di diagnostica e di controllo necessario a mantenere adeguato lo standard di qualità dei trattamenti.

Le maggiori attività in Fisica Nucleare e Astrofisica Nucleare previste per il prossimo triennio sono di seguito sinteticamente descritte.

Nell'ambito del progetto NUMEN, è rilevante l'assegnazione dell'European Research Council Starting Grant come P.I. a un membro del gruppo NUMEN, per il progetto NURE (NUclear REactions). Sono previste le misure di sezioni d'urto di reazioni di doppio scambio di carica al CS con MAGNEX. La reazione su  $^{130}\text{Te}$  in particolare studia il processo nucleare fondamentale per l'esperimento CUORE dei LNGS, che è uno dei casi 'chiavè per la ricerca del  $0\nu\beta\beta$ . È prevista inoltre un'intensa attività di R&D per l'upgrade del rivelatore di piano focale (FPD) di MAGNEX.

Il programma di lavoro con il rivelatore CHIMERA prevede il completamento dell'integrazione dell'elettronica GET per gli scintillatori CsI(Tl) di CHIMERA e il conseguente upgrade del sistema di acquisizione. È prevista un'intensa campagna di misure da effettuare con la combinazione dei rivelatori FARCOS+CHIMERA per indagare sulla dinamica del processo di equilibrizzazione dell'Isospin, per misurare il branching ratio per decadimento gamma dello "Hoyle state" (7.65 MeV) e del primo livello eccitato 3- del  $^{12}\text{C}$  (9.64 MeV), per studiare la competizione tra il meccanismo di emissione dinamica e emissione statistica dei frammenti di massa intermedia (IMF) e delle particelle cariche leggere (LCP), per studiare la Pygmy Dipole Resonance. In quest'ultimo caso il fascio esotico di  $^{68}\text{Ni}$  è ottenuto per frammentazione in volo (FRIBS@LNS) del fascio primario di  $^{70}\text{Zn}$  a 40 MeV/amu.

Saranno effettuati vari esperimenti per studiare gli effetti della struttura ad alone di protoni sullo scattering elastico, e per misurare la sezione d'urto di break-up elastico. Continueranno i test di produzione del fascio in collaborazione con il gruppo ERNA per lo sviluppo di un fascio di  $^{10}\text{Be}$  presso i LNS. Saranno effettuate misure di campo magnetico ed eseguiti i primi test di fattibilità

per la realizzazione dello spettrometro Helios-like adoperando il solenoide SOLE. Sarà effettuata la misura della GDR ad alta energia di eccitazione nei nuclei di massa  $A=190$  con MEDEA+SOLE+MACISTE.

Per l'Astrofisica Nucleare, saranno effettuati vari esperimenti per la misura dell'Asymptotic Normalization Coefficient (ANC), per lo studio col metodo del Trojan Horse (THM) della nucleosintesi primordiale e del problema del litio cosmologico, per la misura della distribuzione degli impulsi di alfa all'interno di  $^{20}\text{Ne}$ , per valutare l'effetto della clusterizzazione sulla probabilità di fusione, per lo studio di reazioni indotte da  $^{18}\text{Ne}$  e  $^8\text{B}$  di interesse astrofisico, per la misura della sezione d'urto della reazione  $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$  con il THM ai LNS. Verrà inoltre assemblato e testato presso i LNS l'array di Silici ELISSA da utilizzarsi per lo studio di reazioni di fotodissociazione da effettuarsi presso ELI-NP.

Nell'ambito delle attività di n\_TOF, sarà completata l'analisi dati della  $^7\text{Be}(n,p)$ . Procederà anche l'analisi dati della  $^{235}\text{U}(n,f)$ . Sarà effettuata la misura della sezione d'urto della  $^{235}\text{U}(n,f)$  nel range da 10MeV a 1GeV, facendo uso del Proton Recoil Telescope già realizzato ai LNS e testato al CERN.

Nell'ambito del progetto KM3NeT-Italia, si procederà con l'installazione delle rimanenti stringhe, realizzate secondo il progetto definito dalla collaborazione internazionale KM3NeT. Dopo una fase di revisione saranno installate anche le 7 torri. Sarà completato lo studio del progetto per la realizzazione dell'espansione del telescopio (KM3NeT 2.0).

L'attività del gruppo LANDIS procederà con lo sviluppo di tecniche analitiche avanzate basate sull'uso di raggi X (sorgenti portatili) e di particelle cariche (acceleratori LNS), per la caratterizzazione non invasiva di beni culturali e materiale archeologico. Verrà sviluppata e installata una stazione mobile per misure PIXE a scansione sulla linea  $80^\circ$  dei LNS. Il nuovo scanner PIXE, basato sull'uso di un sistema multirivelatore e una movimentazione meccatronica operante in real time, impiegherà fasci di protoni TANDEM da 3-5 MeV.

Proseguirà l'attività all'interno del progetto europeo JOPRAD, per la definizione di un JOint PRogramming on RADwaste riguardo ai depositi interim e geologici per scorie radioattive. Si è anche entrati nella piattaforma tecnologica europea IGD-TP concernente i depositi geologici, e nell'ambito di entrambe le attività si continua a studiare sistemi di monitoraggio puntuale per rifiuti radioattivi, anche in vista dell'imminente allestimento del deposito nazionale. Detti sistemi consentiranno di controllare da remoto e in tempo reale lo stato di conservazione dei singoli fusti, mappandone nel tempo l'attività radioattiva e minimizzando l'esposizione degli operatori alla radiazione.

Gli obiettivi dell'attività di fisica medica ai LNS sono fortemente connessi con sperimentazioni di tipo radiobiologico. I LNS forniscono, infatti, sia gli strumenti tecnici (linee di fascio, sistemi di movimentazione, laboratorio di colture cellulari) sia il supporto sperimentale per la dosimetria, la diagnostica e la formazione di fasci di ioni dedicati all'irraggiamento di campioni biologici. L'attività di fisica medica dei LNS comprende anche una forte componente legata allo sviluppo e utilizzo di applicazioni Monte Carlo, caratterizzate da una doppia valenza. Da un lato viene svolta un'attività di ricerca relativa alla simulazione dell'effetto biologico delle radiazioni, alla progettazione di nuovi elementi della linea di trasporto e allo studio preliminari di rivelatori per dosimetria e diagnostica. Dall'altro, le stesse simulazioni forniscono uno strumento di supporto per l'attività sperimentale relativa alle applicazioni dosimetriche e radiobiologiche.

È prevista anche un'attività di sviluppo e caratterizzazione di rivelatori innovativi per dosimetria relativa e assoluta per fasci di protoni accelerati per interazione laser-target, nell'ambito del progetto ELIMED. Le peculiarità di questo tipo di fasci rende necessaria la messa a punto di nuovi

protocolli per la misura della dose, che verranno studiati e finalizzati. I LNS sono fortemente coinvolti in attività legate all'utilizzo di laser di alta potenza (200TW–10 PW) per lo studio dell'interazione laser-materia, per lo sviluppo di nuove tecniche di accelerazione e per l'applicazione dei fasci laser-driven in alcuni dei molteplici campi di interesse. In particolare i LNS sono coinvolti nello sviluppo di una delle quattro facility previste nell'infrastruttura di ricerca europea ELI: la costruzione di una facility (ELI-Beamlines) di fasci laser-driven per applicazioni medicali a Praga. L'attività tecnologica e di ricerca prevista riguarda il completamento della linea di trasporto ELIMED che sarà installata a ELI-beamlines. Saranno inoltre studiate varie soluzioni per la diagnostica e la dosimetria dei fasci laser-driven.

È in prosecuzione l'attività di sviluppo della sorgente di ioni a multicarica per Adronterapia, Aisha. I LNS coordinano il contributo INFN alla European Spallation Source per la produzione e impiego di fasci di neutroni di bassa energia.

La previsione di bilancio per il 2017 dei Laboratori è di circa 12 M€, di cui 7 M€ per spese generali di funzionamento e 900 k€ per esperimenti da parte delle CSN 2,3,4,5. Per il 2017 i fondi esterni contribuiscono con circa 23 M€ per progetti di durata pluriennale. Di conseguenza, il totale dei fondi per il 2017 ammonta a quasi 35 M€.

Il personale dei Laboratori è costituito da 106 dipendenti a tempo indeterminato, 30 dipendenti a tempo determinato, 13 incaricati di ricerca, 53 associati e 31 tra assegnisti, borsisti e art.2222.

Gli utenti dei Laboratori sono 430 di cui il 40% stranieri. Sono rilevanti le attività di formazione e divulgazione sul territorio con circa 5000 visitatori all'anno e numerosi eventi di incontro con il pubblico.

## **6.2 OSSERVATORIO GRAVITAZIONALE EUROPEO, EGO**



*Fig. 6.2.1 Edificio centrale, mode cleaner e braccio Nord di Virgo.*

EGO (European Gravitational Observatory) è il consorzio di diritto privato fondato da INFN e CNRS nel 2000 per gestire la costruzione, le operazioni, la manutenzione e gli sviluppi del più grande detector Europeo per la ricerca delle onde gravitazionali: Virgo. Virgo è uno dei tre maggiori interferometri nel mondo, insieme ai due americani LIGO, con i quali esiste da anni una solida collaborazione. La Collaborazione Virgo ha partecipato alla prima rivelazione delle onde

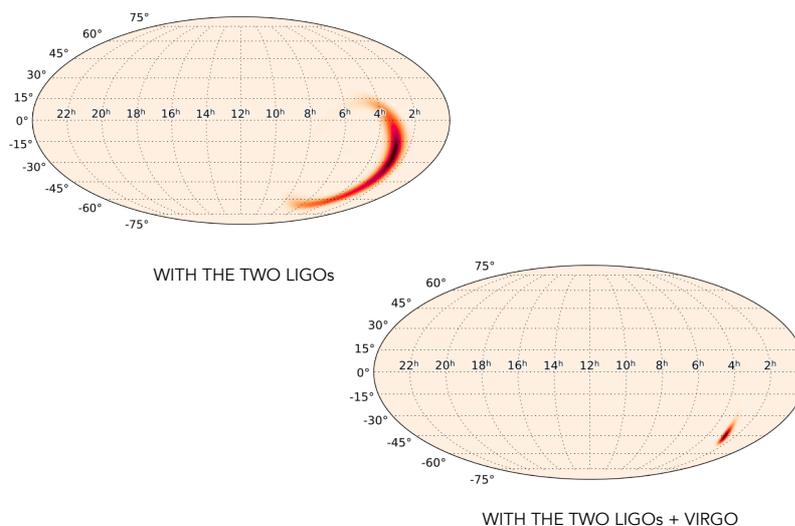
gravitazionali ottenuta grazie alla osservazione del collasso di un sistema binario di buchi neri, registrato il 14 settembre 2015 dai due interferometri LIGO, allora gli unici in funzione.

Nell'agosto 2016 si è conclusa la costruzione di Advanced Virgo, il progetto di upgrade di Virgo pensato per aumentare di un fattore 1000 il volume di Universo esplorato per individuare le sorgenti di onde gravitazionali.

Quasi tutte le componenti del rivelatore sono state migliorate. Gli specchi della prima generazione Virgo sono stati sostituiti con altri che presentano caratteristiche ottiche estreme, frutto di anni di R&D, adeguate alle nuove specifiche; i sistemi di iniezione del laser e rivelazione del segnale, completamente rinnovati, potranno usufruire di un nuovo laser ad alta potenza e le aberrazioni indotte dagli effetti termici saranno corrette da un sofisticato sistema di compensazione; è stato potenziato il sistema di ultra alto vuoto e tutti gli impianti adeguati per ridurre i rumori secondo vincoli molto più severi rispetto a Virgo. Sono state messe in atto le best practice del project management per un controllo puntuale del budget, del planning e delle performance finali. Il commissioning dello strumento è iniziato in primo luogo sulle singole componenti installate. A novembre 2016 è iniziato il commissioning integrato dell'intero rivelatore e già prima della fine di febbraio è stato possibile ottenere il locking dell'interferometro completo, come mostrato alle autorità degli Enti di ricerca e dei Paesi membri durante la cerimonia di inaugurazione di Advanced Virgo (20 febbraio 2017).

Virgo ha conseguito una sensibilità adeguata per partecipare al primo run scientifico in coincidenza con Advanced LIGO, nel periodo 1 agosto-25 agosto, data prevista da LIGO per lo spegnimento dei due interferometri americani, che stanno soffrendo di problemi all'impianto di super alto vuoto.

La presa dati congiunta seppur breve dei tre strumenti è stata coronata da successi scientifici straordinari: il 14 agosto è stato registrato in tripla coincidenza un segnale di onda gravitazionale emesso da un sistema di buchi neri molto distante, 1.8 Gyr, che ha per la prima volta permesso di verificare il fondamentale contributo di Virgo alla localizzazione della sorgente sulla volta celeste, migliorata di un fattore circa 50 (Figura 6.2.2). Il 17 agosto è stato registrato un segnale emesso durante il collasso di due stelle di neutroni; si è trattato del primo evento di questa classe di possibili generatori di onde gravitazionali, accompagnato da una sensazionale serie di osservazioni astronomiche, rese possibili dalla localizzazione molto accurata della sorgente. Satelliti gamma, numerosi telescopi ottici, satelliti X, radiotelescopi hanno catturato straordinarie sequenze di segnali collegate all'evento gravitazionale, aprendo la strada alla conoscenza dettagliata del fenomeno. Le ricadute astrofisiche sono state ampiamente sottolineate da una serie ricchissima di pubblicazioni ed anche dalla stampa mondiale che ha riconosciuto in tale fenomeno il reale inizio della nuova astronomia multi messaggera.



*Fig.6.2.2 Localizzazione della sorgente sulla volta celeste con e senza Virgo.*

Sia l'evento del 14 agosto che quello del 17 sono stati presentati con conferenze stampa, il primo il 27 settembre all'apertura del G7 scienza a Torino, il secondo il 16 ottobre a Washington.

Altri dati raccolti nel breve periodo sono allo studio; recentemente è stata pubblicata una nuova osservazione tripla di onde gravitazionali emesse da un sistema binario di buchi neri in collasso, ma si attende altro da questa straordinaria raccolta di agosto 2017.

Il 3 ottobre è stata annunciata l'attribuzione del premio Nobel per la fisica a tre rappresentanti della collaborazione LIGO/Virgo, R. Weiss, K. Thorne e B. Barish.

EGO è una estesa infrastruttura collocata nella campagna toscana a circa 15 chilometri da Pisa. L'infrastruttura EGO comprende i due tunnel (3 km ciascuno) ad ultra alto vuoto ( $P= 10^{-9}$  mbar, il più grande sistema di ultra vuoto in Europa, il secondo nel mondo), il complesso centrale di laboratori di iniezione e rivelazione; nell'edificio centrale dieci torri contengono sofisticati attenuatori per la riduzione del rumore sismico, attualmente i più efficienti nel mondo, specificatamente concepiti per Virgo e prodotti in Italia (lo stesso concetto è stato adottato anche dall'interferometro KAGRA in Giappone). Gli edifici terminali ospitano corrispondenti torri per gli specchi; ad esse si aggiungono numerose clean room fino alla classe 1, un centro di calcolo, la control room, i laboratori di ottica, elettronica, criogenia e vuoto, e tutte le strutture di servizio (facility per la pulizia delle componenti da inserire sotto vuoto, officine, impianti di condizionamento ed elettrici, uffici, sale riunioni).

La principale missione di EGO è il supporto alla costruzione e al funzionamento dell'apparato Virgo per la rivelazione diretta delle onde gravitazionali. Negli ultimi anni le attività di EGO e della Collaborazione Virgo si sono concentrate sulla progettazione e costruzione delle nuove componenti con sensibile miglioramento di sospensioni, specchi, banchi ottici, laser, elettronica e controlli, ultra alto vuoto. Per questo sono state sviluppate specifiche tecnologie nei settori della meccanica, ottica ed elettronica, anche in collaborazione con industrie italiane.

EGO è un Consorzio internazionale dalla fondazione, essendo frutto di una compartecipazione italo-francese, cui si è aggiunta la partecipazione, quale “Ente Associato”, dell’Istituto di ricerca olandese Nikhef, che contribuisce in kind al funzionamento di EGO. Fanno parte della Collaborazione Virgo anche gruppi polacchi e ungheresi, ai quali si è unito recentemente un gruppo spagnolo.

EGO/Virgo, essendo una delle tre massime infrastrutture mondiali del settore, ha in atto collaborazioni scientifiche/tecnologiche con tutti i gruppi internazionali attivi nel settore: i laboratori americani LIGO, la LIGO Scientific Collaboration (LSC), il laboratorio tedesco/britannico GEO600, i centri giapponesi KAGRA e IRCC, la collaborazione indiana IndIGO, la collaborazione australiana ACIGA.

Il mandato di EGO prevede lo svolgimento di ricerche nel campo gravitazionale di interesse comune ai Membri, la promozione della cooperazione nel campo della ricerca sperimentale e teorica delle onde gravitazionali in Europa, lo sviluppo delle tecnologie attraverso Ricerca & Sviluppo, l’attività di diffusione della cultura scientifica e l’offerta di formazione avanzata per i giovani ricercatori.

EGO ha la leadership europea nella progettazione della futura evoluzione della ricerca delle onde gravitazionali, come testimoniato dal coordinamento di importanti progetti europei, all’interno del FP7 e H2020, in particolare il disegno concettuale dell’osservatorio di terza generazione “Einstein Telescope” (ET), progetto leader mondiale; EGO ha coordinato il progetto europeo ELITES, che prevede lo scambio di ricercatori con la collaborazione giapponese KAGRA.

L’alta concentrazione di competenze e infrastrutture tecnologiche disponibili permettono ad EGO di avere un importante ruolo di alta formazione; attualmente, infatti, EGO coordina un Initial Training Network (GraWIToN), finanziato dalla commissione europea, per la formazione di giovani ricercatori nella scienza e nella tecnologia del mondo delle onde gravitazionali.

I Membri del Consorzio EGO, INFN e CNRS, contribuiscono in parti uguali al bilancio annuale, approvato dal Consiglio di EGO. Nikhef, che ha lo stato di osservatore al Consiglio, contribuisce con una quota pro-capite per ricercatore.

I contributi al progetto Advanced Virgo sono regolati da MOU firmati dalle Agenzie finanziatrici: INFN, CNRS, Nikhef, Wigner (HU) e Polgrav (PL).

Il costo dell’upgrade ad Advanced Virgo, distribuito sugli anni della costruzione è stato di 23.8 M€ di cui 7M€ da INFN, 7M€ da CNRS, 2M€ da Nikhef, 7.8M€ dal bilancio ordinario di EGO. Si aggiungono contributi in kind da laboratori polacchi e ungheresi.

Il Bilancio ordinario annuale di EGO deriva dai contributi: 4500 k€ INFN, 4500 k€ CNRS (FR), 70 k€ da Nikhef (NL).

Il personale di EGO ammonta a 51 persone con contratto a tempo indeterminato e 7 con contratti a tempo determinato o collaboratori temporanei. Il costo del personale è pari al 36% del bilancio ordinario, i costi del funzionamento sono pari al 36%, 25% per investimenti per Virgo e 3% per borse. EGO ha assegnato dal 2010 al 2017 15 Borse di dottorato e 44 Post-doc, per un totale di 5.5 M€.

I membri della Collaborazione Virgo sono circa 280 e le nazionalità presenti sono: Francia, Italia, Olanda, Polonia, Spagna e Ungheria.

Nel triennio 2018/2020 le attività di EGO/Virgo saranno dunque dedicate principalmente al miglioramento della sensibilità con l'introduzione della sospensione monolitica degli specchi, l'introduzione di uno squeezer, sviluppato dal Albert Einstein Institute di Hannover, di un nuovo laser di maggiore potenza, del commissioning dell'esperimento finalizzato al raggiungimento della sensibilità massima possibile con la presente infrastruttura, ai run scientifici congiunti ed agli upgrade necessari per poter migliorare ulteriormente la stabilità e la sensibilità della macchina.

Nel quadro delle attività di sviluppo future del rivelatore Advanced Virgo, ci collocano almeno altri due argomenti: il miglioramento della qualità mecano-ottiche degli specchi che ha una influenza determinante nella parte centrale della curva di sensibilità dei rivelatori gravitazionali e lo studio del rumore sismico e del conseguente rumore newtoniano che deve consentire il miglioramento delle performance del rivelatore nella zona delle basse frequenze, intervallo cruciale per le prospettive di rivelazione dei segnali da Pulsar e per l'inseguimento della fase finale di coalescenza dei sistemi binari.

### **6.3 IL PROGETTO KM3NeT**

KM3NeT costituirà la più grande infrastruttura di ricerca a grande profondità nel Mar Mediterraneo dedicata alla fisica astroparticellare e a ricerche multidisciplinari.

Grazie al suo elevato potenziale scientifico KM3NeT è inclusa dal 2006 nella roadmap di ESFRI tra le infrastrutture di interesse pan-europeo. Il programma scientifico di KM3NeT, inizialmente mirato alla sola astronomia con neutrini, è stato esteso anche alla determinazione della gerarchia di massa dei neutrini. Una proposta per un upgrade dell'infrastruttura (KM3NeT 2.0) è stata inserita nella nuova roadmap ESFRI 2016-2026. Questa infrastruttura sarà costituita da due nodi: KM3NeT/ARCA, dedicato allo studio di neutrini di alta energia e installato presso il sito Italiano di Capo Passero, e KM3NeT/ORCA dedicato allo studio della gerarchia di massa dei neutrini ed installato nel sito francese di Tolone.

Per quanto riguarda l'astronomia con neutrini l'obiettivo principale di KM3NeT è la ricerca e lo studio di sorgenti di neutrini nella regione di energia tra il TeV e la decina di PeV. KM3NeT sarà complementare al progetto IceCube installato nelle profondità dei ghiacci antartici presso il Polo Sud e ne migliorerà la sensibilità. La collocazione del rivelatore nel Mar Mediterraneo consentirà di osservare la quasi totalità della regione del centro galattico.

Recentemente è stato suggerito che la gerarchia di massa dei neutrini può essere determinata studiando i neutrini atmosferici. La collaborazione KM3NeT ha mostrato che tale misura può essere effettuata mediante un rivelatore sottomarino di volume dell'ordine del Mton costruito utilizzando la stessa tecnologia del telescopio per neutrini di alta energia ma molto più densamente strumentato.

KM3NeT sarà costituito da un insieme di strutture verticali (Detection Units) installate nelle profondità marine. Ogni struttura alloggia i sensori ottici per la rivelazione della luce prodotta dalle particelle originate nelle interazioni di neutrino nell'acqua ed anche la strumentazione necessaria al monitoraggio continuo delle proprietà dell'acqua ed al posizionamento dinamico delle strutture di rivelazione.

Considerazioni di tipo logistico e tecnologico hanno portato alla definizione di uno schema a blocchi, ciascuno composto da un centinaio di Detection Units. L'alimentazione del rivelatore e il trasferimento dei dati saranno effettuati attraverso una rete di cavi elettro-ottici e da nodi di raccolta e distribuzione (Junction Boxes) che convergeranno poi su un cavo elettro-ottico principale che connette l'infrastruttura off-shore con la stazione di terra. Le operazioni di posa e manutenzione saranno effettuate tramite robot controllati dalla superficie in grado di operare a grande profondità. Le prestazioni di questa soluzione a blocchi sono state studiate tramite simulazioni numeriche che non hanno messo in evidenza alcuna controindicazione in termini di prestazioni del rivelatore (sensibilità, potenziale di scoperta). I blocchi possono essere installati a distanze della decina di km o anche su diversi siti. Le opportunità di reperimento di fondi anche su base regionale hanno portato alla scelta dell'opzione di infrastruttura distribuita su diversi siti. L'infrastruttura Europea KM3NeT sarà pertanto un'infrastruttura distribuita con uno dei nodi installato in Italia ed operata da un consorzio centralizzato di tipo ERIC.

Il nodo italiano ospiterà il telescopio dedicato all'astronomia con neutrini di alta energia (KM3NeT/ARCA) costituito da due blocchi, con un volume totale strumentato di circa  $1 \text{ km}^3$ . Ogni blocco sarà composto da 115 Detection Units di circa 700 m di altezza distanziate in media di 90 m. Il rivelatore sarà installato a 3500 m di profondità 80 km al largo di Capo Passero su un sito che è stato studiato e caratterizzato da una collaborazione INFN negli ultimi quindici anni.

L'INFN ha già realizzato sul sito un'infrastruttura comprendente una stazione di terra, un sistema di potenza e un cavo elettro-ottico sottomarino con convertitore DC/DC da 10 kW già operativi. Nel 2015 e 2016 sono state installate le prime due Detection Units. La stazione di terra è inoltre collegata tramite un link ottico a 10 Gbit/s ai Laboratori Nazionali del Sud. Da qui i dati saranno distribuiti in tempo reale a tutti i membri della collaborazione europea.

La prima fase di costruzione della rete di fondo e delle prime Detection Units è stata realizzata grazie al finanziamento del progetto KM3NeT-Italia sul PON 2007-2013 "Ricerca e Competitività". È in corso la negoziazione con la Regione Siciliana un programma di sviluppo infrastrutturale per 34 M€ cofinanziato al 50% dalla Regione Siciliana per KM3NeT cui si aggiungono 6 M€ per attività connesse ad Emso in Sicilia sempre cofinanziate al 50%.

Questo consentirà di avviare dal 2017 la seconda fase di implementazione di KM3NeT verso il completamento del nodo italiano.

Per lo studio della gerarchia di massa dei neutrini si prevede di realizzare presso il nodo francese un rivelatore (KM3NeT/ORCA) costituito da due blocchi realizzati con la medesima tecnologia sviluppata per l'astronomia con neutrini ma con una disposizione molto più compatta di sensori.

L'infrastruttura KM3NeT è inoltre compatibile e sinergica con attività legate a scienze della terra e marine nel cui campo sono stati già avviati contatti e collaborazioni. In particolare sono previsti esperimenti in sinergia con EMSO che è un'altra grande infrastruttura europea inserita in ESFRI che prevede la realizzazione di una rete di osservatori sottomarini per le scienze della terra e del mare.

La collaborazione internazionale KM3NeT conta circa 250 membri da 11 paesi Europei e dell'area del Mediterraneo.

## **6.4 IL PROGETTO SPES**

Obiettivo principale del progetto SPES è la comprensione dell'origine degli elementi presenti nell'Universo. Questo obiettivo ambizioso e complesso richiede lo studio delle caratteristiche dei nuclei instabili (radioattivi) attraverso i loro decadimenti e le interazioni nucleari di diverso tipo.

Con il progetto SPES si sta realizzando una infrastruttura di ricerca, per la Fisica Nucleare ed Astrofisica Nucleare basata sulla produzione di fasci radioattivi con la tecnica ISOL. Oltre agli obiettivi scientifici nel campo della fisica nucleare, SPES fornirà una struttura in grado di soddisfare, esigenze di ricerca applicativa di interesse nazionale e internazionale, in particolare nel campo della medicina nucleare.

La facility ISOL in costruzione sarà confrontabile, per potenzialità di produzione dei fasci radioattivi, a SPIRAL2 (GANIL, Francia), HIE ISOLDE (CERN) e ISAC (TRIUMF, Canada). Il driver del sistema ISOL è un ciclotrone per protoni da 70 MeV con corrente totale di circa 1mA. Il sistema ISOL fornirà principalmente ioni ricchi di neutroni, prodotti da fissione dell'Uranio indotta da protoni ( $10^{13}$  fissioni/s). La distribuzione del fascio avverrà su due uscite indipendenti.

Il progetto SPES ha come obiettivo la realizzazione di tre aree di attività:

- a) la facility ISOL con produzione di fasci di ioni esotici e selezione isotopica ad alta risoluzione (potere risolutivo in massa: 1/20000 con ionizzazione selettiva via laser e HRMS (High Resolution Mass Separator) che permette misure di alto interesse nel campo della struttura nucleare e della dinamica delle reazioni tra ioni pesanti con fasci riaccelerati di ioni instabili ricchi di neutroni;
- b) il laboratorio per l'uso del secondo fascio di protoni del ciclotrone, per la produzione di radioisotopi innovativi per applicazioni mediche nel campo della diagnostica e della terapia;
- c) è inoltre allo studio la possibilità di realizzare un laboratorio per la produzione di neutroni utilizzando il fascio del ciclotrone e bersagli di vari materiali (Litio, Berillio, Tungsteno, ecc.) per lo studio dei reattori nucleari di IV generazione e applicazioni nel campo dei materiali, dell'industria, della medicina e dell'astrofisica.



*Fig. 6.4 Il ciclotrone per protoni da 70 MeV, driver del progetto SPES.*

I principali obiettivi per il prossimo triennio sono: la realizzazione del sistema di pre-accelerazione per l'iniezione del fascio radioattivo in ALPI; l'installazione ed il commissioning del sistema ISOL bersaglio sorgente; lo sviluppo di un sistema laser per ionizzazione selettiva; la progettazione di un separatore ad alta risoluzione, essenziale per la produzione di fasci radioattivi ad alta purezza. Si prevede, inoltre, l'installazione ed il commissioning del sistema Charge Breeder e del sistema di selezione e trasporto del fascio fino al pre-acceleratore RFQ. Si prevede la prima sperimentazione con fasci  $1^+$  non riaccelerati.

Il costo del progetto per quanto riguarda la fase ISOL è di circa 56 M€, di cui 36 già investiti. Il costo relativo alla realizzazione del laboratorio per la produzione di radioisotopi per uso biomedicale è stimato in circa 20 M€, reperiti in parte tramite progetti premiali e in parte tramite il partenariato con un'azienda privata.

Alla realizzazione del progetto SPES lavorano circa 50 tra ricercatori, tecnologi e tecnici oltre a circa 20 dottorandi, borsisti e assegnisti.

## **6.5 CNAF**

Il CNAF è il centro nazionale dell'INFN dedicato alla ricerca e allo sviluppo nel campo delle discipline informatiche e telematiche e alla gestione dei relativi servizi per le attività di ricerca dell'Istituto. Ospita il centro nazionale di calcolo dell'INFN, completamente rinnovato nella dotazione di impianti tecnologici nel 2007. Il centro, costituito per svolgere la funzione di nodo primario a livello nazionale per gli esperimenti a LHC (Tier1), nell'ambito della collaborazione WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), è divenuto rapidamente un centro di riferimento per la gestione e l'elaborazione dei dati dei principali esperimenti a cui collabora l'INFN.

Il CNAF contribuisce, come centro di riferimento nazionale, sia allo sviluppo software, sia alla realizzazione e alla gestione operativa dell'infrastruttura generale di calcolo scientifico distribuito, basata sulle tecnologie di GRID dispiegate sulla rete geografica. Inoltre gestisce vari servizi nazionali che nel tempo sono stati gradualmente potenziati, contribuendo in tal modo ad accrescere l'efficienza globale e ridurre i costi complessivi. Partecipa a vari progetti di ricerca e sviluppo nel campo del Cloud computing, sia a livello nazionale che internazionale, svolti in collaborazione con aziende ICT e pubbliche amministrazioni.

Il Tier1 Data Center del CNAF è in grado di ospitare le risorse per gli esperimenti a LHC per tutto il loro ciclo di vita facendo fronte con opportuni potenziamenti effettuati di anno in anno alle crescenti richieste, secondo quanto attualmente previsto nei rispettivi piani per il calcolo. La capacità di memorizzazione dei dati nel 2017 verrà incrementata su disco a 27 PB netti e su nastro a 70 PB netti; mentre le risorse di calcolo nel 2017 supereranno i 250 kHS06 includendo la sostituzione parziale dei server in funzione dell'ottimizzazione dei consumi di energia elettrica. Un incremento sostanziale delle risorse installate (20% su base annua) è previsto nel 2018 e negli anni successivi fino al completamento del RUN2 di LHC.

Più in generale il CNAF intende perseguire i seguenti obiettivi strategici, anche in collaborazione con altri soggetti pubblici e privati:

- sviluppo di collaborazioni nazionali e internazionali nell'ambito del calcolo e dello storage distribuito, in particolare realizzate all'interno di progetti strutturali nazionali ed europei (programma quadro Horizon 2020 o utilizzo di fondi infrastrutturali) e regionali (POR FESR

2014-2020 ed FSE) attraverso accordi con istituzioni scientifiche nazionali ed estere, e con soggetti privati;

- ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse e dei relativi consumi energetici, miglioramento dell'efficienza complessiva del data center attraverso l'adozione del paradigma basato sul "Cloud computing and storage". Su questo ultimo punto il CNAF ha una posizione di leadership da diversi anni, dimostrata attraverso il coordinamento e la partecipazione a numerosi progetti di punta nel calcolo distribuito e che intende mantenere e sviluppare
- definizione di una architettura e di una implementazione di riferimento per la conservazione a lungo termine dei dati scientifici e delle relative applicazioni;
- definizione di nuovi framework di calcolo e di software per collaborazioni scientifiche, in particolare per gli esperimenti di fisica a cui partecipa l'INFN, in stretta collaborazione con i reparti di calcolo distribuito e con il centro di calcolo Tier1;
- sviluppo di una rete di conoscenze estesa a tutto l'ente per il miglioramento della qualità del software sviluppato ed utilizzato al suo interno.

Di particolare rilevanza è il progetto europeo INDIGO-DataCloud, sviluppato e coordinato dal CNAF con l'obiettivo di sviluppare una piattaforma open source di Cloud computing utilizzabile per calcolo scientifico multidisciplinare su risorse sia pubbliche che private. A INDIGO-DataCloud, approvato a gennaio 2015 e finanziato per 11 milioni di euro in 30 mesi, partecipano 26 partner europei appartenenti a istituzioni scientifiche, infrastrutture di ricerca, progetti ESFRI ed imprese private. Nel corso del 2016 INDIGO-DataCloud ha rilasciato la prima versione della sua suite di servizi Cloud, aprendo la possibilità ai vari team di ricerca che operano nelle più svariate discipline scientifiche di costruirsi da soli sofisticate e complesse applicazioni da far girare su una CLOUD.

Altri progetti H2020 iniziati nel 2016 e nei primi mesi del 2017 rafforzano la vocazione del CNAF allo sviluppo e all'innovazione:

- Exanest, ha l'obiettivo di costruire un prototipo di un Exascale supercomputer, concentrandosi sull'architettura di storage distribuito e dei link di comunicazione;
- Asterics, propone soluzioni tecnologiche comuni alle facility astronomiche presenti in ESFRI (SKA, CTA, KM3Net e E-ELT);
- HNSciCloud, è un European pre-commercial procurement project con l'obiettivo di realizzare un prototipo di Cloud ibrida (con risorse computazionali fornite anche da provider privati) che risponda alle esigenze delle comunità scientifiche "Data Intensive";
- EOSCPilot, la "European Open Science Cloud for Research Pilot Project", il primo passo verso la "European Open Science Cloud", con lo scopo di sviluppare dimostratori che implementano servizi e integrano infrastrutture cloud di vario tipo da utilizzare in vari domini scientifici.

Attualmente circa 30 collaborazioni scientifiche utilizzano le risorse del Tier1: oltre ai già citati esperimenti a LHC, vi sono altri esperimenti, sempre su acceleratori di particelle, come Belle2, LHCf, CDF, KLOE e NA62; ci sono esperimenti di fisica astro-particellare come AMS, ARGO, Auger, Borexino, CTA, Cuore, Darkside, FERMI/GLAST, Gerda, ICARUS, Juno, KM3Net, LHAASO, MAGIC, Opera, PAMELA, Xenon100, VIRGO e esperimenti di fisica nucleare (AGATA).

Grazie all'infrastruttura ottica di GARR-X il CNAF ha un collegamento a 60 Gbps con il CERN e con i principali siti Tier1 di WLCG.

Inoltre il CNAF dedica notevole attenzione al trasferimento tecnologico sia verso l'industria che la Pubblica Amministrazione come testimoniano i progetti MarcheCloud e Open City Platform (OCP). Nel 2016 in partnership con le sezioni di Bologna e di Ferrara dell'INFN è stato creato il Laboratorio per il Trasferimento Tecnologico (TTLab) in Emilia Romagna, coordinato dal CNAF, con l'obiettivo di favorire il trasferimento delle conoscenze verso il mondo industriale. Per favorire questo processo TTLab è stato accreditato come laboratorio di ricerca industriale presso la Rete ad Alta Tecnologia (HTN) della Regione Emilia Romagna.

Il CNAF, associato con il CINECA, è diventato nel 2016 Infrastruttura di Ricerca Regionale di interesse nazionale ed europeo, come proposto al MIUR da parte della Regione Emilia Romagna.

Il CNAF ha circa 50 unità di personale, 54% delle quali staff con contratto a tempo indeterminato, 29% staff a tempo determinato e 17% in formazione (borse di studio e assegni di ricerca). A questo personale vanno aggiunti gli associati e un numero variabile di laureandi e tirocinanti.

Il budget complessivo gestito dal CNAF si è aggirato nel 2016 intorno ai 7 M€ ripartiti per il 42% in nuovi investimenti (principalmente per LHC), per il 38% in costi di funzionamento, per il 10% in servizi centralizzati a favore di tutto l'ente e gestiti dal CNAF (manutenzioni, investimenti in hardware dei servizi, acquisto licenze software) e infine per il 10% proveniente da progetti finanziati da fondi esterni (H2020, fondi regionali, ecc...).

## **6.6 LABEC**

Il laboratorio LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BEni Culturali) è una struttura della Sezione di Firenze, basata come strumento principale su un acceleratore di particelle (Tandem, da 3 MV di tensione massima di terminale), col quale si effettuano applicazioni interdisciplinari di tecniche della fisica nucleare, di notevole impatto sociale e culturale.

Grazie alla versatilità delle attrezzature e all'originalità delle tecniche, molte delle quali sviluppate proprio al LABEC, si effettuano sia misure di *Accelerator Mass Spectrometry* (AMS) per la misura di isotopi rari, che di *Ion Beam Analysis* (IBA) per sofisticate determinazioni non distruttive di composizione di materiali. Le applicazioni riguardano principalmente i settori dei Beni Culturali (datazioni col metodo del  $^{14}\text{C}$  e analisi composizionale dei materiali usati in opere d'arte) e quello dei problemi ambientali. In quest'ultimo campo si tratta del controllo della qualità dell'aria con la misura tramite IBA della composizione delle polveri fini in atmosfera - il cosiddetto PM -; e con la misura tramite AMS del  $^{14}\text{C}$  nelle frazioni organica e elementare della componente carboniosa dello stesso PM, per discriminare - in ultima analisi - i contributi antropici da quelli naturali. Altre applicazioni riguardano il campo geochimico, biomedico, e la scienza dei materiali in generale. La caratteristica peculiare del LABEC è quella di svolgere un'estesa attività di vera e propria ricerca e sviluppo di nuove metodologie e strumentazioni (finanziata attraverso la Commissione Scientifica Nazionale 5) grazie alla quale si possono mantenere costantemente ai massimi livelli anche le attività "di servizio" a favore di dipartimenti universitari, Sovrintendenze, Enti di tutela del patrimonio culturale, Enti di tutela della salute e dell'ambiente. Si effettuano tuttavia anche misure per attività in conto terzi.

Nel complesso, per le attività di servizio, il LABEC ogni anno produce oltre duecento datazioni  $^{14}\text{C}$  di reperti archeologici o storici; partecipa a campagne di indagini diagnostiche preliminari al restauro di opere d'arte di ogni tipologia; effettua oltre diecimila misure di composizione delle

polveri fini in atmosfera, raccolte con appositi campionamenti in collaborazione con Agenzie di protezione ambientale e altri istituti di ricerca, in Italia e all'estero.

Riguardo alle attività di ricerca e sviluppo, invece, al LABEC si sono realizzati negli anni numerosi canali di fascio e nuovi set-up di misura, taluni con caratteristiche pionieristiche e tuttora uniche nel panorama mondiale: sono correntemente usati fasci estratti in atmosfera (una tecnica introdotta proprio dai ricercatori del LABEC, poi divenuta uno standard a livello internazionale in particolare per le analisi sui Beni Culturali), anche con dimensioni micrometriche e sistemi di scansione, per ricavare non distruttivamente non solo la composizione di un campione ma anche la distribuzione spaziale delle sue componenti; sistemi di fasci a impulsi brevissimi, un centinaio di picosecondi; sistemi di microfasci estratti di intensità controllata fino a poche particelle al secondo, con scansione su bersagli per effettuarne ad esempio una sorta di "radiografia" con particelle. Grazie ad alcune di queste realizzazioni, presso il LABEC si svolge anche una intensa attività di supporto per esperimenti di fisica nucleare basati in altri e più grandi laboratori sia nazionali che all'estero, ad esempio test preliminari di rivelatori e misure di danno da radiazione.

Oltre alle attività portate avanti usando le tecniche che usano l'acceleratore, di recente all'interno del LABEC sono state sviluppate anche strumentazioni portatili altamente competitive per la diagnostica dei Beni Culturali, per poter analizzare anche opere inamovibili, ad esempio le pitture murali. Questi sistemi XRF superano molte limitazioni di quelli commerciali, estendendo la capacità analitica anche agli elementi a numero atomico basso, fino al sodio. Sono stati realizzati spettrometri XRF a scansione che permettono di ricostruire mappe di composizione di superfici estese delle opere (estremamente utili nella diagnostica preventiva al restauro) e coi quali sono state effettuate numerose campagne di misure "sul campo": uno di questi strumenti è tenuto in permanenza all'Opificio delle Pietre Dure di Firenze, per le analisi preliminari ai restauri delle opere (in particolare dipinti) che si effettuano in quella prestigiosa Istituzione.

Inoltre, il LABEC si è fatto promotore della costituzione di una rete INFN per le analisi dei Beni Culturali (CHnet), che nel complesso coinvolge già circa 17 strutture dell'Ente, e che ha fortemente potenziato lo spettro delle capacità analitiche a disposizione, oltre a garantire una capillare diffusione di queste competenze, con notevole vantaggio nelle possibilità di pronta risposta alla domanda degli studiosi e degli Enti di tutela del Patrimonio sul territorio.

I principali sviluppi previsti nei prossimi tre anni riguardano:

1) Per le applicazioni ai Beni Culturali:

- a) a livello generale estendere ancora la collaborazione del LABEC con le altre Strutture dell'Ente nell'ambito della ormai consolidata Rete di Beni Culturali dell'INFN, CHnet, che ha avuto un ruolo trainante nell'ulteriore integrazione con le competenze complementari di altri EPR e Università. Armonizzare tutte le attività di ricerca presenti a livello di eccellenza in Italia, ottimizzare l'impiego delle risorse, migliorare la qualità dei prodotti in termini scientifici, industriali, commerciali, porterà una sempre maggiore competitività dell'Italia nel settore Social Sciences and Humanities, e del patrimonio culturale. Proseguiranno le attività congiunte sotto l'egida del MIBACT e del MIUR: campagne di misura in situ, in risposta a "chiamate" Sovrintendenze, Musei, ecc.; *training camp* per operatori e PhD students italiani e stranieri (nel 2014 e 2015 già tenuti con successo, a Sansepolcro e a L'Aquila), con lezioni, dimostrazioni e esercitazioni pratiche dei partecipanti su una ampia serie di opere. Le attività congiunte con gli altri Enti hanno portato nel 2015 al successo in Europa di E-RIHS (European Research Infrastructure for Heritage Science), a guida italiana, che è

l'unica infrastruttura europea in questo settore. E-RIHS è entrata ufficialmente nel marzo 2016 in roadmap ESFRI, con la prospettiva di creare un ERIC che avrà a Firenze lo hub principale. Le collaborazioni si stanno estendendo anche al di fuori dell'Europa (Stati Uniti, Emirati Arabi Uniti, Argentina) e il LABEC ha già nel 2015 stretto concreti accordi di attività congiunta, con scambio di ricercatori, con la sede di Abu Dhabi della New York University e con l'Università di Buenos Aires. Nel 2017 è inoltre previsto che il LABEC ospiterà corsi universitari per studenti della New York University;

- b) a livello più particolare, saranno sviluppate nuove metodologie per la datazione diretta o indiretta e per l'autenticazione di opere d'arte, di reperti archeologici, ecc.; per la "cifatura" delle opere a garanzia della loro identità, ad esempio nel caso di prestiti, o per il contrasto del mercato illegale delle opere d'arte; saranno realizzate versioni sempre più potenti e *user-friendly* dei citati sistemi di mappatura elementale anche con strumentazione portatile, anche con obiettivi di trasferimento tecnologico; si implementeranno nuove tecnologie per il controllo dell'inquinamento indoor in ambienti museali e tecnologie per la protezione del patrimonio archeologico e artistico dai rischi di danneggiamento antropico e naturale.
- c) LILLIPUT (piccoli campioni AMS) vedere parte al Capitolo 5.2.3 per le attività dei FIXLAB - Linee di sviluppo dei laboratori fissi.

2) Per le attività nel campo ambientale, al LABEC sono stati recentemente sviluppati sistemi di rivelazione a maggiore efficienza per le misure IBA sulle polveri fini, per aumentare la sensibilità (e diminuire i tempi di analisi): ciò permette di effettuare misure di un maggior numero di campioni (aumentando la rappresentatività temporale dello studio e potendo contemplare più siti, rendendo quindi conto della variabilità geografica dell'inquinamento atmosferico) e di effettuare analisi di campioni di massa estremamente ridotta, raccolti in siti remoti (ad esempio, regioni polari) o per tempi molto brevi (scala oraria). Il set-up di misura sviluppato è unico come prestazioni nel panorama internazionale.

Attualmente uno dei maggiori limiti per l'applicabilità delle tecniche è l'assenza, o l'inaffidabilità, di campionatori ottimizzati per misure sensibili alla concentrazione areale (quali le IBA) e non alla massa totale raccolta (come generalmente sono le tecniche chimiche). Per tale motivo, al LABEC negli ultimi anni sono state sviluppate piccole modifiche di campionatori commerciali al fine di concentrare maggiormente i depositi e aumentare quindi la sensibilità analitica. Nei prossimi anni sarà invece sviluppato in-toto un nuovo campionatore, dedicato a campionamenti orari in più classi dimensionali (ad esempio frazione fine, fino a 2.5  $\mu\text{m}$ , e coarse, tra 2.5 e 10  $\mu\text{m}$  di diametro) su substrati ottimali per le IBA, già individuati nell'ambito di test e ricerca negli ultimi anni. Il nuovo campionatore permetterà di estendere il campo di applicazione delle tecniche sia a siti remoti (grazie alla maggior concentrazione) sia a siti fortemente inquinati (ambito in cui la strumentazione commerciale per campionamento orario attualmente disponibile non riesce a lavorare), ponendo il gruppo in una posizione di punta nel panorama internazionale

Sarà proseguito lo sviluppo del set-up di rivelazione per permettere misure "Total IBA" ovvero l'applicazione di più tecniche di IBA simultaneamente per effettuare una caratterizzazione completa della composizione elementare dei campioni di PM raccolti con il nuovo campionatore, comprendente anche la componente organica C-N-O. Ciò permette una ricostruzione completa della massa del campione (mass closure). Parallelamente il sistema di formazione dei segnali e di acquisizione sarà migrato verso un sistema completamente digitale grazie all'esperienza maturata nel campo delle attività sui beni culturali con strumentazione portatile.

Il LABEC, insieme alle sezioni INFN di Milano e Genova, opererà nella Joint research unit (JRU) denominata ACTRIS-Italia (Aerosols, Clouds and Trace gases Research Infrastructure), avente l'obiettivo di creare una rete italiana di rilevanza nazionale e internazionale dedicata all'osservazione e allo studio di atmosfera, inquinamento e cambiamenti climatici.

Il LABEC nei prossimi tre anni sarà inoltre attivo su due progetti in Antartide finanziati dal Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA). Uno dei due progetti è focalizzato sull'Identificazione delle sorgenti di polveri minerali che raggiungono l'Antartide (SIDDARTA) ed è coordinato dal LABEC. Coinvolge unità di più università italiane e sfrutta le potenzialità delle IBA nella caratterizzazione delle polveri cristalline, ambito in cui nessuna altra tecnica analitica ha sensibilità paragonabili. Il secondo progetto a cui il LABEC, insieme ad altri ricercatori della sezione INFN di Firenze e varie università, partecipa ha come obiettivo Misure a Lungo Termine di Proprietà Chimiche e Fisiche dell'Aerosol Atmosferico a Dome C (LTCPAA). Nell'ambito di questo progetto è prevista anche l'installazione di un contatore di muoni a cura della sezione INFN di Firenze.

Per i 3 anni a venire sono già approvati progetti di collaborazione con l'università di Birmingham (UK) e Barcellona (E) per lo studio della qualità dell'aria e l'identificazione delle sorgenti del PM in aree fortemente inquinate, in particolare in Cina e in India. È stata recentemente attivata una collaborazione con l'Università Anatolica (Turchia) per l'analisi di campioni raccolti in Turchia. Sono inoltre in fase di attivazione ulteriori collaborazioni.

- Come precedentemente accennato, oltre alle IBA si utilizzerà la spettrometria di massa con acceleratore per la determinazione delle frazioni antropiche e naturale della componente carboniosa del PM (discriminabile misurando la concentrazione di  $^{14}\text{C}$ ). Per quest'ultima attività saranno ottimizzate le tecniche di preparazione di campioni sui quali misurare la concentrazione di  $^{14}\text{C}$ , nella direzione della diminuzione ulteriore, fino alle decine di microgrammi, delle già piccole masse oggi necessarie per produrre un campione misurabile.

3) Nell'ambito delle tecnologie quantistiche, Il LABEC di Firenze, in collaborazione con il laboratorio di nanoottica dell'Università di Siegen, conduce una attività di impiantazione di centri di colore nel diamante utilizzando il suo acceleratore Tandatron da 3 MV alla linea del deflettore elettrostatico (DEFEL). Rispetto a una facility di impiantazione convenzionale, DEFEL presenta tre vantaggi: 1) l'accesso a un range di energie molto ampio (ad esempio, lavorando con ioni Si con stato di carica +3 si ha un limite superiore di circa 10 MeV e uno inferiore che, utilizzando 2 micron nominali di alluminio, si estende fino a poche decine di keV); 2) la possibilità di operare praticamente con ogni tipo di ione, grazie all'uso della sorgente a sputtering di ioni cesio; 3) la possibilità di operare in regime impulsato, con un numero medio di particelle impiantate da molte migliaia a meno di una particella per bunch.

Il LABEC ha un'esperienza ormai decennale nel supporto di questo tipo di attività, iniziata nel 2007 con i lavori di modulazione dell'indice di rifrazione nel diamante con impiantazioni di protoni. La nostra facility e l'expertise da noi posseduta nel campo delle impiantazioni di interesse per le tecnologie quantistiche hanno quindi attirato l'attenzione di centri che operano in questo campo per la possibilità di impiantare praticamente ogni tipo di ione, singolarmente o in combinazione, praticamente ad ogni profondità da 0 a pochi micron, e in ogni intervallo di fluenze, fino al limite dell'impiantazione deterministica.

4) Sarà proseguita l'attività di formazione (Knowledge and technology transfer) all'uso delle tecniche IBA nelle applicazioni sui beni culturali e in campo ambientale di ricercatori provenienti da

paesi in via di sviluppo (generalmente Africa e Medio Oriente) nell'ambito di una collaborazione con la IAEA (International Atomic Energy Agency).

5) Nell'ambito di un progetto coordinato dalla IAEA, sarà iniziata una attività di applicazione delle tecniche nucleari con acceleratore (IBA e AMS) al campo delle scienze forensi, in particolare al campo di autenticazione delle opere d'arte e analisi di residui in traccia reperiti sulle scene del crimine (residui di polveri da sparo e vetri).

Il bilancio di previsione del LABEC per il 2017 è di circa 315 k€. L'organico consta di 10 dipendenti a tempo indeterminato e da 5 assegnisti.

## **6.7 LABORATORIO ACCELERATORI E SUPERCONDUTTIVITÀ APPLICATA (LASA)**

Il Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata (LASA) è stato fondato nel 1987 presso l'INFN di Milano per la costruzione del Ciclotrone Superconduttore CS K800. La sua missione principale oggi è quella di 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 allo sviluppo di applicazioni multidisciplinari, sia medicali con acceleratori, sia di dosimetria che di produzione di radionuclidi presso il laboratorio di radiochimica. Il LASA è anche attivo nel campo della divulgazione scientifica su temi di radioattività ambientale presso le scuole ed il pubblico.

Di seguito le principali attività del LASA:

- **Sistemi di accelerazione superconduttivi per elettroni**

Il LASA continua ad avere la responsabilità della gestione tecnico scientifica della partecipazione italiana, tutta in kind, al progetto ESFRI "European XFEL". L'attività, si è svolta attraverso la partecipazione responsabile a vari Work Package tra i quali i più significativi riguardano la realizzazione con l'industria nazionale di metà delle 800 cavità superconduttive a 1.3 GHz dell'acceleratore e una buona parte dei 100 criomoduli che le contengono, nonché lo sviluppo e la realizzazione dei sistemi di terza armonica che sono impiegati per la linearizzazione dello spazio delle fasi longitudinale del fascio di elettroni all'uscita dell'iniettore. La produzione di cavità EXFEL a 1.3 GHz presso l'industria italiana si è conclusa con grande successo, con valori medi di campo accelerante ben oltre le specifiche di progetto. Il primo sistema completo di terza armonica (cavità e criomodulo) è stato commissionato ed è operativo a DESY. Un secondo sistema è in fase avanzata di completamento. Il commissioning dell'intero acceleratore è ora in corso, e il personale del LASA partecipa attivamente a DESY a questa fase. Si attende l'inizio dell'operazione dell'intero acceleratore per l'estate del 2017.

- **Cavità superconduttive per protoni**

Nel 2017 continua l'attività di sviluppo delle cavità superconduttive per il progetto della European Spallation Neutron Source ESS, infrastruttura ESFRI, ora diventata un ERIC. Questa attività prevede la costruzione di prototipi a disegno INFN, "plug compatible" con i criomoduli di ESS, delle cavità medio beta, utilizzando sia niobio a grano fine che a largo grano. Il primo prototipo della cavità medio beta ESS, già costruita e trattata presso l'industria italiana, ha dato eccellenti risultati nei test effettuati al LASA. La cavità è stata

successivamente integrata nella tank a elio, ritestata con successo al LASA ed è ora in attesa di essere installata nel criomodulo dimostratore per ESS, MECCTD, presso il CEA di Saclay. Questo modulo accelerante, con quattro cavità medio beta, rappresenta il primo prototipo del modulo accelerante della sezione medio beta di ESS; sarà testato nell'estate del 2017. Validato il design e gli speciali trattamenti chimici e fisici della superficie, si è proceduto con l'attività relativa alle cavità di serie, che costituiscono una parte del contributo "in kind" dell'INFN al progetto ESS. A tal proposito è stato firmato e accettato l'annesso tecnico relativo al contributo INFN delle cavità superconduttive.

All'inizio del 2017 è stata lanciata la gara d'appalto per la fornitura delle lastre di niobio per la produzione di serie delle cavità. Nella primavera del 2017 si sta procedendo con le operazioni di lancio della gara per la produzione delle cavità medio beta. La produzione delle cavità inizierà nel 2017 e proseguirà nel 2018.

Sono inoltre in fase molto avanzata discussioni e incontri per una possibile collaborazione con FERMILAB relativa alla produzione delle cavità medio beta ed eventualmente dei criomoduli per il progetto PIP II. Il governo italiano ha già espresso la sua disponibilità a riguardo.

Un'analoga collaborazione è in fase di avvio con lo IHEP Chinese Academy of Science nell'ambito dello sviluppo di alcuni acceleratori di avanguardia in Cina per fisica fondamentale e applicata.

- **Magneti superconduttori**

Progettazione, costruzione e collaudo di magneti superconduttori. Il laboratorio ha una lunga esperienza nelle applicazioni della superconduttività agli acceleratori (ha seguito la realizzazione dei primi prototipi lunghi di dipolo per LHC, e ha progettato e collaudato il prototipo di dipolo fast-cycled per il SIS-300 di FAIR), e ai rivelatori di particelle (ha avuto un ruolo chiave nella progettazione e costruzione del magnete toroidale del rivelatore ATLAS di LHC). Attualmente ha la responsabilità, nell'ambito di un accordo di collaborazione bilaterale INFN-CERN, della progettazione, costruzione (realizzata nell'ambito del laboratorio) e collaudo dei prototipi di magneti correttori superferrici che equipaggeranno le due regioni di interazione ad alta luminosità di HL-LHC. Questo accordo è in fase di estensione per costruire e collaudare tutta la serie dei magneti correttori (in totale 54 magneti) che verranno installati nell'upgrade di LHC.

Ha partecipato e partecipa a numerosi progetti cofinanziati dalla Comunità Europea in ambito FP6, FP7 e H2020 pertinenti allo sviluppo e alle applicazioni dei magneti superconduttori, fra cui EuCARD e EuCARD2 (sviluppo delle tecnologie del Nb3Sn e HTS), HiLumi (il design study di HL-LHC), S2RS (magnet superconduttori spaziali per lo schermaggio dei raggi cosmici in missioni interplanetarie), EuroCircol (progettazione di un dipolo da 16 T adatto per il Future Circular Collider).

- **Fotocatodi**

Sviluppo e produzione di fotocatodi per sorgenti di fasci di elettroni ad altissima brillantezza necessari per la produzione di radiazione X coerente. I fotocatodi prodotti al LASA rappresentano lo stato dell'arte e sono usati a DESY per il funzionamento dell'XFEL, la facility FLASH, a Fermilab, a DESY-PITZ e a LBNL. I primi fotocatodi per l'"Early Commissioning" dell'iniettore di LCLSII sono già stati forniti. E ora in discussione la fornitura dei fotocatodi per l'operazione della macchina nella sua configurazione finale nonché la fornitura del know how per la produzione dei film e di un intero sistema di deposizione e diagnostica per LCLSII.

- **Acceleratori convenzionali e a plasma per finalità mediche**  
 Studi e sviluppo di linac ad alta frequenza (3 GHz) per accelerazione di protoni.  
 Studi, simulazioni e sviluppo di fasci di protoni generati da fasci laser di alta potenza e di strumentazione innovativa per la loro rivelazione e caratterizzazione. L'attività è svolta nell'ambito di collaborazioni con laboratori CNR di Pisa.  
 Studi di nuovi acceleratori a onde di plasma per esperimenti nella ricerca fondamentale e applicata (partecipazione al progetto EUPRAXIA).
- **Sviluppo di rivelatori a SiC (Carburo di Silicio)**  
 Studio di sistemi di rivelazione che consentano di operare in condizioni di elevato background (quali per esempio quelle che si presentano in ambienti di plasma) e che possano supportare flussi elevati di ioni mantenendo inalterate le proprie prestazioni. L'attività è svolta nell'ambito del progetto SiCilia e sviluppo di linac ad alta frequenza (3 GHz) per accelerazione di protoni.  
 Studi, simulazioni e sviluppo di fasci di protoni generati da fasci laser di alta potenza e di strumentazione innovativa per la loro rivelazione e caratterizzazione. L'attività è svolta nell'ambito di collaborazioni con laboratori CNR di Pisa.
- **Radionuclidi**  
 Ottimizzazione della produzione di radionuclidi ad alta attività specifica prodotti in modalità No Carrier Added mediante acceleratori di particelle per applicazioni mediche di diagnostica, di radioterapia metabolica verso la nuova frontiera della teranostica e per applicazioni ambientali. L'attività viene svolta in collaborazione con il gruppo di ricerca del Centro ARRONAX, Nantes (Francia), utilizzando il ciclotrone IBA70 installato presso tale centro di produzione di radioisotopi. Sono inoltre attivi studi di nanotossicologia / nanosafety in collaborazione con il Laboratorio Energia Nucleare Applicata – LENA - dell'Università degli Studi di Pavia.
- **Attività di divulgazione scientifica sul territorio**  
 Divulgazione scientifica attraverso la presentazione del laboratorio e delle sue attività agli studenti universitari e liceali. In particolare sul tema della radioattività ambientale viene svolta un'attività di divulgazione della cultura scientifica finanziata da un progetto INFN ed inserita nelle attività del PLS finanziate dal MIUR. Tale attività prevede il coinvolgimento degli studenti delle scuole medie superiori nella misurazione del gas radon-222 indoor grazie all'installazione presso le scuole di un laboratorio per la misura della radioattività naturale.

La previsione di bilancio del LASA per il 2017 è di circa 6 M€ ed il personale afferente al laboratorio ammonta a una quarantina di persone tra dipendenti ed associati.

## **6.8 TRENTO INSTITUTE FOR FUNDAMENTAL PHYSICS AND APPLICATIONS (TIFPA)**

Con l'istituzione del TIFPA nel Dicembre 2012, (Trento Institute for Fundamental Physics and Applications) l'INFN intende consolidare le attività di ricerca istituzionali nel settore della fisica fondamentale, che contribuiscono in modo importante alla rilevanza quantitativa e qualitativa della ricerca in Fisica in area trentina, e soprattutto quelle relative alla fisica nucleare applicata. È per

questo motivo che oltre al partner istituzionale Università di Trento (UNI-TN), il TIFPA coinvolge in modo strutturato e regolato da convenzione la Fondazione Bruno Kessler (FBK) e l'Agenzia Provinciale Servizi Sanitari (APSS). Il TIFPA si caratterizza quindi per il suo aspetto di network con altre realtà locali, e la sua propensione verso le applicazioni.

La principale infrastruttura del TIFPA è il centro di protonterapia, ed in particolare la sala sperimentale che contiene due linee di fascio (0 e 30 gradi) ed un laboratorio multifunzionale di appoggio (Fig. 6.8.1). La linea a 0° è dedicata agli studi preclinici di radiobiologia e fisica medica, quella a 30° a fisica spaziale, schermature per missioni in LEO o interplanetarie, ed applicazioni industriali (danno alla microelettronica, Si-wafers ecc.). Lo sviluppo del laboratorio di ricerca TIFPA prevede tre fasi così caratterizzate:

1. Fase I: installazione dei laser, beam monitor, impianti elettrici ed elettronici di base per la caratterizzazione del fascio. Questa è la fase preliminare, indispensabile per gli altri passi, è stata completata nel 2016.
2. Fase II: installazione degli strumenti necessari ai laboratori di fisica e biologia, modifiche nell'impianto di aereazione per poter installare uno stabulario per roditori nel laboratorio di appoggio (Fig.6.8.2). Sulle linee sperimentali verranno installati portacampioni completamente robotizzati per l'esposizione remota di campioni biologici, microchips, schermature ecc. La possibilità di fare sperimentazione animale nel centro clinica è una possibilità unica del TIFPA, che consentirà una ricerca realmente traslazionale. Questa fase è in corso.

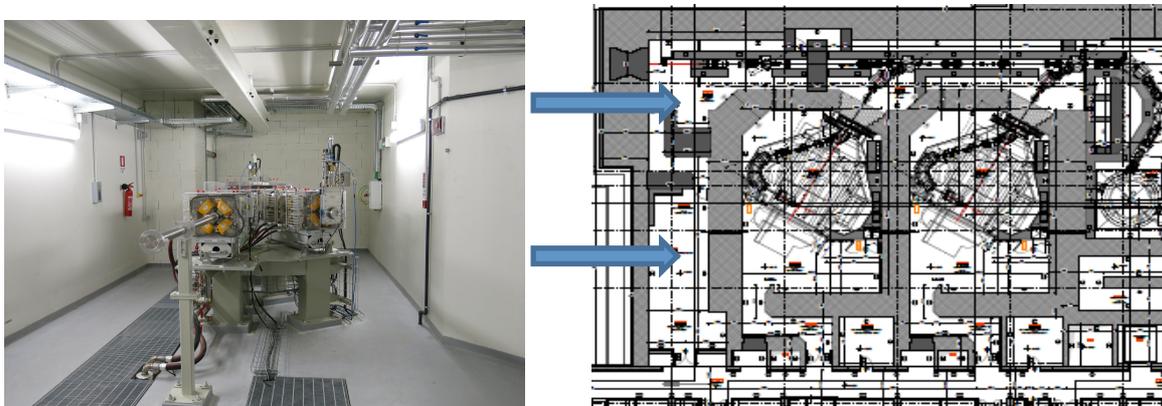
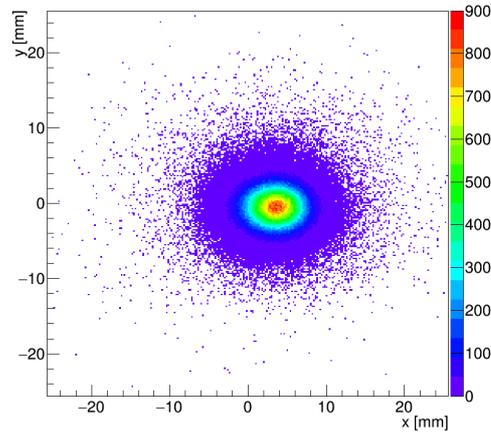


Fig. 6.8.1 Sala sperimentale TIFPA del centro di protonterapia APSS: le frecce indicano la collocazione della sala sperimentale e del laboratorio multifunzionale nel bunker.

3. Fase III: installazione di un bersaglio di litio a monte del magnete di switching per realizzare la prima facility europea in grado di produrre neutroni quasi-monoenergetici ad energia >40 MeV in Europa con la reazione  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ . Il fascio di protoni verrà deviato sulla linea a 30° mentre i neutroni verranno caratterizzati a 0°.

Si tratta di un piano molto ambizioso, che ha portato ad INFN una delle facility più avanzate al mondo per lo studio e la caratterizzazione dei fasci di protoni. La caratterizzazione del fascio è stata completata nel 2016 (Fig. 6.2.2) e il laboratorio è quindi pronto ad implementare esperimenti di diversi tipi. Le applicazioni in medicina, spazio, e industria rendono la facility in grado di attrarre

utenti interessati alla ricerca o all'industria e possono portare ad attrarre numerosi fondi esterni. Si tratta quindi un investimento di sicuro ritorno non solo scientifico ma anche economico. Il centro si presenta come una "user facility" ed è quindi aperto ad esperimenti scientifici ed industriali. Un Program Advisory Committee (PAC) analizza le proposte e assegna il beamtime disponibile. Nel 2016 ci sono stati 7 esperimenti esterni (per i dettagli si veda il rapporto di attività 2016 che può essere scaricato dalla sito [www.tifpa.infn.it](http://www.tifpa.infn.it)), ed alla prima scadenza del 2017 sono già arrivate 12 domande per oltre 60 ore di fascio.



*Fig. 6.8.2. Il fascio di protoni da 220 MeV osservato con un tracciatore al silicio seguita da un calorimetro – apparato utilizzato da Carlo Civinini, INFN Firenze.*

Nel 2017 si può quindi dire che INFN ha un altro acceleratore da offrire alla ricerca e sviluppo, simile a LNL e LNS, ma di energia più alta, e quindi ad esso complementare. Il TIFPA ha ora l'ambizione di migliorare questa facility e di produrre importanti risultati nel campo della fisica nucleare applicata (soprattutto a medicina e spazio) e industriali, attività questa ultima che assicura un ritorno economico.

Il budget è salito da 0.745 M€ nel 2014 a 1.6 M€ nel 2016, e probabilmente supererà i 2 M€ nel 2017. Gli esperimenti finanziati da INFN sono saliti da 18 nel 2014 a 31 nel 2017, inclusa una call di gruppo V INFN sulla fisica medica. Il TIFPA ha 142 associati INFN (fra universitari, FBK e APSS) e 20 persone direttamente afferenti, ma purtroppo solo 2 assunte a tempo indeterminato.

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

L'Istituto, grazie alla sua struttura geograficamente distribuita sul territorio nazionale, alla natura pervasiva della sua esistenza nei Dipartimenti di Fisica delle Università (7.2) 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 (7.1.1, 7.1.2).

In particolare l'Istituto collabora con le Istituzioni nazionali di ricerca allo sviluppo delle Infrastrutture di Ricerca nazionali (IR) nell'ambito del programma ESFRI (7.3) e collabora inoltre con analoghe Istituzioni dei paesi dell'Unione Europea con l'obiettivo di costituire ERIC, Consorzi Europei per grandi infrastrutture di ricerca, a partire dalle IR dell'INFN (7.4).

Le sinergie che storicamente si sono sempre venute a creare in tutti questi ambiti sono volte innanzitutto a complementare i programmi di ricerca dell'Ente per la realizzazione della sua missione fondamentale sullo studio dei costituenti elementari della materia e le loro interazioni. Da queste collaborazioni con altri Enti, Università, istituzioni nazionali, europee e internazionali, emergono poi aspetti della ricerca che permettono di aprire nuovi orizzonti, spesso in modo inter o multi-disciplinare, e a calare i risultati delle applicazioni nel tessuto produttivo della nazione, mettendosi in cooperazione con le realtà industriali e aziendali del Paese (8.4).

Attraverso questi canali, naturalmente, l'INFN apre anche nuovi flussi di finanziamento che, seppure in settori indirizzati, fanno da complemento all'erogazione ordinaria del MIUR e dimostrano la capacità dell'Ente di attrarre risorse esterne (7.5,7.6). 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.

Infatti, proprio in un momento in cui le risorse ordinarie sono in forte contrazione, l'interesse che l'Istituto continuamente riceve da questi soggetti non è certamente dettato da ritorni immediati, ma dal riconoscimento della sua eccellenza scientifica, che costituisce un elemento portante nella partecipazione ai bandi di finanziamento su base competitiva a lungo termine. Il 2014 ha visto la partenza del Programma Quadro HORIZON 2020, che costituisce un cambio di paradigma per la Commissione Europea. Le strategie utili a una partecipazione di successo dei ricercatori INFN a HORIZON 2020 e la nuova organizzazione di supporto dell'Istituto per queste azioni, che coinvolgeranno maggiormente il tessuto produttivo del Paese, sono dettagliati in (7.6).

### 7.1.1 COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI NAZIONALI

L'Istituto da tempo collabora con i principali enti pubblici nazionali di ricerca (CNR, ENEA, ASI, INGV, Sincrotrone Trieste, INAF, CNISM e INRIM, CIRA e CINECA; nel 2016 è stato rinnovato l'Accordo Quadro con la SISSA e attivata la collaborazione con il Consorzio Area di ricerca Scientifica e Tecnologica Trieste. Tutti gli accordi sono regolati da apposite Convenzioni Quadro che hanno la funzione di agevolarne l'attuazione fornendo strumenti operativi dedicati.

Tra queste collaborazioni ricordiamo quelle relative al Progetto "FERMI: attività scientifiche di calibrazione e supporto in orbita strumento LAT", disciplinata da un accordo tra INFN ed ASI,

recentemente oggetto di una proroga triennale; al Progetto ASI, Limadou-Scienza, che prevede il coinvolgimento del Dipartimento di Fisica dell'Università di Tor Vergata, dell'INAF-IAPS e dell'INGV e che ha come obiettivo, nell'ambito del programma spaziale CSES, di identificare e studiare fenomeni precursori di tipo elettromagnetico, di cercare correlazioni spaziotemporali che colleghino la variazione di osservabili fisiche all'avvento di terremoti di grande intensità, nonché di studiare i meccanismi alla base di queste correlazioni; alla costituzione della Joint Research Unit denominata LW-ITA (Life Watch Italia), cui aderiscono tra gli altri il CNR e numerose Università italiane, con lo scopo di promuovere e completare il processo di adesione e rafforzare la partecipazione italiana alla costruzione dell'infrastruttura Life Watch-ERIC, per lo svolgimento di attività di ricerca nel campo delle infrastrutture sulla biodiversità.

In ambito medico l'Istituto ha dato un apporto fondamentale per la realizzazione del sincrotrone CNAO di Pavia per il trattamento di patologie oncologiche con fasci di protoni e ioni carbonio, oramai entrato nella fase di utilizzazione clinica. Presso i LNS, in collaborazione con l'Università di Catania e la locale Azienda Ospedaliera, è attivo il progetto CATANA per il trattamento con fasci di particelle di alcuni tumori oculari. A Pavia invece è attiva una collaborazione con la SOGIN e la locale Università per la ricerca nel campo dei radiofarmaci. Nel settore dell'energia l'INFN collabora con l'Ansaldo Nucleare e la SOGIN per attività relative al decommissioning e al trattamento di rifiuti radioattivi. Nel settore dei Beni Culturali oltre alla collaborazione con il CNR, è attivo il LABEC che, in collaborazione con l'Università di Firenze, costituisce un punto di riferimento nell'applicazione delle tecnologie proprie della fisica delle particelle al settore dell'analisi, conservazione e restauro di Beni Culturali e la collaborazione con la Fondazione Venaria Reale nel campo della ricerca e della diagnostica per la conservazione dei beni culturali. Sempre nel settore dei Beni Culturali è in fase di perfezionamento l'adesione dell'Istituto al Protocollo d'Intesa tra la Confederazione Nazionale dell'Artigianato e della Piccola e Media Impresa, Associazione dell'Area Metropolitana di Roma - Provincia di Roma l'Università, Sapienza di Roma, L'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" e il CNR, finalizzato a sviluppare rapporti di collaborazione fra il sistema della ricerca del Lazio e il sistema delle PMI laziali, nel settore delle tecnologie applicate ai beni e alle attività culturali. Da ricordare inoltre, anche per le ricadute sul territorio, le collaborazioni con la Provincia Autonoma di Trento e con la FBK che ha prodotto la collaborazione MEMS, in tema di microsistemi innovativi su silicio, e con la Regione Marche in tema di ICT applicato alla Pubblica Amministrazione. L'Istituto, infine, fa parte delle collaborazioni RI-BIG e ELIXIR-ITA e MELODI per il coordinamento della partecipazione italiana alla realizzazione delle infrastrutture di ricerca europee nel settore, rispettivamente, della ricerca biomedica, della bioinformatica e della radiobiologia a basse dosi, a dimostrazione ulteriore della trasversalità delle competenze e delle infrastrutture di cui dispone.

L'INFN ha stipulato un Protocollo d'Intesa con l'Agenzia per la Coesione Territoriale, finalizzato al *"rafforzamento dei sistemi innovativi regionali e nazionali e allo sviluppo delle attività collaborative tra sistema della ricerca e sistema dell'industria, in coerenza con gli obiettivi della politica di coesione 2014 – 2020 e di Europa 2020 con riferimento a ricerca, sviluppo tecnologico e innovazione"*.

L'Istituto ha avviato di recente una collaborazione con l'ASI per la realizzazione del Progetto EUSO-SPB, Extreme Universe Space Observatory on a Super Pressure Ballon, che si pone come obiettivi, lo studio di particelle energetiche, la misura del fondo notturno di luce ultra violetta (UV) sull'oceano ed in presenza di nubi, la ricerca di segnali veloci nella banda UV prodotti da altri oggetti quali meteore, transienti ionosferici e fenomeni atmosferici.

Infine è in fase di sottoscrizione un Accordo tra INFN e ENEA, in qualità di rappresentante per l'Italia nel Consorzio Europeo Eurofusion, che dovrà attuare il programma fusione di Horizon 2020.

### 7.1.2 COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI E ORGANISMI INTERNAZIONALI

Come abbiamo già avuto modo di vedere nei capitoli precedenti, l'INFN, per la natura delle ricerche che promuove e coordina, tradizionalmente opera in un vasto contesto di collaborazioni internazionali. Merita certamente il massimo rilievo l'attività condotta dall'Istituto presso il CERN di Ginevra precedentemente descritta (5.1.1 e 5.1.3), ma l'Istituto è presente anche negli altri grandi laboratori internazionali quali, per citarne alcuni: FERMILAB, SLAC, BNL, e TJNAF (Stati Uniti); NRC Kurchatov Institute, PNPI, BINP e JINR (Federazione Russa); CAS e IHEP (Cina); RIKEN e KEK (Giappone); BARC (India), DESY, X-FEL e GSI (Germania); ESRF, IN2P3 e CEA (Francia), PSI (Svizzera), ecc. Allo stesso tempo i quattro laboratori nazionali LNL, LNGS, LNF, LNS mettono a disposizione della comunità internazionale le loro infrastrutture. Inoltre a Cascina, nei pressi di Pisa, è in funzione l'antenna interferometrica VIRGO, nella sua più recente configurazione (Advanced Virgo), che costituisce un rilevante progetto condotto in joint-venture con il CNRS-IN2P3 francese ed il NIKHEF olandese (Consorzio EGO) (6.2).

L'INFN ha sottoscritto circa 90 accordi di cooperazione scientifica con Istituti di ricerca situati in 31 Paesi. Preme sottolineare gli accordi recentemente firmati con Istituzioni scientifiche dell'area medio-orientale e nordafricana quali ICHEP (Israele), SESAME (Giordania), ASRT (Egitto), LEPL (Georgia) nonché con diversi Istituti e Università iraniani (7.3).

Al fine di un sempre maggiore coordinamento delle attività di ricerca scientifica, la Giunta Esecutiva dell'Istituto partecipa annualmente ad incontri bilaterali con i rappresentanti delle principali Istituzioni di ricerca dei seguenti paesi: Cina (IHEP), Francia (CNRS/IN2P3), Regno Unito (STFC), Russia (JINR, Kurchatov), Stati Uniti (DOE, NSF).

L'INFN inoltre è socio e azionista di molti organismi internazionali e partecipa in numerosi comitati di ricerca internazionali nei quali ha propri rappresentanti come:

- ApPEC (Astroparticle Physics European Coordination);
- Consorzio "European Gravitational Observatory" (EGO) di Cascina (Pisa);
- CTAO gGmbH (Cherenkov Telescope Array Observatory) di Heidelberg;
- Science Europe a Bruxelles;
- NuPECC (Nuclear Physics European Collaboration Committee), ICFA (International Committee Future Accelerators) e ECFA (European Committee for Future Accelerators);
- European Association for the Promotion of Science and Technology (EUROSCIENCE) di Strasburgo;
- European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) di Grenoble insieme al CNR;
- European Physical Society (EPS);
- International Center for Theoretical Physics (ICTP) di Trieste;
- European Centre for Theoretical Studies (ECT\*) di Trieste

L'Istituto ha da sempre promosso e favorito ogni iniziativa intesa a intensificare i rapporti scientifici con le istituzioni e i ricercatori stranieri, sia attraverso appositi programmi di ospitalità di stranieri in Italia, sia attraverso lo scambio di ricercatori sulla base di convenzioni e accordi specifici. Lo scambio di ricercatori è finanziato sugli appositi capitoli denominati "Spese soggiorno ospiti

ricercatori” del Bilancio dell’Istituto. Il Direttore può ospitare presso la propria sezione/laboratorio ricercatori ospiti stranieri fino ad un massimo di 12 mesi sulla base di un programma di ricerca definito. Nel 2016 l’INFN ha ospitato circa 400 ricercatori stranieri.

Sono attivi diversi programmi per l’assegnazione di borse per scambio di ricercatori, formalizzati in apposite convenzioni bilaterali con istituzioni straniere e Organizzazioni Internazionali:

- Borse di studio a favore di giovani ricercatori presso il CERN (Senior/Junior Fellowship Programme);
- Borse di studio a favore di giovani ricercatori presso IHEP-CAS (Cina), Post-Doctoral Fellowship Programme;
- Borse di studio a favore di giovani italiani e statunitensi (Summer Exchange Programme INFN/DOE/NSF).

## **7.2 RAPPORTI E CONVENZIONI CON LE UNIVERSITÀ**

L’INFN per scelta costitutiva opera in stretta connessione con le Università, in termini di strutture, personale e processi di formazione. Tale sinergia ha permesso alla ricerca in fisica nucleare e subnucleare del nostro paese di raggiungere e mantenere un alto livello e una dimensione internazionale universalmente riconosciuta. Sono trentuno le Università dove l’INFN ha proprie strutture e altre nove con cui ha accordi quadro attivi. Con ciascuna Università è stipulata una convenzione che regola l’utilizzo di spazi, personale e attrezzature per il perseguimento delle finalità scientifiche di comune interesse.

Complessivamente l’INFN versa annualmente alle Università convenzionate circa 2 milioni di Euro come contributo alle biblioteche e alle spese di gestione delle strutture universitarie. Nel corso del 2016 sono stati erogati circa 3,5 milioni di Euro per 196 borse di dottorato, circa 0,7 milioni di Euro per 43 assegni di ricerca cofinanziati e circa 1,1 milioni di Euro per 14 posizioni di ricercatore a tempo determinato. Si tratta di numeri che danno un’idea solo parziale dell’apporto dell’Istituto al sistema Universitario giacché non indicano né l’apporto per le attività di ricerca al personale Universitario associato all’Istituto (circa 3500 persone) né il fondamentale contributo “in kind” che l’Istituto naturalmente corrisponde al sistema universitario.

L’INFN ha partecipato inoltre ai Progetti di formazione CASAP del PON RECAS, KM3NeT, NAFASSY e PRISMA cofinanziati dal MIUR, un ponte importante tra la ricerca di base e le necessità professionali delle aziende.

## **7.3 LE INFRASTRUTTURE INTERNAZIONALI**

Le Infrastrutture di Ricerca (IR) richiedono ingenti investimenti per la loro costruzione e alti costi di esercizio, che si giustificano con l’unicità delle loro applicazioni e dei risultati attesi. La collaborazione tra più istituzioni di ricerca, e soprattutto quella tra i paesi dell’Unione Europea, è un requisito indispensabile non solo per la condivisione dell’impegno finanziario e la definizione della proprietà delle infrastrutture nelle diverse fasi del progetto, ma anche e soprattutto per la necessità di mettere a sistema competenze altamente specializzate, sia di ricercatori che di imprese innovative non facilmente individuabili all’interno di un solo paese, nella fase iniziale di progettazione e costruzione dell’infrastruttura. Le applicazioni delle IR sono svariate. I fasci di raggi

X e di neutroni da tali sorgenti hanno caratteristiche adatte alla spettroscopia, alla visualizzazione micrometrica o nanometrica, e all'analisi fine strutturale di grande impatto multidisciplinare, dalla fisica dei materiali e dei sistemi complessi (nanostrutturati artificialmente o naturali), alla diagnostica medica, alla biologia strutturale, all'analisi di beni culturali o di reperti paleontologici, alla dinamica fondamentale dei processi fisici e chimici nella materia. La partecipazione italiana alle IR-analitiche 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 attivamente alla costruzione delle IR, attraverso la fornitura di componentistica e strumentazione ad alta tecnologia.

L'INFN collabora con altre Istituzioni nazionali di ricerca allo sviluppo delle Infrastrutture di Ricerca (IR) europee nell'ambito del programma ESFRI. Una prima categoria di IR è basata su acceleratori di elettroni che alimentano sorgenti di raggi X da sincrotrone o da free electron laser (facility ESRF, EuroFEL e XFEL) o sorgenti di impulsi ultrabrevi (attosecondi), ultraintensi (exawatt) di raggi  $\gamma$  da collisione e- $\gamma$  (facility ELI).

Una seconda categoria di IR è basata su acceleratori di ioni (protoni) che alimentano sorgenti di spallazione di neutroni (ESS-European Spallation Source). ESS è stato valutato di interesse strategico da ESFRI, che ne ha raccomandato la rapida implementazione, in quanto permetterà all'Europa di coprire un ruolo rilevante nella ricerca e sviluppo di materiali innovativi favorendo in tal modo lo sviluppo delle industrie manifatturiere, farmaceutiche ed energetiche. L'Italia vi partecipa sotto egida MIUR con l'INFN in qualità di "representing entity" (attraverso i suoi Laboratori Nazionali LNS, e LNL, la Sezione di Torino e di Milano LASA) con il CNR ed Elettra Sincrotrone Trieste. Nel 2015 ESS si è costituito nella forma di Consorzio Europeo, ERIC (European Research Infrastructure Consortium). Il completamento di questo importante traguardo presso la Commissione Europea, consente una gestione più agile ed economica di tutte le fasi di realizzazione dell'infrastruttura.

La fase di costruzione dell'impianto è stata avviata nel 2015 e l'entrata in funzione è prevista per il 2025. INFN sta fornendo contributi specifici a diversi segmenti della parte non superconduttiva dell'acceleratore: Sorgente di Protoni, Linea di Bassa Energia per il matching del fascio all'ingresso del Radio Frequency Quadrupole e Drift Tube Linac e alle cavità superconduttive a medio beta della sezione di alta energia dell'acceleratore. Nel corso del 2017, la costruzione dei primi due componenti dell'acceleratore, PS e LEBT, è stata completata e seguirà a breve la fase di trasporto e installazione a LUND.

Dal punto di vista finanziario, l'investimento totale previsto è di 1,84 miliardi di euro con un contributo italiano del 6% pari a 110.2 milioni di Euro di cui il 19% in cash (20.8 milioni) erogati dal MIUR annualmente sul Fondo Ordinario Enti di ricerca e l'81% in kind (83.2 milioni) attraverso la fornitura di parti della macchina, a cui vanno aggiunti 6.2 milioni di contributo in-kind riconosciuti da ESS-ERIC nella fase di pre-costruzione della macchina.

L'INFN dal 2013 partecipa anche alla realizzazione di SESAME (Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East), che costituirà il più importante centro di ricerca internazionale del Medio Oriente. Sviluppato sotto gli auspici dell'UNESCO e con la collaborazione del CERN, SESAME è volto alla costruzione di una sorgente di luce di sincrotrone di terza generazione in Giordania. SESAME sarà uno strumento dedicato alle scienze sperimentali con applicazioni in vari ambiti: dalle scienze della vita ai beni culturali, alle nanotecnologie e

costituisce un luogo di incontro e di dialogo privilegiato tra rappresentanti di nazioni talvolta distanti sul piano politico. A SESAME, organizzazione intergovernativa indipendente (cui partecipano scienziati di paesi quali Autorità Palestinese, Cipro, Egitto, Giordania, Pakistan, Turchia, Iran e Israele) l'Italia contribuisce attraverso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) ed Elettra.

L'Osservatorio Gravitazionale Europeo, EGO, è stato fondato nel 2000 con lo scopo di completare la costruzione, mantenere, sviluppare e tenere in funzione l'interferometro Virgo per la ricerca delle onde gravitazionali, EGO, registrato come consorzio privato secondo la legge italiana, è una estesa IR collocata nella campagna toscana a circa 15 chilometri da Pisa, descritta in (6.2).

#### **7.4 ERIC: EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE CONSORTIUM**

La creazione di ERIC, Consorzi Europei per la gestione di grandi infrastrutture di ricerca (IR), a partire da IR dell'INFN è vista con grande interesse sia dai nostri Ministeri (MIUR e MAECI) che dall'INFN. Accanto ad indubbie facilitazioni di ordine pratico (esenzione IVA, regole europee per procurements e contratti), riteniamo vi sia un grande valore e potenziale nell'apertura di alcune nostre grandi IR nel quadro del vasto ed interessante Spazio della Ricerca Europea. In particolare, l'Ente, con il forte supporto del MIUR, sta perseguendo questa finalità per due IR.

Il progetto Gran Sasso-ERIC propone una nuova IR nell'ambito delle attività del Laboratorio del Gran Sasso. Le finalità di tale IR si possono così riassumere: i) schermatura di una vasta porzione di una delle tre sale dei LNGS per ottenere un aumento della soppressione del fondo cosmico ("profondità artificiale"); ii) una IR per la crescita di grandi quantità di cristalli ultrapuri per applicazioni in esperimenti di ricerca di materia oscura e del processo di doppio decadimento beta senza emissione di neutrini; iii) IR per lo studio dei materiali in ambiente con fondo estremamente soppresso. All'ERIC potranno partecipare anche gli altri due laboratori sotterranei per la ricerca astroparticellare oggi operanti in Europa, quello di Canfranc in Spagna e quello di Modane in Francia. L'ERIC-Gran Sasso è quindi pensato come una grande IR distribuita che vedrebbe coinvolti, in modo sinergico, tutti i maggiori protagonisti della ricerca europea in ambiente sotterraneo. Oltre a Italia, Francia e Spagna, anche altri paesi, tra cui spiccano Germania ed Olanda, sarebbero interessati a dar vita a questo nuovo ERIC.

La seconda IR da proporre quale ERIC, con sede in Italia, è un osservatorio europeo per lo studio delle onde gravitazionali. Dopo la recente scoperta dei primi segnali di onde gravitazionali, si è aperto, infatti, un nuovo eccitante campo di ricerca, quello della astronomia gravitazionale. Lo European Gravitational Observatory-ERIC (EGO-ERIC) contempla due IR, un interferometro gravitazionale in superficie (Virgo Advanced e la sua evoluzione Virgo Advanced Plus) a Cascina (Pisa) e un interferometro posto invece in ambiente sotterraneo (l'Einstein Telescope (ET), un interferometro gravitazionale in profondità il cui sito è ancora in fase di studio). Oltre all'Italia, Francia, Olanda, Germania, Ungheria e forse UK sarebbero i Paesi partecipanti a EGO-ERIC.

Vi è poi un terzo ERIC, in fase di studio preliminare, che vede tra gli attivi promotori l'INFN: una grande stazione marina ad alta profondità nel Mediterraneo, anche questa una IR distribuita con una IR in Italia, la stazione sottomarina KM3NeT al largo di Capo Passero in Sicilia. KM3NeT-ERIC avrà sede in Olanda e vedrà tra i suoi membri fondatori l'Italia, la Francia e la Grecia.

Infine l'INFN gioca un ruolo importante in un ERIC già esistente ed operante dal 2015, l'European Spallation Source ERIC, un'IR multi-disciplinare in Svezia che fa uso della più potente sorgente di neutroni al mondo. L'Italia è tra i soci fondatori dell'ESS ERIC; oggi sono membri dell'ERIC ben 12

paesi europei (a breve diventeranno 15).

## **7.5 I PROGETTI PON, POR E I PROGETTI LOCALI**

L'Istituto è stato un attento "attore" della programmazione 2007-2013 dei Fondi strutturali e dei finanziamenti nazionali correlati e, attraverso i finanziamenti resi disponibili, ha contribuito alla crescita della competitività di molti territori del Paese. L'impegno dell'Istituto nella politica di coesione è sempre maggiore sia nel ruolo attivo di condivisione di informazioni ed azioni con Autorità nazionali e regionali nello studio delle strategie e delle politiche per la nuova programmazione sia nella costruzione di una fitta rete di relazione tra gli attori della ricerca e dell'innovazione soprattutto attraverso l'ausilio di figure specialistiche presenti in alcune sedi INFN.

La diffusione capillare delle strutture INFN nel nostro Paese rappresenta un punto di forza del sistema socio-economico attraverso cui accrescere il potenziale di ricerca e innovazione presente nei vari territori, nel rispetto della peculiarità di ciascuno di essi e dunque delle strategie espresse nelle loro Smart Specialisation Strategy (S3).

L'azione dell'Istituto è naturalmente orientata alla strategia individuata nelle S3 nazionale e regionale. L'Istituto è impegnato in Cluster tecnologici nazionali sia con altri Enti pubblici di ricerca sia con le imprese nazionali, e, attraverso le sedi operanti nelle regioni transfrontaliere, collabora inoltre alla realizzazione di progetti nell'ambito della Cooperazione Territoriale Europea

La capacità delle economie regionali di fare ricerca, innovare e trasformare richiede ora un maggiore impegno per la costruzione di un sistema dell'innovazione che investa fortemente in ricerca, sviluppo e imprenditorialità, come sottolineato dalla strategia Europa 2020. L'approccio innovativo che l'Unione Europea ha adottato per il finanziamento della Ricerca e dell'Innovazione nel settennio 2014-2020, prevede il coordinamento di diversi strumenti e, in primis, il coordinamento tra le iniziative del Programma H2020 e quelle dei Fondi Strutturali e di Investimento europei; con la sottoscrizione dell'Accordo di Partenariato, a fine 2014, è stato posto l'accento su interventi che perseguono obiettivi strategici per il Paese. Il sistema a matrice per il finanziamento e la gestione delle attività di ricerca e innovazione e le nuove sfide della Politica di Coesione, necessitano del coinvolgimento di molteplici professionalità guidate da una strategia di gestione coerente allo svolgimento delle attività di ricerca e di trasferimento tecnologico. L'Istituto, oltre alla già ricordata presenza capillare su tutto il territorio nazionale, può contare su una consolidata rete di relazioni con il mondo scientifico e produttivo, nazionale ed internazionale, ciò facilita e sollecita il dialogo con i referenti politici e istituzionali per una crescita armonica e sostenibile dei territori. Ne sono conferma i risultati scientifici che lo hanno visto protagonista anche in tempi molto recenti.

Va infine ricordato che in particolare sui PON Smart Cities e su alcuni POR regionali finanziati in ambito FSE e FESR l'Istituto ha ottenuto risultati di grande rilievo sia per progetti in appoggio ad una migliore gestione delle amministrazioni locali sia per la connessione con le imprese, anche attraverso numerose azioni di formazione direttamente connesse alle necessità del mondo produttivo.

L'INFN è in grado di offrire progettualità di consistenza e qualità elevata in risposta alle varie linee di finanziamento della politica di coesione; l'ampiezza delle risorse suggerisce di proporre soluzioni ad hoc volte a sostenere il miglioramento della competitività dei diversi territori. La progettualità presente nell'Istituto fornisce uno specifico valore aggiunto in quanto non si colloca come semplice

intervento a livello locale ma si posiziona in una logica di sistema. E in questa visione strategica l'Istituto può avere un ruolo chiave per incrementare la capacità di progettazione europea degli attori dei vari territori per nuove opportunità di sviluppo.

Rilevante sarà l'impegno nei prossimi 3 anni su due grandi progetti di ricerca e trasferimento tecnologico da realizzare nelle regioni Abruzzo e Sardegna con finanziamenti pubblici e privati (8.4.1 e 8.4.2).

Nell'ambito del Bando PNRA 2016 n. 651 a maggio scorso il MIUR ha approvato il Progetto PNRA16\_00252-A2 "SIDDARTA: Source IDentification of (mineral) Dust to AntaRcTicA" per il quale l'Istituto svolge il ruolo di Capofila. Il progetto, finanziato nella linea A2 – Stazione Concordia, è attivato per la XXXIII spedizione in Antartide.

Con riferimento all'Avviso MIUR 1735/2017 per progetti di ricerca e sviluppo nelle 12 aree di specializzazione individuate dal Programma Nazionale della Ricerca PNR 2015-2020 e finanziato con risorse disponibili a valere sui fondi del PON "Ricerca e Innovazione" 2014-2020 e FSC, l'Istituto ha presentato domanda come Soggetto Capofila del Progetto MAD - La metamorfosi Additiva del Design nell'area di specializzazione *Design, Creatività e Made in Italy* e in partenariato pubblico privato in 8 Progetti afferenti alle seguenti aree di specializzazione: *Aerospazio, Blue Growth, Energia, Salute, Smart Secure and Inclusive Communities*.

I Progetti che saranno ammessi alle agevolazioni previste dall'Avviso 1735/2017 dovranno essere conclusi in un arco temporale di 30 mesi.

## **7.6 IL PROGRAMMA QUADRO PER LA RICERCA E L'INNOVAZIONE: HORIZON 2020**

Horizon 2020 (H2020), il Programma Quadro (PQ) per la ricerca e l'innovazione dell'Unione Europea, è ormai entrato nel vivo della programmazione: nel 2017 si chiude infatti il secondo biennio di attuazione.

Il Programma si pone l'obiettivo di contribuire a una società e un'economia basata sulla conoscenza e sull'innovazione mediante la mobilitazione di finanziamenti supplementari per la ricerca e lo sviluppo. La ricerca rappresenta un investimento per il futuro e l'Unione europea ne ha fatto il cuore della Strategia Europa 2020. In tale contesto H2020, unendo l'innovazione alla ricerca, si propone di creare una generazione di ricercatori europei competitivi a livello mondiale, di rimuovere gli ostacoli all'innovazione e di facilitare la partecipazione sia del settore pubblico che di quello privato ai processi innovativi.

H2020 stabilisce tre obiettivi strategici: aumentare e diffondere il livello di eccellenza della ricerca europea, massimizzare la competitività e l'impatto nel sistema produttivo e affrontare le grandi sfide della società. H2020 è strutturato intorno a tre pilastri, *Excellent Science, Industrial Leadership e Societal Challenges*, che si collegano direttamente a questi obiettivi.

I pilastri di H2020 hanno priorità e finalità in linea con gli obiettivi prefissi ed il bagaglio di conoscenze proprie dell'INFN, sia dal punto di vista delle strategie sia per quanto riguarda azioni specifiche.

Gli sforzi e gli interessi dei ricercatori INFN si concentrano principalmente nel primo pilastro, *Excellent Science*, che, con la presenza di azioni principalmente *bottom-up*, lasciano spazio a progetti scientifici di frontiera in linea con la missione e bagaglio di conoscenze dell'Istituto.

Tuttavia, anche gli altri due pilastri, *Industrial Leadership* e *Societal Challenges*, meritano una menzione, in quanto la storia dell'INFN è costellata di storie di successo legate alla cooperazione industriale (per esempio nella costruzione dei rivelatori di LHC o delle infrastrutture di calcolo) o alle ricadute nella società civile (ad esempio nel settore delle scienze biomediche).

Nel 7° Programma Quadro, conclusosi nel 2013, l'Istituto si è distinto entrando a far parte per la prima volta delle dieci istituzioni più finanziate in Italia, con un finanziamento complessivo di circa 49 milioni di Euro e 85 progetti all'attivo, in tutte le aree: Cooperation, Ideas, People e Capacity, oltre al programma complementare Euratom. I risultati ottenuti nell'arco del VII PQ dimostrano che l'INFN è in grado di affrontare con successo la competizione a livello internazionale, specialmente per progetti di tipo infrastrutturale, corrispondente al Programma *Capacities*. L'identificazione delle grandi infrastrutture dell'Istituto come strutture internazionali, rende infatti l'INFN un ottimo candidato per progetti relativi alle infrastrutture di ricerca e alle *e-infrastructure*, sfruttando per queste ultime soprattutto l'esperienza sviluppata nelle tecnologie di GRID.

Poiché per approccio, procedure e criteri di valutazione, H2020 è unico e diverso dai precedenti Programmi Quadro, non esiste una garanzia di continuità basata soltanto sulle precedenti storie di successo, ma, come mostrato nella Tabella 7.1, l'INFN ha comunque confermato la propria competitività nella partecipazione a bandi internazionali, con 56 progetti vinti fino ad ora, per un finanziamento di circa 33M di Euro.

Una prima considerazione che emerge analizzando il database completo delle proposte è che l'intensità della partecipazione è certamente aumentata rispetto a FP7 (e questo sembra vero anche in tutta Europa). Questo, anche se nel lungo termine si tradurrà forse in *success rate* inferiori, dimostra la permeabilità dell'ambiente di ricerca INFN al messaggio sull'importanza di questi bandi europei e della loro valenza, non solo in termini economici, ma anche in termini di immagine.

Nel Programma dedicato alle infrastrutture di ricerca (IR) ed e-infrastrutture, l'Istituto ha mantenuto le ottime performance del precedente PQ, con un tasso di successo del 45%. I 17 progetti vinti spaziano dallo sviluppo di nuove infrastrutture di ricerca (EuroCirCol, EuPRAXIA, ASTERICS, BrightnESS), alla Preparatory Phase per IR nella Roadmap ESFRI (KM3Net 2.0), al supporto per le infrastrutture tecnologiche e il grado di innovazione delle infrastrutture di ricerca (AMICI) o supporto alle politiche di integrazione e di collaborazione internazionale (OPEN, SESAME).

Lo strumento delle Integrated Activities (INFRAIA), che mira a favorire l'accessibilità e la massima integrazione tra le infrastrutture di ricerca di interesse europeo, è uno di quelli in cui l'INFN ha presentato con successo molti progetti nei campi che gli sono propri, quali fisica nucleare (ENSAR2), rivelatori per futuri acceleratori (AIDA 2020), astrofisica delle alte energie (AHEAD), acceleratori (ARIES) e laser a elettroni liberi (CALIPSOplus), ma anche in campi più applicativi come l'osservazione e lo studio di atmosfera, inquinamento e cambiamenti climatici (EUROCHAMP-2020).

Di grande rilievo sono stati, poi, i progetti di *e-infrastructure*, con INDIGO-DataCloud, coordinato dall'INFN, che mira allo sviluppo di una piattaforma open source di Cloud computing utilizzabile per calcolo scientifico su risorse sia pubbliche sia private, ed EGI-Engage, che coordina a livello europeo le infrastrutture Grid nazionali, supportando e facilitando la loro evoluzione verso la Cloud e promuovendo una visione "Open Science Commons" che faciliti l'interoperabilità tra e-infrastrutture diverse, DEEP-HybridDataCloud che ha come obiettivo lo sviluppo e l'implementazione di tecnologie cloud che consentano un accesso facile e trasparente a risorse

eterogenee in ambito cloud e HPC, XDC, coordinato dall'INFN, che ha l'obiettivo di implementare un set di servizi per federare risorse di storage, in modo da poter supportare scalabilità dell'ordine delle centinaia di PB, per casi d'uso molto diversi fra loro, e EOSC-hub, che ha come obiettivo la prima implementazione concreta di una infrastruttura aperta di cloud computing per la scienza..

Relativamente allo *European Research Council* (ERC), tenuto conto del basso tasso di successo generale ed anche della ristrettezza del campo di ricerca che può essere affrontato dai ricercatori INFN, i risultati sono molto buoni con 2 Starting Grants, 4 Consolidator Grant (di cui 3 come partner addizionale), uno dei quali con PI rientrante in Italia dall'estero, ed un Advanced Grant vinti. Tra le criticità riscontrate rimangono, per i proponenti di Starting Grant, la scarsa mobilità e la difficoltà nel dimostrare la propria indipendenza nei curricula. Queste criticità potrebbero essere interpretate come frutto della struttura del sistema accademico italiano, così come un ostacolo derivante dalle caratteristiche di "big science" di molte attività INFN.

In ambito MSCA (Marie Skłodowska Curie Actions), nel nuovo strumento RISE (scambio di personale per ricerca e innovazione) l'INFN ha vinto 4 progetti come coordinatore e 2 come partner, con un eccezionale livello di successo medio superiore al 50% rispetto alle proposte presentate. Questo riflette chiaramente l'innato carattere internazionale delle attività dell'INFN e la sua capacità di contribuire a grandi collaborazioni di tutto il mondo. Un elemento prezioso (perché raro) è poi la vittoria di 3 Individual Fellowship MSCA "in ingresso" per giovani ricercatori che rientrano dall'estero. Nel campo degli Innovative Training Network si registra l'esito positivo di due progetti. Come nota a margine il numero di proposte sottomesse per questo strumento in Europa è aumentato del 50% rispetto a FP7, abbassando notevolmente il tasso di successo. Nello strumento COFUND, l'INFN ha vinto un progetto come monobeneficiario, FELLINI, cofinanziato dalla Commissione Europea per circa 3.1M di Euro, per l'implementazione di un Programma di *Fellowship* Innovativo. Il programma, che inizierà nel 2018, offrirà un totale di 30 *Fellowships* di durata triennale.

È importante anche rilevare che, per le azioni MSCA, l'Istituto ha migliorato molto le sue performance, riuscendo a superare già, dopo i primi 3.5 anni di H2020, i risultati ottenuti durante tutto FP7, sia in termini di numero di progetti finanziati, che in termini di finanziamenti ottenuti.

Per quanto riguarda lo strumento delle Future and Emerging Technologies (FET), l'INFN partecipa alle iniziative Flagship GRAPHENE e Human Brain Project, entrambi risultati di grande prestigio per l'Istituto. Per la tipologia FET PROACTIVE HPC, l'Ente ha vinto due progetti, che confermano il proprio ruolo competitivo nel campo delle architetture di calcolo ad alte prestazioni.

Particolarmente competitive sono le calls di tipo FET Open, per le quali il tasso di successo medio europeo è sceso fino all'1,5%. Questo tipo di azione richiede collaborazioni interdisciplinari, in cui i gruppi di ricerca possano integrare conoscenza e approcci, andando oltre i confini delle singole discipline. In questa tipologia di azione, l'INFN ha vinto un progetto, TEQ, legato alle tecnologie quantistiche. In generale, tipologie di azioni come FET Open possono essere uno strumento per dare impatto alle competenze tecnologiche dell'Ente verso il tessuto produttivo. Questo dovrebbe essere un viatico per incrementare la partecipazione ai bandi degli altri pilastri di H2020.

Dai dati nella Tabella 7.1 si possono estrarre alcune altre considerazioni. Nella tipologia delle Coordination e Support Action l'Istituto prosegue la storia di successo di Genis\_Lab in FP7 vincendo un altro progetto dedicato all'uguaglianza di genere (GENERA). Nel pilastro Industrial Leadership, l'Istituto ha vinto un progetto nell'ambito ICT, HNSciCloud, che ha lo scopo di creare un mercato competitivo di servizi Cloud innovativi, orientati al campo scientifico ed altri domini.

Emerge chiaramente che sono necessari dei miglioramenti per diventare più competitivi in progetti

con ricadute industriali e di impatto sociale, poichè l'INFN ne ha le potenzialità. La ricerca dell'Istituto è, infatti, contraddistinta anche da aspetti e presupposti che favoriscono il processo di trasferimento di conoscenza e tecnologia verso il mondo produttivo, poiché per perseguire i propri fini scientifici i ricercatori sviluppano strumenti e metodi innovativi ed originali capaci di attrarre l'interesse delle aziende. I settori più interessati a ricadute nel mondo industriale e produttivo sono quelli delle tecnologie informatiche (ICT), dell'elettronica, della sensoristica, della meccanica, dell'analisi e qualifica dei materiali. Inoltre le competenze ed il know-how acquisiti nell'ambito della missione INFN portano un importante valore aggiunto, ovvero la ricaduta di questi strumenti verso settori applicativi, quali salute, nano-scienza, beni culturali, energia, ambiente, spazio, sicurezza, cibo, trovano spazio nelle *Societal Challenges*.

A tal fine, l'Unità Operativa, Servizio Coordinamento Fondi Esterni, che dai primi anni della programmazione Horizon 2020 si occupa di coordinare e supportare i ricercatori nella partecipazione ai bandi e nella gestione dei progetti attivi, ha avviato un dialogo con i ricercatori per creare una maggiore consapevolezza nella comunità circa le potenzialità nascoste della attività di ricerca fondamentale e per definire strategie di intervento condivise, che consentano di incrementare l'accesso a finanziamenti esterni per sostenere la ricerca *mission-driven*. Alla base del dialogo vi sono le numerose competenze e tecnologie sviluppate per le attività di ricerca dell'Istituto, con una attenzione a settori quali la Fisica Medica, i Beni Culturali, l'Energia, applicazioni del Calcolo, ad alta potenzialità di impatto in termini sia socio-economici, che di sviluppo di conoscenza. Il processo avviato consentirà di tracciare un piano strategico non solo per il breve e medio periodo, ma anche per il lungo periodo, consentendo all'Istituto un avvicinamento ponderato al IX Programma Quadro.

Va ricordato infine che esiste una naturale correlazione tra le azioni a livello regionale, nazionale e internazionale, poiché tutte sono focalizzate all'irrobustimento di una parte essenziale e portante del futuro della scienza in Europa, la creazione di una vera European Research Area (ERA). La partecipazione dell'Ente a opportuni tavoli di lavoro, è fondamentale per raggiungere un piano di implementazione che sia coerente con le diverse interazioni verticali e orizzontali tra gli strumenti che H2020 mette a disposizione. In questo contesto l'INFN è anche membro di Science Europe (<http://www.scienceeurope.org/>) e nel 2016 il Presidente dell'Ente è stato eletto dalla Assemblea Generale nel Governing Board dell'Organizzazione.

Per ottimizzare ulteriormente le relazioni con la Commissione Europea e con gli altri portatori di interesse pubblici e privati che gravitano intorno ad essa, l'INFN si è anche dotato di un Ufficio di rappresentanza a Bruxelles. Tabella 7.1: Progetti vinti dall'INFN in H2020, aggiornata a Novembre 2017.

**La tabella include anche i progetti ammessi a finanziamento, non ancora iniziati. Il finanziamento complessivo è circa 33M di Euro.**

Acronym	Title	Call identifier	INFN Budget (KEuro)	Partners	Role
SHARPER	SHARing Researchers' Passion for Excellence and Results	MSCA-NIGHT-2014	56	5	Partner
JENNIFER	Japan and Europe Network for Neutrino and Intensity Frontier Experimental Research	MSCA-RISE-2014	774	14	Coord
BESIICGEM	An innovative Cylindrical Gas Electron Multiplier Inner Tracker for the BESIII Spectrometer	MSCA-RISE-2014	657	3	Coord

3DSPIN	3-Dimensional Maps of the Spinning Nucleon	ERC-2014-CoG	315	2	Partner
ASTERICS	Astronomy ESFRI and Research Infrastructure Cluster	INFRADEV-1-2014-1	251	22	Partner
INDIGO-DataCloud	INtegrating Distributed data Infrastructures for Global ExpLOitation	EINFRA-2014-2	2.080	26	Coord
EGI-Engage	Engaging the EGI Community towards an Open Science Commons	EINFRA-2014-2	721	41	Partner
AIDA-2020	Advanced European Infrastructures for Detectors at Accelerators	INFRAIA-2014-2015	1.221	38	Partner
AHEAD	Integrated Activities for the High Energy Astrophysics Domain	INFRAIA-2014-2015	65	26	Partner
EuroCirCol	European Circular Energy-Frontier Collider Study	INFRADEV-1-2014-1	422	16	Partner
NITEC	NITEC: a Negative Ion Time Expansion Chamber for directional Dark Matter search	MSCA-IF-2014	168	1	Coord
GENERA	Gender Equality Network in the European Research Area	GERI-2014-1	240	13	Partner
UFSD	Ultra-Fast Silicon Detectors: Enabling Discoveries	ERC-2014-ADG	1.793	1	Coord
ExaNeSt	European Exascale System Interconnect and Storage	FETHPC-2014	769	12	Partner
AMVA4NewPhysics	Advanced Multi-Variate Analysis for New Physics Searches at the LHC	MSCA-ITN-2015	258.	8	Coord
West-Life	World-wide E-infrastructure for structural biology	EINFRA-2015-1	344	10	Partner
MUSE	Muon campus in US and Europe contribution	MSCA-RISE-2015	1.102	7	Coord
BrightnESS	Building a research infrastructure and synergies for highest scientific impact on ESS	INFRADEV-1-2015-1	363	18	Partner
NPTEV-TQP2020	Uncovering New Phenomena at the TeV Scale With Top Quarks	ERC-2014-CoG	228.	3	Partner
iMPACT	innovative Medical Protons Achromatic Calorimeter and Tracker	ERC-2014-CoG	1.035	2	Partner
EuPRAXIA	Proposal for a H2020 Design Study on the European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications	INFRADEV-1-2014-1	197	16	Partner
HNSciCloud	Helix Nebula – The Science Cloud	ICT-2015	27	11	Partner
InvisiblesPlus	InvisiblesPlus	MSCA-RISE-2015	162	12	Partner
ELUSIVES	The Elusives Enterprise: Asymmetries of the Invisible Universe	MSCA-ITN-2015	602	12	Partner
ENSAR2	European Nuclear Science and Application Research 2	INFRAIA-2014-2015	1.285	30	Partner
ENUBET	Enhanced NeUtrino BEams from kaon Tagging	ERC-2015-CoG	2.000	1	Coord
GrapheneCore1	Graphene-based disruptive technologies	Flagship Graphene Adhoc-2014-20	68	155	Partner
WaveScales	Human Brain Project Specific GA	Flagship HBP Adhoc-2014-20	704	114	Partner
Gm2m	The anomalous magnetic moment of the muon as a benchmark for New Physics Searches	MSCA-IF-2015	180	1	Coord
Pearl		MSCA-RISE-2015	41	8	Partner
Society	in Search Of Certainty - Interactive Event To inspire Young people	MSCA-NIGHT-2016	5	18	Partner
Sharper	SHARing Researchers' Passion for Engagement and Responsibility	MSCA-NIGHT-2016	67	7	Partner

EUROCHAMP_2020	Integration of European Simulation Chambers for Investigating Atmospheric Processes – Towards 2020 and beyond	INFRAIA-2016-2017	144	14	Partner
ARIES	Accelerator Research and Innovation for European Science and Society	INFRAIA-2016-2017	295	42	Partner
OPEN SESAME	Opening Synchrotron Light for Experimental Science and Applications in the Middle East	INFRASUPP-01-2016	86	11	Partner
AMICI	Accelerator and Magnet Infrastructure for Cooperation and Innovation	INFRAINNOV-02-2016	348	10	Partner
NURE	Nuclear Reactions for Neutrinoless Double Beta Decay	ERC-2016-StG	1.272	1	Coord
BinGraSp	Modeling the Gravitational Spectrum of Neutron Star Binaries	ERC-2016-StG	1.498	1	Coord
EOSCPilot	The European Open Science Cloud for Research Pilot Project	INFRADEV-04-2016	254	33	Partner
KM3NeT 2.0	Astroparticle and Oscillations Research with Cosmics in the Abyss (ARCA and ORCA)	INFRADEV-02-2016	705	6	Partner
EuroEXA	Co-designed Innovation and System for Resilient Exascale Computing in Europe: From Applications to Silicon	FETHPC-01-2016	727	16	Partner
CALIPSOPlus	Convenient Access to Light Sources Open to Innovation, Science and to the World	INFRAIA-01-2016-2017	107	19	Partner
Hippie_at_LHC	High Precision PDFs for the precision Era at the Large Hadron Collider	MSCA-IF-2016	180	1	Coord
NEWS	NEw WindowS on the universe and technological advancements from trilateral EU-US-Japan collaboration	MSCA-RISE-2016	437	21	Coord
EASITrain	European Advanced Superconductivity Innovation and Training	MSCA-ITN-2017	258	13	Partner
INSIGHTS	International Training Network for Statistics in High Energy Physics and Society	MSCA-ITN-2017	516	11	Partner
FELLINI	FELLowship for Innovation at INFN	MSCA-COFUND-2016	3186	1	Coord
TEQ	Testing the Large-Scale Limit of Quantum Mechanics	FETOPEN-01-2016-2017	384	9	Partner
DEEP-HybridDataCloud	Designing and Enabling E-infrastructures for intensive Processing in a Hybrid DataCloud	EINFRA-21-2017	375	10	Partner
XDC	eXtreme DataCloud	EINFRA-21-2017	583	8	Coord
EOSC-hub	Integrating and managing services for the European Open Science Cloud	EINFRA-21-2017	1827	74	Partner
Wavescales	Human Brain Project Specific GA 2	HSGA-FETFLAG-HBP-2017	611	118	Partner
INSPIRE	INfraStructure in Proton International REsearch	INFRAIA-02-2017	308	17	Partner
XLS	CompactLight	INFRADEV-01-2017	213	24	Partner
ESSnuSB	Feasibility Study for employing the uniquely powerful ESS linear accelerator to generate an intense neutrino beam for leptonic CP violation discovery and measurement	INFRADEV-01-2017	19	15	Partner

## 8. LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE DELL'INFN

Numerose sono le attività che INFN svolge nell'ambito della cosiddetta Terza Missione. Le principali riguardano l'alta formazione, la diffusione della cultura scientifica e le attività di trasferimento tecnologico (TT). Queste attività sono intrinsecamente presenti nell'attività dell'INFN e negli ultimi anni sono state rafforzate dall'attenzione rivolta alle ricadute della scienza sulla società.

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, nei settori in cui possono trovare applicazione le tecnologie sviluppate dall'INFN.

Le attività di Terza Missione sono monitorate da una struttura (Gruppo di Lavoro sulla Valutazione -GLV) che stila un rapporto annuale inviato al management dell'Ente ed al Comitato di Valutazione Internazionale. Per effettuare il monitoraggio delle attività di trasferimento tecnologico (brevetti, contratti di collaborazione, spin-off etc.) il GLV si avvale dell'aiuto del Comitato Nazionale di Trasferimento Tecnologico e dell'Ufficio Trasferimento Tecnologico. Le attività di *Public Engagement* sono monitorate, in collaborazione con l'Ufficio Comunicazione, grazie ad un database che raccoglie, sin dal 2005, le attività effettuate nelle singole Strutture INFN.

A partire dal 2017, consapevole della sua importanza strategica, l'Ente si è anche dotato di un Comitato di Coordinamento della Terza Missione (CC3M) con il compito specifico di armonizzare e coordinare le attività in quest'ambito (dal Trasferimento Tecnologico, alla formazione continua fino alle attività più specificamente di *outreach*). Gli obiettivi iniziali di questo comitato sono da un lato di consolidare attività esistenti che coinvolgono più strutture dall'altro di migliorare la formazione del personale dell'Ente e di evidenziare le buone prassi. Inoltre, si intende introdurre, in maniera strutturale, elementi di valutazione interna ed esterna delle attività di TM.

Ricordiamo qui che la valutazione della Terza Missione della VQR 2011-2014 ha da una parte evidenziato le performance eccellenti dell'Ente a livello centrale, ma anche indicato le Masterclass di fisica come una *buona prassi* di *Public Engagement* ed ha sottolineato la dinamicità degli spin-off dell'INFN. Dinamicità confermata dalla recente acquisizione di uno di questi (PixiRad) da una multinazionale olandese (Panalitycs). Per meglio procedere in questa direzione l'ente si è dotato di un nuovo e più moderno disciplinare per la gestione degli spin-off che consenta di meglio valorizzare le competenze e le potenzialità innovative dell'ente. Il rapporto finale indica anche il miglioramento dell'utilizzo delle risorse presenti sul territorio come un passo opportuno e possibile

Anche se non specificamente parte della Terza Missione, è importante ricordare che l'INFN ricopre, nell'ambito dell'alta formazione, vari ruoli. Storicamente, i forti legami con le Università, sia attraverso il personale associato, che i suoi stessi ricercatori, permettono all'Istituto di svolgere uno dei suoi ruoli più importanti: formare la nuova generazione di scienziati nel suo settore disciplinare. L'INFN ha quindi un ruolo importante sia nei programmi di Laurea Magistrale (Laurea Master di II livello), che nel dottorato (PhD) in Fisica. Questa attività è particolarmente significativa per il ruolo decisivo, nel trasferimento del know how, giocato dalla formazione di giovani scienziati. Il GLV ha studiato la prima destinazione di dottorandi e laureandi formati in ambito INFN e trovato che l' 11% del neolaureati e l' 8% dei neodottorati, trova la prima occupazione nell'industria. Su un altro piano l'INFN partecipa alla formazione degli studenti

delle scuole superiori attraverso stage, borse di studio ed iniziative scientifiche dedicate. L'Ente ha, più in generale, un forte impegno volto alla diffusione della cultura scientifica nella società italiana (vedi 8.2). Molte di queste attività hanno effettivamente un ruolo di apprendimento permanente. Infine vi è un aspetto della formazione volto a migliorare e aggiornare le competenze e le conoscenze del personale (ricercatori e tecnologici e amministrativi) nel contesto di un progetto di formazione permanente.

## **8.1 ATTIVITÀ DI ALTA FORMAZIONE**

L'INFN ricopre da sempre un ruolo importante nell'Alta Formazione (AF). Storicamente, i forti legami con le Università, attraverso sia il personale associato che i suoi stessi ricercatori, permettono all'Istituto di svolgere uno dei suoi ruoli più importanti: formare la nuova generazione di scienziati nel suo settore disciplinare. L'INFN ha quindi un ruolo importante sia nei programmi di Laurea Magistrale (Laurea Master di II livello), che nel dottorato (PhD) in Fisica. Un gran numero di ricercatori e tecnologi (circa 200) partecipano direttamente alle attività formative nell'Università con il regolare affidamento di corsi ed un numero molto maggiore svolge attività di tutoraggio a vari livelli. Un indicatore immediato è fornito dal fatto che più del 30% del totale degli studenti italiani in fisica fa ricerca in progetti finanziati in parte o completamente dall'INFN. Questa attività è particolarmente significativa per il ruolo decisivo, nel trasferimento del know-how, giocato dalla formazione di giovani scienziati. Il GLV ha studiato la prima destinazione di dottorandi e laureandi formati in ambito INFN e trovato che l'11% dei neolaureati e l'8% dei neodottorati trova la prima occupazione nell'industria.

L'Ente eroga delle borse di studio per l'alta formazione. Le borse di dottorato, di durata triennale, sono assegnate (58 nel 2016, in aumento rispetto agli anni precedenti) alle singole Scuole di Dottorato senza restrizione sul tema, secondo la filosofia dell'INFN di promuovere l'eccellenza. Inoltre a partire dal 2014 l'INFN ha stipulato convenzioni con oltre dieci università italiane per l'attivazione di dottorati in convenzione. Un esempio significativo è il corso di dottorato in Fisica degli Acceleratori attivato in convenzione con l'Università di Roma La Sapienza, unica controparte nel panorama nazionale di analoghe realtà in Europa. Per quanto riguarda la situazione post-dottorato, circa centocinquanta nuovi assegni di ricerca sono banditi annualmente, in aggiunta alle 35 borse di studio post-doctoral riservate ai giovani ricercatori stranieri. Sottolineiamo inoltre la significativa presenza di giovani ricercatori stranieri tra i post-doc che lavorano nell'INFN: questi rappresentano infatti il 20 % degli assegnisti e il 65 % dei borsisti. Oltre alle borse di studio, l'INFN sostiene direttamente la ricerca di dottorandi, laureandi e post-doc associandoli alle proprie attività (in media 590 dottorandi e 500 post-doc ogni anno).

Una menzione speciale merita l'evoluzione della scuola di dottorato internazionale Gran Sasso Science Institute (GSSI), fondata nel 2012 a L'Aquila come Centro di Formazione Avanzata dell'INFN e convertita dal MIUR nel marzo 2016 in Istituto di istruzione universitaria di alta formazione dottorale a ordinamento speciale. Anche nella nuova configurazione istituzionale, il legame del GSSI con l'INFN resta fortissimo: un rappresentante dell'INFN siede nel Consiglio di Amministrazione e vi sono forti sinergie con i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, di cui è stato costituito un Gruppo Collegato presso il GSSI. Il GSSI ha ormai prodotto i primi suoi dottori di ricerca, e le domande per accedere ai 41 posti disponibili annualmente per i suoi quattro indirizzi (fisica astroparticellare, matematica applicata, informatica, studi urbani), provenienti da tutto il mondo, sono in costante aumento e sono state oltre 1300 nel 2016. Ricordiamo infine che il GSSI

è l'unico Istituto Superiore presente nel Centro-Sud.

Altre attività di alta formazione in cui l'impegno dell'INFN è forte ed in crescita sono quelle che hanno luogo al Galileo Galilei Institute (GGI) di Firenze, fondato dall'INFN e finanziato congiuntamente da INFN e dall'Università di Firenze (UniFi). Negli ultimi anni il GGI ha affiancato i tradizionali programmi scientifici su argomenti di punta della ricerca in fisica teorica con quattro scuole internazionali per la formazione avanzata a livello di dottorato di ricerca, i cui corsi hanno la durata di due o tre settimane. Queste scuole hanno raggiunto uno status internazionale, testimoniato da un'alta partecipazione di studenti stranieri e dal riconoscimento di crediti ai partecipanti da parte di varie Scuole di Dottorato delle Università italiane. L'INFN sta prendendo attualmente in considerazione la possibilità di trasformare il GGI in un proprio Centro Nazionale di Alta Formazione, sempre in partenariato con UniFi, allargando lo spettro delle attività formative e prevedendo la possibilità di soggiorni fino a tre mesi che possano consentire a dottorandi italiani e stranieri di partecipare non solo alle Scuole ma anche a specifici programmi di ricerca.

L'INFN organizza annualmente vari Master (tipicamente 4 o 5), da solo o in consorzio con l'Università.

Oltre a vari seminari e scuole di aggiornamento nel campo della fisica nucleare e subnucleare (annualmente circa 700 partecipanti tra italiani e stranieri), negli ultimi anni l'INFN ha organizzato corsi di formazione diretti a specialisti di settori dove trovano applicazione tecniche di fisica avanzata. Tra questi segnaliamo un corso di dosimetria per fisici medici e radiologi organizzato dai Laboratori Nazionali del Sud ed un "Training Camp" per i beni culturali che nel 2015 si è svolto a L'Aquila presso il Palazzetto dei Nobili. L'INFN si pone come obiettivo l'incremento dell'attività di formazione in questo settore.

## **8.2 ALTRE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE**

Un altro aspetto delle attività di formazione dell'INFN riguarda il miglioramento e l'aggiornamento delle competenze e delle conoscenze del personale ricercatore e tecnologo nel contesto di un progetto di formazione permanente.

Su un altro piano l'INFN partecipa alla formazione degli studenti delle scuole superiori attraverso stage, borse di studio ed iniziative scientifiche dedicate. L'Ente ha, più in generale, un forte impegno volto alla diffusione della cultura scientifica nella società italiana (vedi 8.3). Molte di queste attività hanno effettivamente un ruolo di apprendimento permanente.

Da molti anni l'INFN organizza corsi di aggiornamento per docenti delle scuole secondarie, con l'obiettivo di divulgare i più recenti sviluppi della fisica delle interazioni fondamentali. Tra questi gli "Incontri di Fisica" di Frascati (nel 2016 alla sedicesima edizione) raccolgono circa 200 docenti provenienti da tutta Italia. Sempre nell'ambito della Formazione Continua, vanno segnalate le iniziative rivolte, in collaborazione con gli Enti Locali, all'aggiornamento di lavoratori grazie sia ai laboratori di alte tecnologie esistenti nelle Sezioni e nei laboratori nazionali, che alle competenze di Cloud Computing presenti nell'INFN.

L'INFN compie da sempre un grande sforzo di divulgazione delle proprie attività e scoperte diretto al pubblico, anche esplorando metodologie innovative. Vogliamo qui ricordare il progetto Radiolab che insegna agli studenti a compiere misure di radioattività ambientale, in particolare misure di

concentrazione di Radon. A fine 2016 erano coinvolte 7 sezioni INFN, per un totale di circa 25 scuole. Grazie alle modalità scelte, queste misurazioni, e la pubblicità dei loro risultati hanno un impatto notevole. Per il 2016 è stato stimato in circa 15000 persone tra studenti, famiglie e comunità coinvolte. Contiamo di estendere questa attività ad altre quattro sezioni, già in contatto con scuole secondarie, nel corso del 2017.

Di recente, rispondendo a un bisogno di reagire al fenomeno dell'abbandono scolastico, sono partite alcune iniziative di tirocinio presso i laboratori delle strutture INFN, che coinvolgono sia il personale ricercatore e tecnologo che il personale tecnico e amministrativo. Nei prossimi anni, all'interno di una logica di *best practice* ed in collaborazione con il MIUR e gli Enti locali, contiamo di estendere queste esperienze.

### **8.3 LE ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE E DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA**

L'INFN è dotato di un Ufficio Comunicazione che svolge attività di ufficio stampa, comunicazione istituzionale, public engagement e diffusione della cultura scientifica. L'Ufficio Comunicazione dell'INFN coordina, progetta e realizza a livello nazionale, e supporta a livello locale, le attività di comunicazione dell'Ente e delle sue Strutture.

Consapevole dell'importanza della comunicazione, da due anni l'INFN ha attivato 3 moduli annuali di corsi di formazione alla comunicazione rivolti al personale, che hanno lo scopo di fornire gli strumenti di base, soprattutto ai ricercatori, per gestire i rapporti con i media, e le attività per le scuole e il grande pubblico. L'INFN collabora, con un contributo rilevante alla progettazione, all'organizzazione e allo svolgimento, alla Scuola Internazionale di Giornalismo Scientifico di Erice, rivolta a giovani giornalisti e comunicatori, provenienti per la maggior parte da tutta Europa, ma anche da altre parti del mondo.

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 circa 5.000 citazioni all'anno sulle testate italiane, cartacee, web, TV e radio. In occasione di notizie scientifiche rilevanti, l'attività di ufficio stampa si rivolge anche verso i principali media internazionale.

Per la comunicazione istituzionale l'INFN si è dotato di un sito web (bilingue italiano e inglese) che aggiorna regolarmente e sta investendo sulla comunicazione con i social media (Facebook, Twitter e Instagram). Produce materiale di promozione e presentazione dell'Istituto e delle proprie attività, brochure, poster, infografiche, video (questi ultimi fruibili attraverso il canale YouTube dell'Ufficio Comunicazione). In particolare, cura la produzione di una newsletter mensile, bilingue in italiano e in inglese, che viene inviata a tutto il personale INFN e a destinatari esterni, appartenenti al mondo della politica, dell'industria, dei media e delle istituzioni di ricerca italiane ed estere, per un totale di 7.000 lettori raggiunti. L'Ufficio Comunicazione dell'INFN rappresenta l'Italia in alcuni network internazionali di comunicazione istituzionale e outreach, collaborando alla comunicazione e divulgazione dei temi e delle attività di ricerca di interesse comune, a livello europeo e globale.

Nel corso degli anni, l'INFN ha notevolmente aumentato il proprio impegno per la diffusione della cultura scientifica, decidendo di lavorare su molteplici fronti e di investire nell'ideazione, progettazione e realizzazione di iniziative, spesso innovative, diversificate per tipologia, mezzo di comunicazione e destinatari, con l'obiettivo di raggiungere pubblici diversi e sempre più ampi.

L'INFN conduce così progetti, a livello sia nazionale sia locale, che riescono a raggiungere migliaia di persone di pubblico all'anno.

Con l'obiettivo di raggiungere pubblici nuovi, raccontando di scienza in modo coinvolgente e suggestivo, l'INFN progetta e cura conferenze-spettacolo per il grande pubblico, realizzate in collaborazione con protagonisti del mondo culturale, che portano sulla scena scienziati, musicisti, scrittori, attori, artisti, e vedono la partecipazione di un ampio pubblico. I progetti più recenti sono *Einstein aveva ragione*, una "instant conference" portata in scena due giorni dopo l'annuncio della scoperta delle onde gravitazionali, che ha esaurito i 700 posti in sala in poco più di un giorno, e *Racconto Cosmico*, che ha riempito una sala da oltre 1.100 posti. L'INFN, inoltre, partecipa a festival e manifestazioni pubbliche, nazionali e internazionali, sia di carattere scientifico sia inerenti ad altri ambiti culturali, come il Festival della Filosofia di Modena, Carpi e Sassuolo, o i Festival della Scienza di Genova e Roma.

Stesso scopo hanno le mostre, realizzate anche in questo caso in collaborazione con professionisti del mondo dell'arte e della cultura. Come la mostra *Balle di Scienza*, allestita nella sua prima edizione a Pisa, nella sede di Palazzo Blu (che tipicamente ospita mostre d'arte) e poi a Catania, e che complessivamente ha avuto oltre 55.000 visitatori. Inoltre, nel 2016, al Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci" di Milano (che conta mediamente 500.000 visitatori all'anno), l'INFN ha inaugurato, in collaborazione con il CERN, il primo spazio espositivo permanente dedicato alla fisica delle particelle in Italia: *EXTREME Alla ricerca delle particelle*. Alcune video-installazioni interattive realizzate per le grandi esposizioni offrono, inoltre, il vantaggio di poter essere agevolmente allestite in modo autonomo, diventando quindi installazioni itineranti: tant'è che alcune sono state di attrazione nel contesto di varie manifestazioni culturali, non solo in Italia e in Europa ma anche in Asia e Sud America. Da poche settimane si è aperta, a Pisa, la mostra *Uomo Virtuale*, interamente dedicata alle interazioni tra fisica e medicina.

Grazie alla sua struttura diffusa sul territorio nazionale, l'Ente aderisce alle grandi e tradizionali iniziative internazionali di disseminazione al grande pubblico, come la Notte Europea dei Ricercatori e la Settimana della Cultura Scientifica.

## Mostre 2011 / 2016

### Ufficio Comunicazione INFN

2011 	2012 	2013 	2014 	2015 	2016 
<b>115mila</b> visitatori	<b>105mila</b> visitatori	<b>70.000</b> visitatori	<b>91.000</b> visitatori	<b>150mila</b> <small>oltre</small> visitatori	...
<b>Estremo – Le macchine della conoscenza</b> Bologna e Perugia <b>15.000</b> visitatori	<b>Storie dell'altro mondo</b> Pisa, Palazzo Blu <b>25.000</b> visitatori	<b>L'energia del vuoto</b> Bologna, Palazzo Re Enzo <b>25.000</b> visitatori	<b>Balle di Scienza,</b> Pisa, Palazzo Blu <b>41.000</b> visitatori	<b>Oltre il limite</b> Trento, MUSE <b>100.000</b> visitatori	<b>Extreme, Alla scoperta delle particelle (esposizione permanente)</b> Milano, Museo della Scienza e della Tecnica
<b>L'Universo a portata di mano</b> Spoleto, Palazzo Collicola <b>10.000</b> visitatori	<b>Il dono della massa</b> Genova, Modena <b>80.000</b> visitatori	<b>Bruno Pontecorvo a cento anni della nascita</b> Pisa, La Limonaia <b>5.000</b> visitatori	<b>Meet LHC, 60 anni di Italia al CERN</b> Genova, Festival della Scienza <b>50.000</b> visitatori	<b>Meet LHC, 60 anni di Italia al CERN</b> Roma, Campobasso, Napoli, Padova, Ferrara, Bologna	<b>Balle di Scienza,</b> Catania, Città della Scienza <b>15.000</b> visitatori
<b>L'essenziale è invisibile agli occhi</b> Genova, Festival della Scienza <b>80.000</b> visitatori		<b>Il dono della massa</b> Riga, Ginevra, San Paolo <b>40.000</b> visitatori	<b>L'Italia del futuro</b> Bruxelles, Madrid, Podgorica, Stoccolma	<b>Il dono della massa</b> Napoli, Pechino, Singapore, Bogotà <b>50.000</b> visitatori	<b>Il dono della massa</b> Atene, Stord <b>15.000</b> visitatori

L'INFN pubblica una rivista monografica semestrale, dedicata ai grandi argomenti della fisica, *Asimmetrie* (tiratura cartacea di 16.000 copie, anche disponibile su web e app), rivolta agli insegnanti delle scuole secondarie di secondo grado e ai loro studenti, al fine di offrire uno strumento di approfondimento da utilizzare in classe per introdurre i temi della ricerca di frontiera.

Sul fronte della didattica per le scuole secondarie superiori, l'INFN cura vari progetti tra i quali segnaliamo le Masterclass internazionali in fisica delle particelle, l'International Cosmic Day e il Radiolab. Inoltre, sin dal 2005 una redazione composta integralmente da ricercatori cura il sito di divulgazione della fisica *ScienzaPerTutti* ([www.scienzapertutti.infn.it](http://www.scienzapertutti.infn.it)) al quale gli studenti possono rivolgersi sia per consultare i contenuti didattici, sia per interpellare gli esperti, così da preparare in modo più approfondito le loro attività scolastiche. *ScienzaPerTutti* organizza anche un concorso mensile ed uno annuale. Alcuni numeri: 2500 visite al giorno, con un ritorno superiore al 20%, 600 iscritti (volontariamente) alla newsletter, 3000 *follower* su FB, ed infine alcune centinaia (350 nel 2017) partecipanti al concorso annuale.

L'INFN organizza regolarmente anche attività di orientamento e alternanza scuola-lavoro, e stage residenziali per studenti italiani e stranieri, seminari per la scuola, dalla primaria fino agli ultimi anni delle superiori, e i corsi di aggiornamento per i docenti.

Inoltre durante giornate "porte aperte", l'INFN accoglie nelle proprie Strutture il grande pubblico, accompagnandolo nella loro visita e facilitando l'avvicinamento anche ai temi più complessi con laboratori, seminari divulgativi e iniziative che vedono come guide gli stessi ricercatori, impegnati in prima linea e con passione in tutte le attività di Terza Missione dell'Istituto.

#### **8.4 L'INFN PER L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LA COMPETITIVITÀ INDUSTRIALE**

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

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

Per raggiungere questo scopo l'INFN si è dotato di una organizzazione ad hoc che copre aspetti di carattere amministrativo-giuridico e di carattere scientifico-tecnologico, il tutto coordinato da un comitato d'indirizzo.

Il Comitato Nazionale di Trasferimento Tecnologico (CNTT) è l'organo preposto al coordinamento di queste attività. Il collegamento con gli organi direttivi centrali è assicurato da un componente della Giunta Esecutiva che assiste costantemente alle riunioni.

Il Comitato è supportato operativamente dall'Ufficio di Trasferimento Tecnologico (UTT) che cura aspetti amministrativi e di sostegno operativo ai ricercatori. L'UTT è stato potenziato con risorse umane qualificate che coprono i diversi profili di competenza (giuridico/brevettuale, economico,

tecnologico) propri di un settore con forti caratteristiche d'interdisciplinarietà. Attualmente sono sette le unità di personale che si occupano del supporto.

L'attività di trasferimento tecnologico 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. In particolare queste attività hanno beneficiato anche della creazione di reti di competenza interne, che hanno realizzato percorsi sinergici, e hanno permesso trasferimento tecnologico e di conoscenze all'interno della rete stessa.

Questi percorsi sono volti principalmente a rafforzare la conoscenza e la diffusione di alcune tecnologie tipiche dell'INFN nelle sue Strutture (e quindi su gran parte del territorio nazionale) in modo da utilizzare tutti i possibili contributi e rispondere in maniera più ampia alla richiesta esterna di trasferimento.

La formulazione di specifici regolamenti approvati dal Consiglio Direttivo dell'Istituto ha dato un importante contributo allo sviluppo delle attività di trasferimento tecnologico stabilendo un set di regole sulle modalità di valorizzazione della ricerca. In particolare si è definito un nuovo schema di incentivi agli inventori, oltre al già citato regolamento per gli spin-off, alle Strutture che li ospitano, al budget della CNTT, al salario accessorio dei dipendenti. I regolamenti stabiliscono inoltre la possibilità di conferire deleghe alle singole Strutture INFN per gestire localmente alcune tipologie di trasferimento tecnologico, in modo da accelerare i tempi delle procedure e favorire così il processo di trasferimento tecnologico dell'Ente. I risultati del trasferimento tecnologico possono essere monitorati con continuità tramite il sistema contabile e resi disponibili ad un sistema di analisi di impatto socio-economico.

Il sito web è stato sviluppato con l'obiettivo di farne un portale interattivo dove gli stakeholders dell'INFN (ricercatori, imprese, altre istituzioni interessate) possono accedere ai servizi di trasferimento tecnologico messi a disposizione dall'Istituto: ad esempio il sito è strumento di dialogo con i ricercatori (modulistica, assistenza brevetti e spin off) e con le imprese (ricerca di tecnologie, ricerca di collaborazioni, ricerca di servizi o strumentazione di alta tecnologia); inoltre è stato realizzato un database delle infrastrutture e della strumentazione che ogni Laboratorio/Sezione possiede per facilitare la richiesta di servizi di conto terzi da parte delle imprese.

Non meno importante è stata l'organizzazione di incontri periodici per la formazione dei referenti locali, che si occupano della sensibilizzazione della rete scientifica e forniscono i primi feedback al ricercatore. Conseguentemente a ciò si è registrato un forte incremento delle iniziative di ricerca collaborativa e in conto terzi condotte con l'impresa, di protezione e valorizzazione della proprietà intellettuale (maggiore sensibilità del ricercatore verso la realizzazione di brevetti) e delle attività a supporto della creazione di spin-off.

In particolare sono attive, dopo tre anni dal loro riconoscimento, tre imprese da spin-off INFN. Ad esse contribuiscono circa dieci dipendenti o ex-dipendenti, che applicano con successo le nuove tecnologie sviluppate per la ricerca di base in un ambito industriale molto competitivo. Con l'introduzione del nuovo regolamento l'ente si è prefisso di favorire ulteriormente la possibile propensione imprenditoriale dei propri dipendenti nell'ottica di rendere sempre più fruibile la conoscenza e le tecnologie sviluppate all'interno delle attività di ricerca

L'INFN promuove anche 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, nei settori in cui possono trovare applicazione le tecnologie sviluppate dall'INFN.

Nei rapporti con le imprese e il territorio le attività di trasferimento tecnologico dell'Ente si articolano al momento sui seguenti pilastri:

- a. **Ricerca e valorizzazione** della proprietà intellettuale presente all'interno delle attività delle Strutture INFN e negli esperimenti finanziati dalle cinque Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), attraverso brevetti, licenze, accordi di ricerca collaborativa tra istituzioni pubbliche, enti locali e imprese.
- b. Messa a sistema in **Cluster Tecnologici** delle competenze in un determinato settore, collegando tutte le Strutture INFN che posseggono conoscenze e tecnologie sull'argomento, rendendo possibile la collaborazione con i Cluster Tecnologici nazionali. Ne sono esempi CHnet (rete per i Beni Culturali) e RADnet (rete delle facility d'irraggiamento).
- c. Strutturazione delle collaborazioni con le imprese partner in progetti di R&D da lungo tempo in **Accordi Quadro** nei quali si prevede la protezione della IP (background and foreground), la possibilità di partecipare insieme a *call* esterne.
- d. Costituzione in Italia di **Business Incubator Center (BIC)** che utilizzano tecnologie sviluppate al CERN con condizioni di particolare favore. Un accordo di collaborazione CERN-INFN regola il supporto del CERN a questi incubatori che formano una rete coordinata dall'INFN.
- e. Costituzione di un unico **Industrial Liaison Office (ILO)** che si occupa di pubblicizzare presso le aziende italiane le commesse delle grandi infrastrutture europee di ricerca alle quali l'INFN collabora (CERN, ESFR, ESS) Se ne ricava un consolidamento delle negoziazioni per un "giusto ritorno" e un'unica interfaccia verso l'industria nazionale.
- f. Studio dell'**impatto economico** della R&S dell'INFN e del suo trasferimento tecnologico tramite un'analisi macro-economica delle forniture e commesse INFN, classificandole in funzione della tipologia di collaborazione con il fornitore (azienda) e individuando le correlazioni con il territorio. Questa analisi permette il monitoraggio continuo dell'impatto economico e sociale e quindi la possibilità di apportare delle correzioni.
- g. Ricerca di **metodi di comunicazione** per spiegare/valorizzare il trasferimento tecnologico e spiegare il suo impatto economico e sociale al grande pubblico e alle Istituzioni. Tema centrale che dovrebbe accompagnare ogni iniziativa di rilievo nella collaborazione Ricerca-Impresa-Territorio.
- h. Finanziamento di progetti di trasferimento tecnologico finalizzati al completamento della fase di R&D di specifiche tecnologie. Con il "Bando Valorizzazione 2018" l'ente si avvia a finanziare, con l'inizio del prossimo anno, quattro progetti di TT con il chiaro intento di portare le tecnologie in essi contenute ad elevati valori di TRL (indicativamente superiori a 7). Ciò per favorire l'interazione diretta con aziende interessate a tali sviluppi e far sì che questi possano rapidamente approdare al mercato.

Un aspetto interessante del trasferimento tecnologico, fa riferimento all'attività di trasferimento di

conoscenza e di tecnologia nell'assegnazione di forniture o commesse. Un progetto pilota iniziato nel 2015 e tutt'ora in corso, ha infatti messo in luce, che le aziende legate all'INFN da un semplice rapporto di fornitura high-tech beneficiano del trasferimento di conoscenze derivante da questa collaborazione, producendo una serie di impatti positivi (per esempio come miglioramento dell'immagine, sviluppo di nuovi prodotti, acquisizione di nuovi clienti ed ingresso in nuovi mercati). Tradizionalmente questo tipo di rapporti è avvenuto senza formalizzazione del riconoscimento della proprietà intellettuale dell'INFN. Solo recentemente la consapevolezza che dall'assegnazione di forniture o commesse derivano alcuni benefici per le aziende, ha portato all'elaborazione di meccanismi che rendano conto di questo trasferimento di know-how. Si tratta, ad esempio di formalizzare queste attività attraverso, per esempio, CRADA (Cooperative Research And Development Agreement), NDA (Non Disclosure Agreement).

Come già citato nel Capitolo 7, l'INFN è attualmente impegnato su due grandi progetti di ricerca e trasferimento tecnologico da realizzare nelle regioni Abruzzo e Sardegna, rispettivamente DarkSide-20k@Abruzzo e Aria. I due progetti prevedono un impegno triennale per mettere a punto dei dimostratori necessari a rendere l'esperimento DarkSide-20k competitivo a livello internazionale e una fase successiva di sviluppo industriale in collaborazione con aziende altamente competitive.

#### 8.4.1 Progetto Aria

Il progetto Aria consiste nella costruzione di un apparato per la separazione di grandi quantità di isotopi stabili (non radioattivi) di argon ed ossigeno. L'apparato consiste di una torre di distillazione criogenica dell'altezza di 350 metri, da collocarsi nel pozzo di Seruci della miniera della Carbosulcis S.p.A..

Il progetto di ricerca di base prevede la produzione di 300 tonnellate di  $^{40}\text{Ar}$ . L'isotopo  $^{40}\text{Ar}$  sarà utilizzato presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'INFN per due esperimenti di ricerca della materia oscura, DarkSide-20k (partenza stimata 2020) e Argo (partenza stimata 2025).

La colonna di distillazione potrà anche essere sfruttata per lo studio di produzione degli isotopi  $^{18}\text{O}$ ,  $^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}$ , che hanno un mercato in forte crescita. Tali isotopi trovano applicazione predominante nel campo della diagnostica medica tramite Positron Emission Tomography (PET). L'isotopo  $^{13}\text{C}$  è utilizzato per la produzione di centinaia di molecole organiche sfruttate nel campo della metabolica e dello studio dei tumori e delle malattie neurodegenerative.

L'investimento capitale nel progetto Aria permetterà di verificare la possibilità di utilizzo della tecnologia introdotta per la partenza di un ciclo industriale di produzione di isotopi stabili arricchiti. Ad oggi, non esistono apparati di produzione di isotopi stabili nella comunità europea.

#### 8.4.2 Progetto DarkSide-20k@Abruzzo

Il progetto DarkSide-20k permetterà ai LNGS di ottenere la posizione guida nel programma di scoperta della materia oscura. L'implementazione del progetto scientifico DarkSide-20k richiede la costruzione di una nuova Infrastruttura Industriale di Ricerca per l'assemblaggio di fotosensori al silicio, parte integrante dei LNGS che, a completamento del progetto, potrà costituire un nucleo per

nuove realtà produttive (Start-Up).

L'infrastruttura doterà il progetto della capacità di packaging dei rivelatori di luce per DarkSide-20k e si avvarrà della guida di aziende specializzate nel campo dei semiconduttori. Insieme agli altri servizi di alta tecnologia del LNGS (meccanica avanzata, elettronica criogenica, laboratorio di bassa attività, laboratorio di chimica) costituirà un hub tecnologico avanzato dove imprese e centri di ricerca possono trovare tecnologie e strumentazione all'avanguardia. Il packaging è un terreno di frontiera per lo sviluppo della convergenza tra micro-elettronica e altri ambiti scientifico tecnologici quali per esempio la fotonica o la sensoristica in senso ampio.

Le tecnologie che saranno sviluppate e disponibili in questo hub tecnologico si applicano ad una grande varietà di ambiti di impatto sociale quali LIDAR, PET, HomeLand Security ed allo sviluppo di nuovi materiali, di nuove tecniche di saldatura e meccanica avanzata. Le attività di questo hub si collegano alla *Strategia Regionale di Specializzazione Intelligente (S3)* quali automotive e mecatronica, ICT/Spazio e Scienza della vita.

Le attività connesse con l'hub tecnologico del Laboratorio daranno luogo allo sviluppo di percorsi di alta formazione (dottorato di ricerca e borse post-doc), in cui avranno un ruolo fondamentale LNGS, GSSI e UnivAQ.

## 9. VALUTAZIONE DELL'INFN

### 9.1 VALUTAZIONE INTERNA

L'INFN si avvale per il controllo dei propri programmi di ricerca di diverse strutture che complessivamente consentono sia una valutazione ex-ante, che in itinere ed ex-post degli esperimenti e delle iniziative scientifiche. Con il nuovo Statuto l'Ente si avvale oltre che delle Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), una per ciascuna delle cinque linee di ricerca, di un Consiglio Tecnico Scientifico (CTS) che supervisiona i nuovi grandi progetti proposti dalle Commissioni stesse fornendo al Consiglio Direttivo un parere di congruità.

Nel processo di valutazione in itinere, il ruolo centrale è affidato alle Commissioni Scientifiche Nazionali che, ricordiamo, sono composte da un coordinatore per ciascuna Unità ove la linea di ricerca è presente più un Presidente ed un membro della Giunta Esecutiva. Ad ogni esperimento/attività di ricerca viene affidato un gruppo di referaggio (ove necessario anche con membri stranieri o comunque esterni all'Ente) che monitora l'attività e, in accordo con l'esperimento, fissa delle *milestones* annuali per verificare l'andamento del lavoro. Ogni esperimento presenta i suoi risultati almeno due volte l'anno alla Commissione Scientifica Nazionale di afferenza, e così il gruppo di referaggio di riferimento. Un Gruppo di Lavoro sulla Valutazione (GLV), composto da membri delle CSN, un coordinatore, ed i membri della GE, raccoglie ed analizza le informazioni raccolte dalle singole commissioni.

Inoltre fin dal 1997 l'Ente si avvale di un Comitato di Valutazione Internazionale (CVI), che viene rinnovato ogni quattro anni, costituito da esperti internazionali, sia nei campi dove l'Istituto conduce le proprie attività di ricerca, sia in settori che sono interessati o connessi a tali attività, come quello industriale e produttivo o più in generale quello economico. Nessun ricercatore, dipendente o associato INFN, è componente del CVI.

Il CVI redige annualmente un rapporto sulla qualità della ricerca INFN in cui fornisce anche indicazioni e raccomandazioni per migliorarne la performance globale. Tale rapporto è redatto dal CVI dopo un workshop, a cui partecipano il Presidente dell'Ente, la Giunta Esecutiva, i Presidenti delle Commissioni Scientifiche Nazionali, il Coordinatore dei GLV ed il Direttore del SFE (Servizio Fondi Esterni), in cui si analizza dettagliatamente un apposito documento predisposto da quest'ultimo che copre i vari aspetti delle attività scientifiche, ma anche di terza missione, dell'Ente.

Tale rapporto è inviato al MIUR in allegato al Piano Triennale.

L'approccio utilizzato dall'INFN è quindi basato su una doppia componente: da una parte dati oggettivi espressi attraverso indicatori riconosciuti dagli esperti, dall'altra l'analisi globale del loro significato e delle attività scientifiche dell'Ente in toto da parte di un "*gruppo di pari*". Sarebbe infatti limitativo al fine di una corretta valutazione, in una realtà articolata e complessa come l'INFN, ridurre l'intero processo di valutazione interna a un mero elenco di indicatori da confrontare con dati esterni, trascurando la componente storica degli avanzamenti scientifici (esperimenti e ricerche che si trovano in fasi diverse in momenti diversi) o il valore aggiunto derivante dalla realizzazione di una grande infrastruttura di ricerca, rispetto alla pubblicazione di un articolo su una rivista. Negli anni lo spettro delle informazioni fornite al CVI si è allargato, sia a seguito di

sollecitazioni di questo, che della necessità per il management di effettuare scelte informate relativamente alle attività in corso. Ad esempio il GLV ha studiato le prime destinazioni lavorative dei nostri laureati e dottorati. Considerando che questi ultimi sono circa la metà del totale dei dottorandi italiani in fisica, questo studio riveste una rilevanza che va al di là dell'Ente stesso. Analogamente sono raccolte informazioni sulle attività di *Public Engagement* dell'Ente e sui processi di *knowledge transfer*.

## **9.2 VALUTAZIONE ESTERNA: VQR 2004-2010 e VQR 2011-2014**

Nel 2013 sono stati presentati i risultati della Valutazione Qualità della Ricerca (VQR) 2004-2010.

Il nostro Ente è risultato primo tra i grandi Enti di ricerca per la qualità della ricerca. Il voto medio ottenuto è stato di 0.77 per prodotto con il 73% dei prodotti presentati nella categoria "Eccellente" o "Buono", mentre il numero di prodotti mancanti è stato dell' 1.88% contro il 6.99 % della media degli Enti di ricerca.

L'Ente si è preparato alla VQR successiva (che copre il periodo 2011-2014), raccogliendo l'informazione necessaria, e valutando –al suo interno– con un Gruppo di Lavoro dedicato, l'effetto degli interventi effettuati per rafforzare le sue attività. Qui ci si riferisce sia all'attività scientifica ed all'internazionalizzazione (che risulta pari o rafforzata in alcuni settori rispetto a quanto presentato nella VQR 2004-2010), che alla raccolta di Fondi Esterni, per la quale l'Istituto si è dotato di un apposito Servizio. L'INFN ha sottomesso alla VQR i prodotti di ricerca il 30 Marzo 2016.

I risultati della VQR sono stati pubblicati il 21 febbraio 2017 da ANVUR ([www.anvur.it](http://www.anvur.it)). Premettendo che una comparazione tra i risultati della VQR precedente e questa è complicato (definizione differente delle varie classi di merito, regole differenti), l'INFN ha comunque visto un miglioramento di tutti i suoi indicatori. Facendo un breve sommario: è risultato primo tra i grandi Enti, sia considerando il voto medio dei prodotti presentati (0.89) che la frazione di prodotti eccellenti sul totale (90.51%). Entrambi questi indicatori risultano migliori del 10% della media dell'Area 02. Nella scorsa VQR era primo tra i grandi enti come valore medio dei prodotti, ma non altrettanto relativamente alla frazione di eccellenti.

Un altro dato estremamente rilevante è che –nella graduatoria assoluta dell'Area 02- l'INFN passa dal quinto posto della scorsa VQR al terzo. I primi due classificati (LENS ed IIT) presentavano rispettivamente 26 e 111 prodotti, contro i 2795 complessivi dell'INFN. Pur con i limiti intrinseci di una valutazione bibliometrica, questo dato conferma l'eccellenza della ricerca dell'Ente. Il periodo in valutazione, va sottolineato, ha visto –tra i tanti risultati- la scoperta del bosone di Higgs da parte di ATLAS e CMS ad LHC, come pure le straordinarie osservazioni di fenomeni astrofisici da parte di Fermi e di AMS, due osservatori in orbita (uno sulla ISS) in cui l'INFN ha una partecipazione importante. Si tratta di esperimenti di lunga durata, sia nel senso di gestazione (disegno, costruzione, messa in funzione) che poi di raccolta ed analisi dati. Il periodo (relativamente breve) coperto da questa VQR ne fotografa quindi l'attività scientifica in un momento particolare. Va vista in questo contesto l'osservazione -presente nel rapporto- relativa alla presenza di articoli con un grande numero di firmatari, e presentati da molte strutture in Area 02. Nello specifico si tratta degli articoli relativi alla scoperta del bosone di Higgs (ricordiamo questa scoperta ha portato al premio Nobel per la fisica 2013 a Peter Higgs e Francois Englert), che sono stati presentati anche dai Dipartimenti cui afferivano i singoli ricercatori che hanno partecipato a questa straordinaria

impresa. In un esercizio di misurazione bibliometrica andrebbero sempre tenuti presenti gli usi sociali della disciplina sotto osservazione per contestualizzare i numeri.

Da un punto di vista sempre esterno, ma non italiano, l'INFN si classifica prima istituzione italiana nell'ambito del Nature Index ([www.natureindex.com](http://www.natureindex.com)) in assoluto. Limitandosi al settore di fisica è l'undicesima istituzione (classifica mondiale), dietro l'Università di Cambridge e l'ETH di Zurigo, e davanti ad Oxford e Berkeley.

Una innovazione di questa VQR è stata la valutazione delle singole strutture. Il parametro che qui si può utilizzare, è il rapporto tra il voto medio dei prodotti della singola struttura (Sezione, Laboratorio nazionale, Centro), con quello medio di area (il cosiddetto indice  $R$ ). Eccetto una (con  $R$  pari a 0,97), tutte le altre strutture presentano un  $R$  maggiore di 1, quindi sopra la media di area. La comparazione tra le varie strutture si può fare ma, di fatto, non risulta significativa, rispecchiando la distribuzione del proprio personale di ricerca nella varie sotto aree di cui è composto il nostro ambito.

Un'altra particolarità di questa VQR è che rappresenta il primo tentativo (ancora sperimentale) di valutare vari aspetti del *knowledge transfer*. ANVUR ha valutato sia gli aspetti più tradizionali legati al trasferimento tecnologico, e misurati attraverso indicatori che prevedano uno scambio economico, sia gli aspetti legati alla *engaged university* (o centro di ricerca), che viceversa riguardano la produzione di beni e servizi di pubblica utilità. Questo esercizio, estremamente difficile per gli Enti, dimostra –relativamente all'INFN- una spinta nuova verso il trasferimento tecnologico. Nonostante alcuni regolamenti attuativi (relativi a spin-off, brevetti e conto terzi) siano arrivati nel 2011-2012, questa VQR fotografa un Ente in cui la brevettazione fa parte di un ecosistema sostenibile di TT, ed in cui gli spinoff mostrano una dinamica estremamente positiva. ANVUR individua infatti negli spin-off INFN un esempio di buone prassi, confermato dalla recentissima acquisizione di uno di questi da parte della multinazionale PANalytical (ex Philips Analytical). Relativamente ai brevetti rileviamo come lo studio che NETVAL ha commissionato a QUESTEL individua l'INFN nel pool degli attori in accelerazione<sup>1</sup>.

L'altra innovazione di questa valutazione della Terza Missione, è stata l'analisi delle attività di pubblico interesse. Non necessariamente motivate da una spinta economica, ma di forte impatto (anche economico) sulla società, si tratta di attività multiformi. L'Ente partecipa ad almeno due di queste in maniera importante. Una riguarda la Formazione Continua, un aspetto legato al bisogno di (ri) allineare i curricula dei lavoratori ai nuovi bisogni della società. L'irruzione della ICT in ogni aspetto della nostra vita ha reso impellente che gli attori della ricerca avanzata in questo campo, contribuiscano ad adeguare le conoscenze della forza lavoro (talvolta resa senza lavoro proprio da queste nuove tecniche). Insieme alla formazione verso i docenti di scuola superiore, questo aspetto delle attività INFN è risultato –per quanto incrementabile- di forte impatto numerico nella società italiana. Nel campo del *Public Engagement*, area vasta e che copre dalla semplice diffusione della cultura scientifica alle iniziative di *policy making*, l'INFN è risultato il miglior Ente, con un risultato che lo avrebbe compreso tra i migliori dieci Atenei.

Per coordinare questo sforzo nella Terza Missione, l'Ente si è, di recente, dotato di un Comitato di Coordinamento che ha iniziato, da pochi mesi, il suo lavoro. I due obiettivi immediati sono il consolidamento delle iniziative esistenti, e l'inserimento di un momento valutativo per le varie iniziative, a cominciare da quelle che presentano un maggior investimento di risorse.

---

<sup>1</sup> Audrey Dayon *Patent trends and future impact*, NETVAL Summer School 2016.

### **9.3 CONFRONTO INTERNAZIONALE**

L'INFN è membro di diverse organizzazioni europee e internazionali che agiscono da supporto alle azioni della Commissione Europea.

Da una spinta legata all'esigenza di una maggiore vicinanza geografica alle azioni della Commissione, nell'ottobre 2011 è nata Science Europe ([www.scienceeurope.org](http://www.scienceeurope.org)): Science Europe è l'evoluzione della European Science Foundation con il proposito di favorire uno sviluppo coordinato della ricerca europea che ne mantenga il livello di eccellenza permettendo alle organizzazioni nazionali di coordinare al meglio le proprie iniziative. La fondazione di Science Europe, dove siedono contemporaneamente sia agenzie di finanziamento sia enti di ricerca, ha visto il contemporaneo scioglimento di EUROHORCs.

In questi mesi si stanno completando i lavori dei Working Group di Science Europe, con la stesura dei documenti finali destinati allo Scientific Council per una valutazione. L'esperienza di questi WG mostra degli aspetti variegati, ma complessivamente -per quanto influenzati dalla presenza dominante di agenzie di finanziamento- positivi per quanto riguarda gli aspetti di discussione, networking e lobbying nei confronti delle istituzioni europee. Starà ora agli organismi centrali di Science Europe, definire i prossimi obiettivi e strategie.

## EXECUTIVE SUMMARY

Il Piano Triennale 2018-2020 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni a partire dai risultati delle attività in corso.

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** che ha determinato la diffusione capillare sul territorio nazionale. Esso rappresenta una fonte di ricchezza e vivacità culturale, e di un continuo apporto di giovani, ma anche un cruciale sostegno dell'ente all'attività di ricerca delle Università. Permane la difficoltà di riconoscimento anche quantitativo di tale apporto in sede di valutazione sia dell'ente che delle Università interessate.
- **Auto-governo responsabile**: rappresentatività della comunità e controllo MIUR in buon equilibrio e una gestione interna fortemente orientata dalla scienza. Nel caso dell'INFN, oltre all'ampio coinvolgimento dei ricercatori negli organi di governo, il modello di gestione e organizzazione è lo stesso utilizzato dalla ricerca a livello internazionale, che di per sé prevede una 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. È uno degli elementi che maggiormente contribuisce alla solidità, sicuramente migliorabile nell'implementazione, ma da preservare assolutamente nello spirito e nella sostanza.
- Eccellente capacità di **formazione a livello di lauree, dottorati e attività postdottorale** (circa la metà delle tesi di Ph.D. in fisica). I giovani si qualificano e ottengono risultati eccezionali all'estero e costituiscono un grande serbatoio di competenze, che spesso trasferiscono alla società. Ambiente scientificamente attraente anche per studiosi, in particolare giovani, dall'estero.
- **Ricerca** che si svolge in gran parte nell'ambito di grandi **collaborazioni internazionali** in cui rivestiamo un ruolo di primo piano. Abbiamo un laboratorio mondiale, il **CERN**, dove siamo leader e uno, con caratteristiche di ampiezza ed accessibilità veramente uniche a livello mondiale tra i grandi laboratori sotterranei, come il **Gran Sasso**, a partecipazione straniera maggioritaria. Il consorzio EGO (a partecipazione paritaria INFN-CNRS) dove si svolge l'esperimento VIRGO si è dimostrato strumento straordinario per il successo nella ricerca delle Onde Gravitazionali e l'avvio della nuova era dell'Astronomia a Molti Messaggeri cosmici (fotoni, neutrini di alta energia, raggi cosmici carichi e, ora, anche onde gravitazionali).
- Le nostre ricerche fanno uso e richiedono lo sviluppo di **tecnologie avanzate** insieme al mantenimento di know-how. Questo ha ricadute naturali di alta utilità sociale: adroterapia e strumentazione di diagnostica medica, beni culturali, cloud computing e calcolo HPC, produzione di radioisotopi per la farmaceutica e molto altro.
- Esistenza da lungo tempo di un sistema di **autovalutazione** con la presenza di un comitato internazionale.

In questi ultimi anni è iniziata, ed è ora in piena attuazione, una trasformazione importante per l'Istituto. Fermo restando il caposaldo del rispetto della sua Missione, si intende rivolgere tutte le

energie possibili verso l'Europa sia partecipando in modo organico alle sue infrastrutture di ricerca (come definite nell'ambito di **ESFRI**), che trasformando laboratori italiani in infrastrutture europee (**ERIC**). Ciò, insieme a una forte valorizzazione del **settore di Ricerca e Sviluppo** e a un potenziamento del **Trasferimento Tecnologico**, nella convinzione di diventare sempre più competitivi nella sfida posta dal programma quadro della UE, **Horizon2020**.

Sul piano dei risultati scientifici, dopo la scoperta del bosone di Higgs nel 2012 che ha premiato anche uno sforzo ventennale dell'INFN che ci vede orgogliosi protagonisti degli esperimenti a LHC e che ha contribuito alla elezione di Fabiola Gianotti alla direzione del CERN, siamo stati protagonisti della rivelazione delle Onde Gravitazionali, l'ultimo tassello mancante alla centennale teoria della Relatività Generale di Einstein, con uno straordinario contributo umano e tecnologico dell' INFN attraverso l' esperimento Virgo. Il premio Nobel 2017 a Weiss, Thorne e Barish è stato un altro importante riconoscimento della rilevanza di questa linea di ricerca. L' eccezionale successo del periodo di presa dati dell' Agosto 2017 da parte di VIRGO insieme agli interferometri americani, con la prima osservazione di una coalescenza di stelle di neutroni e con il coinvolgimento dell' intera comunità astronomica, ha segnato l' inizio della Astronomia a Molti Messaggeri. Una data miliare. Ricordiamo con affetto e dolore il ruolo di Adalberto Giazotto, il padre di VIRGO, recentemente scomparso.

Ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso (**LNGS**), dove ospitiamo una vasta comunità internazionale, otteniamo i migliori risultati al mondo sulla ricerca della Materia Oscura e sul decadimento Doppio Beta senza emissione di Neutrini (esperimenti GERDA e CUORE). L'esperimento di ricerca della materia oscura più grande al mondo, DarkSide, con ben 20 tonnellate di Argon ultrapuro, verrà installato nei LNGS alla fine di questa decade. Tale esperimento ha attratto l'attenzione della comunità scientifica internazionale impegnata nella caccia alla materia oscura: in effetti, tutti i gruppi impegnati in tale ricerca con l'utilizzo della tecnologia ad argon liquido a livello mondiale sono confluiti nella collaborazione DarkSide. La tecnologia dimostrata ai LNGS dall' esperimento ICARUS, guidato dal Premio Nobel Carlo Rubbia, è quella scelta per il futuro esperimento su scala globale con fasci di neutrini al laboratorio Fermilab a Chicago. Sempre ai LNGS, l'esperimento Borexino ci ha permesso, per la prima volta al mondo, di misurare tutti i processi di emissione di neutrini dal Sole.

È in fase di avanzata realizzazione il progetto **KM3NeT** ai Laboratori Nazionali del Sud (**LNS**) attraverso il dispiegamento di una rete di rivelatori nel Mar Mediterraneo al largo di Capo Passero; esso presenta significative potenzialità anche per ricerche interdisciplinari, al di là dello studio dei neutrini emessi nei processi più violenti dell'Universo. Il progetto KM3NeT è entrato a far parte della nuova lista dei progetti ESFRI 2016-2026.

Nel nostro Laboratorio Nazionale di Legnaro (**LNL**) è in fase di messa a punto l'acceleratore **SPES**, al servizio della ricerca nucleare di base e con potenzialità straordinarie per la produzione di radiofarmaci, che verranno prodotti in collaborazione col settore privato.

Al **LABEC** di Firenze le nostre tecnologie hanno un utilizzo importante nel settore dei beni culturali, Il polo di Firenze è anche un pilastro di E-RIHS, altro progetto che entra a far parte della Roadmap di ESFRI.

Ai laboratori nazionali di **Frascati** (LNF), laboratorio storico dell'INFN, continuiamo la via aperta da AdA nella ricerca di punta sviluppando **innovative tecniche di accelerazione** ed elaboriamo progetti per possibili infrastrutture di ricerca, con vocazione interdisciplinare, da installare nel nostro Paese. Siamo infatti tra i leader del progetto EUPRAXIA, finanziato dalla UE, e ci candidiamo ad ospitare la macchina che verrà progettata.

In campo internazionale va sottolineato il notevole incremento di progetti in **collaborazione con la Cina**, potenza emergente della fisica. Abbiamo conquistato una partnership privilegiata, specialmente nel campo degli esperimenti scientifici su satellite (DAMPE, Limadou) e nella fornitura di tecnologie mutate dagli esperimenti al Gran Sasso (JUNO).

Nell'ambito di ESFRI è ormai pienamente definita e operativa una strategia comune dell'INFN con **CNR e Sincrotrone di Trieste** che identifica l'intera filiera che va dalla costruzione delle macchine acceleratrici fino al loro sfruttamento da parte dell'utenza (esempi ne sono **XFEL, ESS, ELI, ESRF, EuroFel, SESAME**). È in fase di costruzione da parte dell'associazione EuroGammaS, di cui l'INFN è capofila, l'acceleratore ELI-NP in Romania ed è in corso la costruzione di parti rilevanti della European Spallation Source (ESS). Siamo partner dell'upgrade ad ESRF, abbiamo completato la fornitura delle cavità superconduttrici a XFEL e contribuiamo in modo determinante al successo di quella straordinaria avventura scientifico-politica che è SESAME. Ora siamo anche partner per la tecnologia delle cavità superconduttrici del nuovo acceleratore di Fermilab (PIP-II).

L'applicazione terapeutica delle radiazioni nucleari e delle particelle cariche rimane uno dei settori considerati strategici dall'INFN. Per quanto riguarda l'adroterapia, l'INFN si sta impegnando a consolidare le competenze sviluppate nel passato nel campo degli acceleratori per la cura dei tumori. In primo luogo si è rafforzato il rapporto con il **CNAO**, dove l'INFN contribuisce alla realizzazione di una linea di ricerca dedicata. In secondo luogo si sta sviluppando l'attività a TIFPA, struttura costituita dall'INFN a Trento. Il **TIFPA** nasce come una struttura non tradizionale dove sin dall'inizio è presente un legame basilare tra l'INFN, l'Università, la Fondazione Bruno Kessler e l'azienda sanitaria locale che possiede un ciclotrone per la cura dei tumori e sul quale l'INFN sta attrezzando la linea di ricerca. Inoltre, grazie a queste competenze, siamo anche partner per la costruzione di una "copia" del CNAO in Georgia.

Ricordiamo con orgoglio lo straordinario successo del Gran Sasso Science Institute (**GSSI**), la scuola di dottorato ubicata a L'Aquila, di cui l'INFN è stato ente attuatore. Siamo fieri della trasformazione di questa scuola da esperimento a istituto universitario avvenuta nel 2016. Forti dell'esperienza fatta col GSSI, stiamo altresì preparando la trasformazione del Galileo Galilei Institute ad Arcetri in Centro di Alta Formazione dell'INFN in collaborazione con l'Università di Firenze.

Siamo convinti di seguire con coerenza e intelligenza un insieme di filoni di ricerca che, appoggiati solidamente sul pilastro di **Excellent Science**, giungono però a dare i loro frutti anche negli altri due campi di Horizon2020, **Competitività industriale** e **Sfide sociali**. Applicazioni per la medicina, beni culturali, computing e servizi connessi, scienza dei materiali sono i settori dove meglio riusciamo nel raccogliere la sfida.

Un esempio è costituito dalla ricaduta industriale del futuro esperimento per la ricerca della materia oscura, DarkSide, a LNGS. In Sardegna, in una miniera dismessa del Sulcis, stiamo costruendo un impianto di distillazione criogenica che, oltre a fornire l'Argon per l'esperimento DarkSide, sarà anche produttore di isotopi a uso medico e industriale; in Abruzzo, a LNGS, sarà costruita un'officina per le applicazioni di fotomoltiplicatori al silicio a esperimenti di fisica.

Dedichiamo inoltre un grande sforzo alla **divulgazione scientifica** attraverso eventi, mostre, convegni, attività nelle scuole.

Sul piano organizzativo è in corso un grande sforzo per pianificare e realizzare un **riammodernamento gestionale** che veda una razionalizzazione degli aspetti amministrativi e tecnici su base regionale.

Nell'ultimo anno, indubbiamente, sono arrivati segnali importanti e concreti di attenzione al mondo della ricerca. Tuttavia, non possiamo ignorare il fatto che **criticità** importanti sono ancora presenti nel sistema ricerca del Paese, con conseguenze inevitabili anche sullo svolgimento delle ricerche dell'INFN e sulla realizzazione della sua missione.

In primo luogo riteniamo che un sistema nazionale della ricerca debba essere al tempo stesso agile e inclusivo, senza snaturare la diversità delle discipline e il valore assoluto della ricerca "knowledge-driven", evitando di accentrare e rendere troppo rigidi i piani di ricerca. È essenziale che gli Enti e le Università operino in modo paritario scambiando il personale tra di loro e, soprattutto, nel corso della carriera dei singoli, tra un ruolo a prevalenza di didattica e uno a prevalenza di ricerca. Un sistema nazionale senza pianificazione pluriennale non avrebbe alcuna utilità e deve poggiare su una reale sinergia tra i soggetti (università, enti e imprese) sulla base della convergenza di interessi e sulla qualità di progetti comuni. Un meccanismo premiale, che sia però aggiuntivo alle risorse esistenti, basato sulla interdisciplinarietà e la collaborazione potrebbe incentivare una maggiore integrazione tra Enti, senza intaccare autonomia, originalità e qualità della ricerca.

Un altro elemento di forte criticità è rappresentato dal modello odierno di finanziamento che soffre dell'ambiguità dovuta all'attribuzione su base annuale dei finanziamenti. Ciò non è assolutamente adeguato alla programmazione, soprattutto in un contesto di ricerca e specialmente in rapporto alle realtà internazionali, a partire dalla UE, in cui la programmazione avviene tipicamente su base pluriennale.

Ricordiamo con orgoglio che nella competizione "premiata" relativa alla redistribuzione del 7% del FOE l'ente è stato sin qui capace di attrarre sistematicamente ben più del doppio della sua quota relativa e ricordiamo lo straordinario successo ottenuto dall'INFN nella ripartizione delle posizioni di ricercatore previste nella legge di stabilità 2017 (73 su 215) ora coperte grazie allo svolgimento in di una competizione nazionale. A questo proposito, sottolineiamo che le attuali, farraginoso norme sui concorsi andrebbero snellite allineandole agli standard dei metodi di selezione adottati nei paesi più avanzati.

Il D.L. 218 del 2016 ha segnato un grande progresso nella possibilità di gestire l'Ente secondo i sani principi dell'autonomia responsabile. Osserviamo però con preoccupazione il lievitare dei costi del personale a fronte della staticità del FOE. Non vorremmo arrivare al paradosso di avere più personale e meno capacità di ricerca. Anche il rapporto con l'Università sta diventando complesso. C'è una progressiva separazione e chiusura che rende il sistema impermeabile. A questo si aggiunge la difficoltà di sfruttare l'attrattiva nei riguardi di studiosi (stranieri o italiani) operanti all'estero, per le condizioni al contorno: offerta economica, prospettiva di carriera, burocrazia e guardiamo con sconcerto all'incapacità di sfruttare per impacci burocratici le norme pur esistenti sul rientro dei cervelli.

Ci aspetta inoltre il complesso compito di una applicazione il più intelligente e trasparente possibile della Legge Madia sulle possibilità di stabilizzazione del personale a Tempo Determinato.

Un futuro nuovo, comunque, da affrontare con attenta riflessione e programmazione per mantenere al più alto livello la capacità dell'Ente di essere leader nel mondo nel suo campo di ricerca.

Nel seguito vengono illustrati più in dettaglio i principali punti nei quali si articola il Piano Triennale.

## LE RISORSE FINANZIARIE

Dal 2011 le **Entrate senza vincolo di destinazione**, dopo un periodo continuo di contrazione, sono tornate al livello dell'anno **1985**. Negli anni addietro si è quindi posta la necessità di contrarre progressivamente le spese in modo tale da rientrare entro i nuovi limiti posti dalle Entrate, e allo stesso tempo di trovare nuove sorgenti di finanziamento. La crescita dei **finanziamenti con vincoli di destinazione** (fondo esterni o su assegnazioni straordinarie per attività di ricerca a valenza internazionale) rappresenta proprio l'esito di questa politica che ha permesso di attrarre fondi premiali MIUR, fondi su progetti internazionali e fondi europei o regionali.

Il livello globale di **spesa corrente** dell'INFN negli ultimi anni è attestato intorno ai 300 ML€ e questo numero riflette le reali esigenze finanziarie legate alla ordinaria amministrazione dell'Ente. D'altronde, la costante e significativa **diminuzione delle entrate senza vincolo di destinazione**, unita al fatto che una parte considerevole del bilancio (circa il 50%) è costituita da spese di personale che, per loro natura, sono incompressibili, rappresenta un fattore fortemente limitante, che rischia di pregiudicare i livelli di eccellenza raggiunti dall'INFN nel corso degli anni.

I progetti di ricerca dell'INFN si caratterizzano per una durata pluriennale che può facilmente raggiungere, e in alcuni casi superare, il decennio, e 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.

L'Ente ha accolto l'invito del MIUR di procedere ad un **Piano di riammodernamento gestionale e di regionalizzazione**. Se da un lato l'ente ha sempre cercato di ottimizzare l'impiego di risorse umane e strumentali attraverso forti sinergie con il sistema universitario, dall'altro la disponibilità di strumenti informatici e amministrativi sempre più efficaci permette di estendere queste sinergie ad ambiti territoriali allargati a livello regionale o macro-regionale.

## LE RISORSE DI PERSONALE DELL'ISTITUTO

Tenuto conto degli ambiziosi obiettivi di ricerca, che l'INFN ha pianificato nel triennio 2018 – 2020, dopo l'assunzione straordinaria di 73 giovani ricercatori nel 2017 e la possibilità di dare nuovamente applicazione all'art. 13 del decreto legislativo 31 dicembre 2009, n. 213 sul riconoscimento e valorizzazione del merito eccezionale, l'Istituto presenta il proprio fabbisogno di personale nel triennio di riferimento con i seguenti obiettivi:

- a) assumere a tempo indeterminato giovani brillanti (ricercatori e tecnologi), contenendo il cosiddetto fenomeno delle fughe dei cervelli;
- b) assumere a tempo indeterminato Collaboratori Tecnici (CTER) qualificati per poter rispondere nei prossimi anni alle stringenti richieste poste dagli upgrade degli esperimenti LHC e da altri progetti internazionali, quali ad esempio quelli riguardanti la fisica del neutrino e la ricerca della materia oscura;
- c) assumere a tempo indeterminato Collaboratori di amministrazione per poter rispondere alle difficoltà emerse a seguito del blocco delle assunzioni per gli amministrativi a fronte delle importanti cessazioni registrate negli ultimi anni;

- d) favorire una più efficiente ripartizione del personale tra le varie strutture INFN presenti sul territorio nazionale;
- e) migliorare la qualità della ricerca dell'intero Istituto.

Un importante elemento che influisce sulla **pianificazione del fabbisogno di personale** è l'aumento dell'età media tra il personale assunto a tempo indeterminato. Assumere giovani dipendenti a tempo indeterminato diventa ogni anno sempre più importante, soprattutto per quegli Enti, come l'INFN, che hanno nella propria missione la ricerca fondamentale e che vogliono far fronte agli impegni assunti anche attraverso un maggior consolidamento del proprio ruolo internazionale a vantaggio dell'intera comunità scientifica e più in generale degli interessi del nostro Paese.

## **PARTECIPAZIONE A CONSORZI, SOCIETÀ E FONDAZIONI**

Alcune collaborazioni dell'Istituto si sono tradotte nella costituzione e nella partecipazione a **consorzi, società, fondazioni** e, in generale, diversi organismi associativi radicati sul territorio. Complessivamente l'INFN partecipa a una trentina di organismi associativi di queste tipologie, per un impegno finanziario di oltre 10 milioni di Euro annui. Alcuni, come COMETA, hanno specifici obiettivi nel campo della fisica spaziale (Lisa Pathfinder) o delle infrastrutture di calcolo (EGI) con trasferimenti verso paesi terzi (eI4Africa, EarthServer). Nel campo dei Beni Culturali è da ricordare CoRICH che vanta iniziative verso la Comunità Europea (Synergy Grant), verso fondi regionali e nazionali (PON) e verso Confindustria (PICH). Nel settore dell'energia il Consorzio RFX gioca un ruolo primario, con la partecipazione ai progetti di fusione nucleare ITER e IFMIF. Nel campo delle reti, significativo è il contributo dell'Ente nell'Associazione Consortium GARR. Particolarmente rilevante è altresì la partecipazione dell'INFN al consorzio EGO che partecipa alla rete internazionale degli osservatori di onde gravitazionali (GWIC). 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 Cluster Fabbrica Intelligente e all'Associazione Smart Cities and Communities promuovendo la collaborazione tra i soci nei settori strategici tipici delle Smart Cities, secondo i paradigmi innovativi dell'Agenda Digitale Europea.

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

## **L'ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA**

L'attività di ricerca di base dell'Ente si rivolge ai **grandi quesiti aperti** nell'ambito della fisica dei costituenti elementari della materia e delle loro interazioni fondamentali. Due grandi recenti scoperte, di cui l'INFN è stato tra i principali protagonisti, caratterizzano in modo cruciale il nostro cammino di conoscenza delle leggi fondamentali che regolano l'evoluzione dell'Universo: da una parte, la scoperta del bosone di Higgs rappresenta il tassello fondamentale per completare la verifica della validità della teoria nota come Modello Standard nella descrizione dell'Universo a livello microscopico (microcosmo); dall'altra, la teoria che da un secolo descrive l'Universo nelle sue strutture più grandi (macrocosmo), la Relatività Generale di Einstein, ha ricevuto la recente clamorosa conferma di una sua cruciale predizione grazie alla rivelazione diretta delle onde gravitazionali. La scoperta delle onde gravitazionali, annunciata nel 2016, è stata premiata col premio Nobel per la fisica 2017. Grazie all'entrata in funzione dell'interferometro gravitazionale

Virgo nell'infrastruttura di ricerca di Cascina (Pisa), è stato possibile realizzare, in concomitanza con le osservazioni dei due interferometri americani di LIGO, la rivelazione del primo evento di emissione di onde gravitazionali a seguito della fusione di due stelle di neutroni e, cosa molto importante, l'individuazione della direzione di provenienza del segnale. Ciò ha permesso di accompagnare lo studio delle onde gravitazionali con quello della radiazione elettromagnetica associata attivando opportunamente una vasta rete di telescopi (a terra e nello spazio) collegati a LIGO-Virgo mediante un ampio programma di intesa. È nato così un nuovo modo di osservare le sorgenti astrofisiche mediante un approccio che cerca di individuare simultaneamente i vari "messaggeri cosmici" emessi da tali sorgenti – radiazione elettromagnetica, raggi cosmici carichi, neutrini di alta energia e onde gravitazionali.

Nel corso del 2017 gli esperimenti di fisica subnucleare, effettuati ad acceleratori di particelle, hanno esplorato vari campi del settore, tutti alla frontiera della ricerca in Fisica delle Alte Energie. Al CERN LHC con l'energia nel centro di massa di 13 TeV, ha superato i limiti di disegno in quantità e qualità dei dati forniti agli esperimenti, che sono stati pronti a raccoglierci con un'efficienza altissima. Grazie a tale messe di dati è stato possibile portare avanti incisivamente un programma di ricerca di nuova fisica oltre il Modello Standard raggiungendo importanti nuovi limiti sulle masse di particelle supersimmetriche o di nuove particelle presenti in teorie con nuove dimensioni spazio-temporali, con particolare riguardo a candidati di materia oscura. Un altro importante modo di cercare segnali di tale nuova fisica è mediante **ricerche indirette** che si avvalgono dello studio dettagliato delle masse e dei mescolamenti tra loro delle particelle elementari (**fisica del flavour**). L'INFN si è da sempre distinto in questo campo curandone sia gli aspetti teorici (ricordiamo il contributo di Nicola Cabibbo, ad esempio) che sperimentali.

Come sopra ricordato, la scoperta delle onde gravitazionali (in cui i fisici e tecnici INFN della collaborazione Virgo hanno dato un significativo contributo) è fondamentale non solo per avvalorare una delle più affascinanti predizioni della teoria della Relatività Generale, ma anche, e forse ancora più importante, per inserire di prepotenza le onde gravitazionali tra i "messaggeri cosmici" (al pari dei fotoni e neutrini di alta energia e dei raggi cosmici carichi), quindi, di fatto, per aver aperto la nuova era della "astronomia gravitazionale".

La ricerca e lo studio delle onde gravitazionali rientra nel campo della cosiddetta **fisica astroparticellare**, ovvero lo studio di processi fisici il cui studio combina sinergicamente aspetti di fisica delle particelle elementari, della cosmologia e dell'astrofisica. L'INFN conduce queste ricerche in vari ambienti, dallo spazio (ricerca di antimateria e radiazioni gamma), alla superficie terrestre (radiazione cosmica e onde gravitazionali), dai laboratori sotterranei (LNGS) alle profondità marine (KM3NeT).

Abbiamo già sopra accennato al fatto che, nel prossimo triennio, il laboratorio del Gran Sasso manterrà una leadership mondiale nel campo della fisica condotta in ambiente sotterraneo grazie a nuovi o rinnovati esperimenti alla ricerca della **Materia Oscura** e di un rarissimo processo fisico, il **doppio decadimento nucleare senza emissione di neutrini** (l'esistenza di tale processo mostrerebbe che i neutrini appartengano a una nuova classe di particelle la cui esistenza è stata ipotizzata da Ettore **Majorana** circa 80 anni fa). Un altro aspetto ancora misterioso della fisica del neutrino riguarda la possibile esistenza di un nuovo tipo di neutrino, chiamato "neutrino sterile". Sarà possibile dare una risposta definitiva su tale ipotetica nuova particella grazie al progetto **SBN al Fermilab** di Chicago: il rivelatore **ICARUS**, spostato nel 2014 dal Gran Sasso al CERN, è stato trasportato nel 2017 al Fermilab e là costituirà il più grande dei tre rivelatori di neutrini di SBN.

Il terzo grande settore della ricerca di base condotta dall'INFN concerne la **fisica nucleare**. Al momento, il progetto più rilevante in questo campo, **ALICE**, si svolge a LHC e riguarda lo studio di uno stato della materia che riteniamo essere stato presente ed essenziale nei primissimi istanti dell'Universo in cui, in luogo dei protoni e neutroni che oggi vediamo, erano ancora presenti i quark e i messaggeri delle interazioni nucleari forti, i gluoni, il cosiddetto plasma di quark e gluoni, quali particelle elementari. Nei prossimi tre anni, oltre che nei propri laboratori di fisica nucleare (quello di Legnaro, **LNL**, e quello del Sud a Catania, **LNS**), l'INFN porterà avanti programmi di fisica nei laboratori nucleari **JLAB** negli USA e **GANIL** in Francia. Infine, nel triennio si porterà a compimento la preparazione dell'importante infrastruttura di ricerca **SPES** a LNL.

## **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 dell'INFN 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*.

**LNF.** La caratteristica principale di questo laboratorio consiste nella progettazione e realizzazione di acceleratori di particelle. Sono in funzione a Frascati due acceleratori: DAFNE, un acceleratore elettroni-positroni, che detiene il record mondiale di luminosità a bassa energia, e l'acceleratore lineare SPARC usato per produrre luce LASER con elettroni oscillanti in campo magnetico, detto FEL (Free Electron LASER). Per il prossimo triennio si prevede il completamento della sperimentazione con l'esperimento KLOE2 a DAFNE. All'interno del complesso dell'acceleratore DAFNE è presente una linea denominata Beam Test Facility (BTF) che fornisce fasci di positroni/elettroni in un vasto intervallo di energia ed intensità. Questi sono utilizzati per un'ampia gamma di applicazioni di ricerca sia fondamentale che applicata. L'INFN ha approvato la costruzione di un esperimento (PADME) che utilizzando il fascio della BTF studierà la possibile esistenza di particelle che possano spiegare l'esistenza di un "dark sector".

Per le attività legate a SPARC dopo aver raggiunto l'obiettivo di produrre la prima sorgente europea di raggi X monocromatici da Thomson back-scattering, si sta procedendo con un'intensa attività di R&D volta alla realizzazione dei gradienti necessari per l'implementazione di nuove tecniche di accelerazione ultra-compatte basate sull'interazione di fasci di elettroni con onde di plasma. Inoltre, prosegue lo studio della possibilità di estendere l'area del bunker che ospita il laboratorio in modo da poter installare sorgenti di radiazione FEL e Compton insieme al laser già esistente FLAME. Ciò permetterebbe di realizzare diverse linee di luce di Sincrotrone di frequenza UV o X per utenti esterni.

**LNGS.** Si tratta del più grande ed importante laboratorio sotterraneo al mondo, con facilità di accesso (stradale) a differenza di altri laboratori situati in miniere. Oltre alla continuazione dell'esperimento Borexino con l'importante obiettivo di rivelare i neutrini prodotti da reazioni di bassa energia nel Sole (neutrini del ciclo CNO), alcuni dei punti salienti dell'attività ai LNGS nel triennio a venire sono: i) per quanto riguarda la ricerca del raro processo di Doppio Decadimento nucleare senza emissione di neutrini avremo la continuazione (fase2) dell'esperimento GERDA –

che ha prodotto ottimi risultati nel corso del 2017 – e la presa dati del grande esperimento CUORE, uno dei progetti leader a livello mondiale ; ii) per la ricerca sulla materia oscura, a LNGS abbiamo uno degli apparati con la più alta sensibilità che sia mai stata raggiunta nella ricerca di particelle di materia oscura, l' esperimento Xenon 1T, con uso dello xenon liquid quale bersaglio; accanto all'utilizzo dello xenon, si sta inoltre preparando un innovativo apparato per la ricerca di materia oscura, DarkSide, che utilizza argon liquido quale bersaglio; iii) l'installazione di LUNA-MV con un apparato sperimentale che potrà studiare in dettaglio alcune delle più importanti reazioni nucleari che avvengono nelle stelle o che sono avvenute pochi istanti dopo il Big Bang quando si formarono i primi nuclei di materia.

**LNL.** Il laboratorio è dedicato alla fisica e astrofisica nucleare di base, assieme allo sviluppo delle tecnologie nucleari connesse, e trova i suoi punti di forza nello sviluppo di rivelatori di radiazioni nucleari e nella realizzazione di acceleratori innovativi per ioni. Cruciale per il futuro di LNL è il grande progetto SPES che comprende la messa in funzione del nuovo ciclotrone, giunto nel 2015 a LNL. Oltre che allo studio di proprietà di una classe rilevante e sinora poco esplorata di nuclei, fornirà anche una struttura in grado di soddisfare esigenze di ricerca applicativa di interesse nazionale e internazionale, in particolare nel campo della medicina nucleare con la produzione di radioisotopi innovativi per applicazioni mediche nel campo della diagnostica e della terapia.

**LNS.** Il laboratorio opera nei campi della fisica nucleare e dell'astrofisica nucleare 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, ecc.). Per l'Astrofisica particellare è in costruzione Km3NeT che costituirà la più grande infrastruttura di ricerca ad alta profondità nel Mar Mediterraneo. L'obiettivo principale di KM3NeT è la ricerca e lo studio di sorgenti puntiformi di neutrini di alta energia, la cui rivelazione segnerà l'inizio della astronomia con neutrini. Una sede dei LNS, situata a Capo Passero, collegata a Km3NeT sarà utilizzata anche in attività di ricerca multidisciplinari (geofisica, vulcanologia, biologia marina, ecc.).

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

- l'Osservatorio Gravitazionale Europeo (**EGO**) è un consorzio internazionale. Il consorzio è attivo dal 2000 per terminare la costruzione, operare, mantenere e sviluppare l'interferometro Virgo, ai fini della ricerca delle onde gravitazionali. L'estesa infrastruttura è collocata nella campagna a una decina di chilometri da Pisa. Virgo è uno dei tre maggiori interferometri nel mondo, insieme ai due americani LIGO e ha nella versione Advanced, che comincerà la presa dati nella prima metà del 2017, una sensibilità paragonabile a quella che ha permesso agli interferometri LIGO di osservare la prima onda gravitazionale. Al tempo stesso, EGO, in collaborazione con gli altri maggiori centri mondiali di ricerca sulle onde gravitazionali, porta avanti un importante programma di R&D sia su ulteriori avanzamenti della sensibilità sperimentale degli attuali interferometri in superficie che sulla possibilità di avere in futuro grandi interferometri sotterranei.
- Il Laboratorio di Tecniche Nucleari Applicate ai Beni Culturali (**LABEC**) è una struttura della Sezione di Firenze, basata come strumento principale su un acceleratore di particelle (Tandem), col quale si effettuano applicazioni interdisciplinari di tecniche della fisica nucleare, soprattutto per applicazioni nel settore dei Beni Culturali (datazioni col metodo del  $^{14}\text{C}$  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 **CNAF** è il centro nazionale dell'INFN dedicato alla ricerca e allo sviluppo nel campo delle discipline informatiche e telematiche e alla gestione dei relativi servizi per le attività di ricerca dell'Istituto. Ospita il centro nazionale di calcolo dell'INFN e partecipa a vari progetti di ricerca e sviluppo nel campo del calcolo distribuito Grid e Cloud, sia a livello nazionale che internazionale, svolti in collaborazione con aziende ICT e pubbliche amministrazioni.
- Il Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata (**LASA**), fondato nel 1987 presso l'INFN di Milano. La sua missione principale è quella di 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 allo sviluppo di applicazioni multidisciplinari, sia medicali con acceleratori, sia di dosimetria che di produzione di radionuclidi presso il laboratorio di radiochimica.
- Il **TIFPA** (Trento Institute for Fundamental Physics and Applications) intende potenziare prioritariamente le ricerche in nuovi settori che risultano strategici dal punto di vista tecnico-scientifico con ampie potenzialità di tipo applicativo/industriale. È per questo motivo che, oltre al partner istituzionale Università di Trento (UNI-TN), il TIFPA coinvolge la Fondazione Bruno Kessler (FBK) e l'Agenzia Provinciale Servizi Sanitari (APSS). 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 a fisica spaziale, schermature per missioni in LEO o interplanetarie, ed applicazioni industriali (danno alla microelettronica, Si-wafers ecc..).

## **PROGETTI CON ALTRI ENTI E UNIVERSITÀ, PROGETTI EUROPEI, ERIC E FONDI ESTERNI**

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 ha da sempre promosso e favorito 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 e con il CINECA.

L'INFN, per la natura delle ricerche che promuove e coordina, tradizionalmente opera in un vasto contesto di collaborazioni internazionali. Merita certamente il massimo rilievo l'attività condotta dall'Istituto presso il CERN di Ginevra, ma l'Istituto 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 quasi 100 accordi di **cooperazione scientifica** con Istituti di ricerca situati in 30 Paesi tra cui quelli recenti firmati con Istituzioni scientifiche quali ICHEP (Israele) e SESAME (Giordania).

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 dei seguenti paesi: Cina (IHEP), Francia (CNRS/IN2P3), Regno Unito (STFC), Russia (JINR, Kurchatov), Stati Uniti (DOE, NSF).

Sono **31 le Università dove l'INFN ha proprie strutture** e altre 8 con cui ha accordi quadro attivi. Complessivamente l'INFN versa annualmente alle Università convenzionate circa **2 milioni di Euro** come contributo alle biblioteche e alle spese di gestione delle strutture universitarie. Nel corso del 2016 sono stati erogati circa 3.5 Meuro per 196 borse di dottorato, circa 0,7 Meuro per 43 assegni di ricerca cofinanziati e circa 1,1 Meuro per 14 posizioni di ricercatore a tempo determinato. Si tratta di numeri che danno un'idea solo parziale dell'apporto dell'Istituto al sistema Universitario giacché non indicano né l'apporto per le attività di ricerca al personale Universitario associato all'Istituto (circa 3500 persone) né il fondamentale contributo "in kind" che l'Istituto naturalmente corrisponde al sistema universitario.

**L'INFN collabora con CNR e ELETTRA allo sviluppo delle Infrastrutture di Ricerca (IR)** europee nell'ambito del programma ESFRI. Le IR sono basate su acceleratori di elettroni che alimentano sorgenti di raggi X da sincrotrone o da free electron laser (facility **ESRF**, **EuroFEL** e **XFEL**) o sorgenti di impulsi ultrabrevi, ultraintensi (facility **ELI**). Una seconda categoria di IR è basata su acceleratori di ioni (protoni) che alimentano sorgenti di spallazione di neutroni (**ESS-European Spallation Source**). 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 attivamente alla costruzione delle IR, attraverso la fornitura di componentistica e strumentazione ad alta tecnologia.

INFN dal 2013 partecipa alla realizzazione di **SESAME** (Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East), che costituirà il più importante centro di ricerca internazionale del Medio Oriente. Inoltre a INFN è stato affidato lo studio di fattibilità di IGNITOR, un reattore sperimentale a fusione nucleare, oggetto di un accordo bilaterale Italia-Russia.

La trasformazione di significative grandi infrastrutture di ricerca nazionali in **ERIC** (European Research Infrastructure Consortium) è vista con grande interesse sia dai nostri Ministeri (MIUR e MAE) che dall'INFN. Accanto ad indubbie facilitazioni di ordine pratico (esenzione IVA, regole europee per procurements e contratti), riteniamo vi sia un grande valore e potenziale nell'apertura di alcune nostre grandi IR nel quadro del vasto ed interessante Spazio della Ricerca Europea. In particolare, come già prima menzionato, l'Ente, con il forte supporto del MIUR, sta perseguendo questa finalità per due IR, LNGS ed EGO-Virgo. Per quanto concerne LNGS, per poter ospitare nuovi grandi progetti di terza generazione per la ricerca sia di materia oscura che del doppio decadimento beta senza neutrini e per poter essere sede di una rilevante facility per l'intera Europa per la crescita di cristalli ultrapuri, è auspicabile che LNGS possa compiere il salto da laboratorio nazionale a IR di tipo internazionale, in particolare secondo la modalità offerta dagli ERIC. Olanda, Germania, Francia, Spagna, oltre che altri paesi quali Ungheria e Svezia, hanno manifestato interesse in tale ERIC. Il secondo ERIC su cui da tempo stiamo lavorando concerne la creazione di un Osservatorio Europeo per lo studio delle Onde Gravitazionali, ERIC EGO (European Gravitational Observatory). Non c'è dubbio che la recente scoperta delle onde gravitazionali ha

messo ancor più in evidenza la rilevanza e l'urgenza di procedere in modo compatto in Europa verso una grande IR paneuropea, eventualmente multi-sito, dedicata alla neonata astronomia gravitazionale. La nostra IR Virgo a Cascina dovrà costituire naturalmente almeno uno dei siti di tale Osservatorio che potrà prevedere anche la presenza di un grande interferometro sotterraneo (ET – Einstein Telescope). L'iniziativa di questo ERIC è sostenuta da Italia, Francia, Germania, Olanda, Spagna, UK e Ungheria. Inoltre, l'INFN sostiene l'iniziativa capitanata dall'Olanda di dar vita a un ERIC, relativo alla costituzione di una grande stazione sottomarina distribuita in Europa, basato sul progetto KM3NeT. Infine, l'INFN gioca un ruolo importante in un ERIC già esistente ed operante dal 2015, l'European Spallation Source ERIC, un'IR multi-disciplinare in Svezia che fa uso della più potente sorgente di neutroni al mondo. L'Italia è tra i soci fondatori dell'ESS ERIC che conta, al momento, ben 12 paesi europei (destinati a divenire 15 in un prossimo futuro).

L'impegno dell'Istituto sui **fondi strutturali** rimane costante, ricordando anche che il nostro Ente ha avuto e continua ad avere un ruolo attivo di ausilio ad Autorità nazionali e regionali nello studio delle strategie e delle politiche per alcuni Programmi Operativi della nuova programmazione. La diffusione capillare delle strutture INFN nel nostro Paese rappresenta un punto di forza del sistema socio-economico attraverso cui accrescere il potenziale di ricerca e innovazione presente nei vari territori, nel rispetto della peculiarità di ciascuno di essi e dunque delle strategie espresse nella Smart Specialisation Strategy (S3). Sui PON Smart Cities e su alcuni POR regionali finanziati in ambito FSE e FESR l'Istituto ha ottenuto risultati di grande rilievo sia per progetti in appoggio ad una migliore gestione delle amministrazioni locali sia per la connessione con le imprese, anche attraverso numerose azioni di formazione direttamente connesse alle necessità del mondo produttivo. Attraverso questi canali, naturalmente, l'INFN apre anche nuovi flussi di finanziamento che, seppure in settori indirizzati, fanno da complemento all'erogazione ordinaria del MIUR e dimostrano la capacità dell'Ente di attrarre risorse esterne. Nel campo del Programma Operativo Nazionale (PON) vanno ricordate ad esempio oltre alla già citata iniziativa KM3NeT, **RECAS** e **PRISMA** per le infrastrutture di calcolo, **NAFASSY** per test di manufatti che utilizzano tecnologie superconduttive. Nei contesti regionali e locali (Programma Operativo Regionale e assimilabili) l'azione dell'Istituto è diretta a garantire la collocazione di un determinato territorio in collegamenti (network) di valore internazionale, che è un asset fondamentale dell'Ente. Inoltre nuovi settori di R&S tecnologici potranno dare vita, in un prossimo futuro, a nuovi cluster tecnologici (anche di tipo **cross-cluster**). Tutto ciò sposa la strategia di Europa 2020 e dunque il nuovo programma europeo di finanziamento della ricerca. In effetti, l'approccio innovativo che l'Unione Europea ha adottato per il finanziamento della Ricerca e dell'Innovazione nel settennio 2014-2020, prevede il coordinamento di diversi strumenti e, in primis, il coordinamento tra le iniziative del Programma Horizon2020 e quelle dei Fondi Strutturali e di Investimento europei. I pilastri di H2020 hanno priorità e finalità in linea con gli obiettivi prefissi ed il bagaglio di conoscenze proprie dell'INFN, sia dal punto di vista delle strategie sia per quanto riguarda azioni specifiche. Gli sforzi e gli interessi dei ricercatori INFN si concentrano principalmente nel primo pilastro, Excellent Science, che, con la presenza di azioni principalmente bottom-up, lasciano spazio a progetti scientifici di frontiera in linea con la missione e bagaglio di conoscenze dell'Istituto. Tuttavia, anche gli altri due pilastri, Industrial Leadership e Societal Challenges, meritano una menzione, in quanto la storia dell'INFN è costellata di storie di successo legate alla cooperazione industriale (per esempio nella costruzione dei rivelatori di LHC o delle infrastrutture di calcolo) o alle ricadute nella società civile (ad esempio nel settore delle scienze biomediche).

## LE ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE DELL'INFN

Le principali attività di terza missione dell'Ente riguardano l'alta formazione, la divulgazione e le attività di trasferimento tecnologico.

L'INFN gioca da sempre un ruolo importante nell'**Alta Formazione** (AF) in Italia. Un gran numero di ricercatori e tecnologi (oltre 200) partecipano direttamente alle attività formative nell'Università con il regolare affidamento di corsi ed un numero molto maggiore svolge attività di tutoraggio a vari livelli. Circa il 40% del totale degli studenti italiani in fisica fa ricerca in progetti finanziati in parte o completamente dall'INFN. L'Ente eroga ogni anno più di duecento nuove borse di studio per l'alta formazione. In particolare circa 50 borse sono assegnate alle singole Scuole di Dottorato senza restrizione sul tema, e circa centocinquanta assegni di ricerca sono banditi annualmente sia dall'INFN che in cofinanziamento con l'Università. Inoltre 34 borse post-PhD vengono bandite per attrarre giovani ricercatori stranieri. L'INFN sostiene direttamente la ricerca di dottorandi, laureandi e post-doc associandoli alle sue attività (in media 590 dottorandi e 500 post-doc ogni anno). L'INFN organizza, da solo o in consorzio con Università, vari Masters (tipicamente 4 o 5 per anno), seminari e scuole di aggiornamento nel campo della fisica nucleare e subnucleare (annualmente circa 700 partecipanti tra italiani e stranieri), e corsi di formazione diretti a specialisti di settori dove trovano applicazione tecniche di fisica avanzata, nonché corsi di aggiornamento per docenti delle scuole secondarie.

L'INFN compie da sempre un grande sforzo di **divulgazione** delle sue attività e delle sue scoperte rivolgendosi al pubblico in generale ed agli studenti delle scuole in particolare. Un esempio ne è il progetto EEE - Extreme Energy Events - che, in collaborazione con il Centro Fermi, realizza un network di studenti che compiono osservazioni originali sui raggi cosmici. Altro esempio è l'iniziativa, in risposta ad un bisogno di reagire al fenomeno dell'abbandono scolastico, di far partire percorsi di tirocinio presso i propri laboratori, che coinvolgono sia il personale ricercatore e tecnologo che il personale tecnico ed amministrativo. Inoltre, da molti anni l'INFN organizza corsi di aggiornamento per docenti delle scuole secondarie, con l'obiettivo di divulgare i più recenti sviluppi della fisica delle interazioni fondamentali. Tra questi, gli "Incontri di Fisica" di Frascati (nel 2016 alla sedicesima edizione) raccolgono circa 200 docenti provenienti da tutta Italia.

Nei **rapporti con i media** l'INFN si è consolidato come un'importante fonte di informazione e un punto di riferimento per i giornalisti scientifici italiani e le agenzie di stampa. L'INFN conduce progetti a livello nazionale coordinati dal proprio Ufficio Comunicazione e a livello locale dalle singole strutture presenti sul territorio. Pubblica una rivista dedicata agli insegnanti, **Asimmetrie**, al fine di offrire loro uno strumento di approfondimento e da utilizzare per fini didattici. Promuove **conferenze pubbliche, spettacoli** in collaborazione con artisti, **mostre** per parlare di scienza in modo suggestivo e coinvolgente. Ha curato cicli di **trasmissioni televisive** su canali *educational* nazionali, e gestisce un sito interattivo, **ScienzaPerTutti**, al quale gli studenti e quanti interessati al settore possono rivolgersi. Inoltre l'INFN aderisce alle grandi e tradizionali iniziative internazionali di **disseminazione al grande pubblico**: dalla "Notte Europea dei Ricercatori", alla "Settimana della Cultura Scientifica". Infine, l'INFN **apre le porte delle proprie strutture al pubblico**, accompagnandolo nella visita e facilitando l'avvicinamento anche ai temi più complessi con laboratori, seminari divulgativi e iniziative varie. Le attività di comunicazione dell'INFN costituiscono uno strumento di "continuous education" a disposizione della società italiana. Lo testimoniano anche il progetto didattico **Masterclass** a cui ogni anno partecipano circa 2000 studenti sparsi in tutta Italia. che si svolge in quasi tutte le sezioni INFN e che nel 2015 è risultato vincitore del bando di diffusione della cultura scientifica della legge 6/2000 del MIUR.

Gli alti livelli d'innovazione e di capacità di realizzazione sono la base della **forza tecnologica dell'Ente**, attraverso la promozione della ricerca su dispositivi, materiali, tecniche e processi mirati alla sua attività sperimentale. Allo stesso tempo alcuni di questi sviluppi, in origine stimolati dalle necessità di costruzione degli apparati sperimentali, possono successivamente trovare una nuova vita sul fronte delle **ricerche interdisciplinari**, a volte in modo rivoluzionario. Queste tecnologie spesso non fanno parte del know-how industriale e richiedono soluzioni innovative. In questo processo continuo il ruolo del **trasferimento tecnologico** è, in primis, quello di valorizzare idee e tecniche innovative che nascono nell'ambito della ricerca di base e, successivamente, di facilitare/catalizzare i processi che guidano lo scambio di conoscenza fra mondo della ricerca e mondo delle imprese così consentendo alle nuove tecnologie di tradursi in beni e servizi fruibili dalla collettività.

L'obiettivo del trasferimento tecnologico dell'INFN è quello di proseguire un cammino basato sull'esperienza positiva e decennale di **collaborazioni con imprese partners** di esperimenti nazionali e internazionali, strutturando e implementando tale approccio. Il Comitato Nazionale di Trasferimento Tecnologico (**CNTT**) è l'organo preposto al coordinamento delle attività di TT. Il Comitato è supportato operativamente dall'**Ufficio di Trasferimento Tecnologico** che cura aspetti amministrativi e di sostegno operativo ai ricercatori. L'Ufficio TT è stato potenziato con risorse umane qualificate che coprono i diversi profili di competenza (giuridico/brevettuale, economico, tecnologico) propri di un settore con forti caratteristiche d'interdisciplinarietà.

La formulazione di **specifici regolamenti** ha dato il primo contributo allo sviluppo delle attività di trasferimento tecnologico stabilendo un set di regole sulle modalità di valorizzazione della ricerca dell'Istituto. L'INFN è attualmente impegnato su due grandi progetti di ricerca e trasferimento tecnologico da realizzare nelle regioni Abruzzo e Sardegna, rispettivamente DarkSide-20k@Abruzzo e Aria. I due progetti prevedono un impegno triennale per mettere a punto dei dimostratori necessari a rendere l'esperimento DarkSide-20k competitivo a livello internazionale e una fase successiva di sviluppo industriale in collaborazione con aziende altamente competitive. Il progetto Aria consiste nella costruzione di un apparato per la separazione di grandi quantità di isotopi stabili (non radioattivi) di argon ed ossigeno. L'apparato consiste di una torre di distillazione criogenica dell'altezza di 350 metri, da collocarsi nel pozzo di Seruci della miniera della Carbosulcis S.p.A. L'investimento capitale nel progetto Aria permetterà di verificare la possibilità di utilizzo della tecnologia introdotta per la partenza di un ciclo industriale di produzione di isotopi stabili arricchiti. Ad oggi, non esistono apparati di produzione di isotopi stabili nella comunità europea. L'implementazione del progetto scientifico DarkSide-20k richiede la costruzione di una nuova Infrastruttura Industriale di Ricerca per l'assemblaggio di fotosensori al silicio, parte integrante dei LNGS che, a completamento del progetto, potrà costituire un nucleo per nuove realtà produttive (Start-Up).

Un aspetto interessante del trasferimento tecnologico, fa riferimento all'attività di trasferimento di conoscenza e di tecnologia nell'assegnazione di forniture o commesse. Un progetto pilota iniziato nel 2015 e tutt'ora in corso, ha infatti messo in luce, che le aziende legate all'INFN da un semplice rapporto di fornitura high-tech beneficiano del trasferimento di conoscenze derivante da questa collaborazione, producendo una serie di impatti positivi (per esempio come miglioramento dell'immagine, sviluppo di nuovi prodotti, acquisizione di nuovi clienti ed ingresso in nuovi mercati). Tradizionalmente questo tipo di rapporti è avvenuto senza formalizzazione del riconoscimento della proprietà intellettuale dell'INFN. Solo recentemente la consapevolezza che dall'assegnazione di forniture o commesse derivano alcuni benefici per le aziende, ha portato all'elaborazione di meccanismi che rendano conto di questo trasferimento di know-how. Si tratta, ad esempio di

formalizzare queste attività attraverso, per esempio, CRADA (Cooperative Research And Development Agreement), NDA (Non Disclosure Agreement).

Il **sito web** dell'Ufficio TT è stato sviluppato con l'obiettivo di farne un portale interattivo dove gli stakeholders dell'INFN (ricercatori, imprese, altre istituzioni interessate) possono accedere ai servizi di trasferimento tecnologico messi a disposizione dall'Istituto: ad esempio il sito è strumento di dialogo con i ricercatori (modulistica, assistenza brevetti e spin off) e con le imprese (ricerca di tecnologie, ricerca di collaborazioni, ricerca di servizi o strumentazione di alta tecnologia, etc.). Inoltre è stato realizzato un database delle infrastrutture e della strumentazione che ogni Laboratorio/Sezione possiede per facilitare la richiesta di **servizi di conto terzi** da parte delle imprese.

Non meno importanti sono state l'organizzazione e la formazione dei referenti locali che si occupano della sensibilizzazione della rete scientifica e forniscono le prime risposte al ricercatore che si presenta con un quesito sulla valorizzazione della propria ricerca. A partire dal settembre 2012 si tengono incontri periodici (tipicamente ogni due mesi) ai quali partecipano i referenti locali del TT e i membri del CNTT. La formazione è considerata un momento di comunicazione e condivisione delle linee guida del TT e un momento di aggregazione e feed-back rispetto ai risultati raggiunti.

Conseguentemente a ciò, si è registrato un forte incremento delle iniziative di ricerca collaborativa e in conto terzi condotte con l'impresa, di protezione e valorizzazione della proprietà intellettuale e delle attività a supporto della creazione di **spin-off companies**.

## **VALUTAZIONE DELL'ENTE**

L'INFN è sempre stato focalizzato nel controllo dei propri programmi di ricerca, grazie all'esistenza di diverse strutture che eseguono la **valutazione ex-ante, in itinere ed ex-post** di esperimenti e iniziative. Oltre alle Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), che hanno un ruolo in tutte le fasi dei progetti, il **Consiglio Tecnico Scientifico (CTS)** 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, con l'eccezione del suo presidente. Il CTS valuta la congruità delle risorse umane e finanziarie e l'adeguatezza delle infrastrutture per i 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 dall'INFN, costituito da esperti internazionali, sia nei campi dove l'Istituto conduce le proprie attività di ricerca, sia in settori che sono interessati o connessi a tali attività, come quello industriale e produttivo o più in generale quello economico. **Nessun ricercatore**, dipendente o associato, **INFN**, è componente del CVI. Il CVI redige annualmente un rapporto sulla qualità della ricerca INFN in cui fornisce anche indicazioni e raccomandazioni per migliorarne la performance globale. Tale rapporto è inviato dall'INFN al MIUR allegato al Piano Triennale.

Dopo l'ottimo risultato riportato dall'ente nella Valutazione Qualità della Ricerca (VQR) 2004-2010, nei risultati della VQR pubblicati nel febbraio 2017 da ANVUR ([www.anvur.it](http://www.anvur.it)), l'INFN ha visto un miglioramento di tutti i suoi indicatori, risultando primo tra i grandi Enti sia se si considera il voto medio dei prodotti presentati (0.89) che la frazione di prodotti eccellenti sul totale (90.51%).

# Report to the President of the INFN

## Il Comitato di Valutazione Internazionale (CVI)

N. Amodio, Confindustria, Italy; M. Bosman, IFAE, Barcelona, Spain;  
K. Ellis, Univ of Durham; M.N. Harakeh, KVI-CART, Groningen, Netherlands;  
A. J. S. Smith, Princeton University, USA (chair); C. Spiering, DESY, Germany;  
and E. Zaninotto, Università di Trento, Italy

**November, 2017**

### *Introduction and General Comments*

The CVI met this year from the 9<sup>th</sup> through the 11<sup>th</sup> of October at the Laboratori Nazionali di Frascati. In preparation for the meeting, INFN management provided us with the annual report of the Gruppi di Lavoro per la Valutazione (GLV), which surveyed the INFN programmes, and served as reference for our evaluation of the accomplishments of the National Scientific Commissions (CSN's), Technology Transfer group, and National Laboratories. We express our thanks to INFN central management and programme leaders for addressing our recommendations from 2016, and to LNF Director Pierluigi Campana and his staff for their outstanding hospitality and support for the meeting. We also wish to thank INFN for explicitly addressing our recommendations, and their positive response to our requests and suggestions from last year. The meeting agenda, a list of our recommendations, and a set of requests and suggestions for next year's GLV report are attached as appendices.

This is the year of Gravitational Waves, and the highly successful turn-on of Virgo has established an essential foothold for INFN in one of the most exciting areas of all science. Integrated with the two LIGO interferometers in the US, Virgo provided the essential new information to promptly locate the region in space where two neutron stars were colliding, enabling optical and radio telescopes around the world and in space to contribute to the first-ever observation of this extraordinary phenomenon. The new field of Gravitational Wave Astronomy is now "open for business!"

We were pleased to learn that INFN has hired 73 high-quality young researchers this year (15 in theory), who under a new unusual strategy were able to choose where to accept their positions. The yield varied among institutes: those affiliated with universities largely had a successful yield, but some of the National Laboratories did not fare as well. This year's experience will form a useful basis for tuning next year's competition. We discuss this and other human-resources matters in a section below.

For yet another year the budget situation remains quite good on the short term, with a 230M€ base budget along with 30M€ International, and 30M€ for premium projects where INFN is doing very well compared to other countries. Several other "one-shots" will also be of great help: DLHC magnet R&D, Aria, RFQ for Uffizi, and the closing of IGNITOR, which could free up >12M€

The 2016 CVI report covered Technology Transfer, Outreach and Third Mission in great detail, as well as the major management changes in the National Laboratories, particularly LNGS.

Therefore, they will not be mentioned in this year's report. However, we note that INFN continues to find technology transfer to be a challenge. This is a continuing issue not specific to INFN, but we think INFN would benefit by reaching out more proactively to other relevant entities.

**Recommendation:**

**General 1.** As we have already stressed in previous reports, INFN should improve its efforts on Technology Transfer, in collaboration with the national networks of industry organisations, to reach a larger number of enterprises and to participate in common initiatives meant to improve the R&I system.

***Central Administration***

During the past year public research entities have come under pressure to take on additional administrative duties, increasing the complexity of the organisation. INFN responded by appointing a highly-qualified Director General to deal with administrative affairs and to work out a programme aimed at updating administrative systems. The new director presented a well-designed plan of actions at the 2016 CVI meeting that garnered our strong support. Over the past year, actions aimed at increasing the efficiency of the administration have been executed and progress has taken place but at a lower than expected pace. Good results have been achieved in some fields, like internal accounting and procurement, and a clear organisational design of administration has been devised. However, larger projects have been impaired by both external constraints (laws and public regulations; difficulty to hire IT people), and internal resistance.

As examples of external constraints, INFN had to adapt its accounting and other procedures to several newfangled regulations introduced by national law in public administrations, like VAT split payment and new purchasing procedures, which absorb resources, and make it difficult to share solutions and software with other research institutions. For example, Public Universities – differently from INFN – have accounting systems based on asset-liability and income statements. To improve the situation INFN should make an effort together with other funding agencies to influence National regulations aiming at updating accounting systems and sharing solutions.

To overcome internal resistance, we suggest that INFN focus on smaller projects aimed at solving specific problems without increasing the bureaucratic burden, such as new organisational rules, standardisation of procedures, and streamlining of workflow. We suggest INFN should “unpack” the process of administration and organisational change, isolating a few projects that can quickly improve INFN administration. Such pilot projects should convince the research community that real improvements can be obtained, and could help overcome scientists' fears of a loss of autonomy and flexibility. Indeed, a definite goal should be to demonstrate that well-designed administrative rules and an efficient organisation could facilitate good science, which must maintain pre-eminence. Given the limited availability of human resources, and the difficulty to hire Information System people in administration, outsourcing of non-strategic activities (e.g., payroll system) should be also considered.

**Recommendations:**

**CA-1.** The re-organisation of the “Federal” INFN system should proceed with a pilot project chosen to demonstrate that scientific work can take advantage of streamlined administration.

**CA-2.** We propose again our recommendation from the 2016 CVI Report: “The administrative reorganisation should focus first upon ‘low-hanging fruit’, to realise quick improvement and remediate urgent problems and weaknesses, and thereby gain support for future actions.”

**CA-3** (repeated from last year). INFN should explore possibilities for collaboration with other institutions in reforming and optimising the administrations.

## ***Human Resources***

INFN is facing several issues on personnel management: First, INFN has to conform to existing norms on workers of legally protected status, which implies hiring 100 disabled people. For this purpose INFN is implementing HR solutions to accomplish this, for the most part by allocating positions among Administration, Technicians, Engineers and Researchers.

Second, a new law requires awarding permanent positions without competition to temporary contract people who have worked 3 out of the last 8 years. This seems easily achieved for technical and administrative staff, while it can be difficult to allocate permanent positions in engineering and research to people who were hired only for a time span and with expertise related to specific projects.

A third class of problems derives from INFN’s competition with universities, which have the possibility, foreclosed to INFN, to directly hire ERC grant winners on permanent positions.

Fourth, following the recent internally established rule to allocate newly hired researchers according to a “free choice” competitive selection, there is a risk that peripheral laboratories and research centres will be understaffed, so it is important to consider the potentially deleterious effect on less attractive labs and centres, and ways to mitigate it.

As a final problem, gender balance is worsening, despite the articulated positive actions put in place in the past (and praised in CVI’s previous reports). After a long lasting effort, actions directed to promote the presence of women in physics should be reconsidered “*ab initio*.”

All this highlights the increasing importance of career management. We urge INFN to pay attention to all these issues. It seems particularly important to promote internal mobility, also making use of incentives and tools that help matching competences and needs.

### **Recommendations:**

**HR-1.** INFN must monitor the new mechanisms for competitive selections and applicant choice of institutes, to identify and mitigate any negative unforeseen effects.

**HR-2.** INFN should consider experimenting with internal matching mechanism and use incentives to promote internal mobility.

**HR-3.** New approaches to gender issues should be explored, based on careful study of women’s access to scientific careers.

## ***CSN1 – Accelerator-based Particle Physics***

CSN1 coordinates INFN particle physics activities at accelerators and R&D for future projects. It is a large sector with 803 assigned FTEs, a 1.6% increase compared to the previous year, the same trend being expected next year. An additional 20 FTEs work on related detector and electronics

development in CSN5 or other grants. We congratulate CSN1 for attracting 28 out of the 58 new INFN experimental researchers selected in the recent hiring competition. This alleviates the tendency of increasing average age of INFN researchers observed in the previous years. About 70% of FTEs work on LHC. In addition, there is a good portfolio of experiments at LNF and various international laboratories. The scientific programme spans hadronic and flavour physics, complemented by charged lepton physics, proton structure and R&D for future applications. Most experiments are in data-taking mode. Significant progress in detector construction, upgrades and R&D towards future experiments was also achieved during last year. Some of the highlights are described below.

The integrated luminosity delivered by the LHC machine at 13 TeV in 2016 was 60% higher than anticipated, stressing somewhat the trigger and computing resources. After a successful p-Pb run and an Extended Year End Technical Stop (EYETS), a new peak luminosity record of  $1.75 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in p-p collisions was achieved in August 2017. ATLAS, CMS, and LHCb are in smooth data-taking mode, and the smaller experiments, LHCf and TOTEM, also collected valuable data. Because of the abundance of data, the experiments were able to produce new results with unprecedented sensitivity and precision; for example, ATLAS and CMS have improved the experimental precision of the Standard Model Higgs boson properties by a factor two, approaching the theoretical uncertainty. LHCb is producing many important new results in flavour physics, while LHCf and Totem are probing uncharted territory.

The LHC experiments are pursuing their ambitious upgrade plans, with ATLAS and CMS Phase-1 and LHCb upgrades well underway, pushing to keep up with the tight schedule. The R&D for High-Luminosity Phase-2 is coming to an end, and all but one or two Technical Design Reports (TDRs) are expected by end of 2017. The review of the TDRs and the “Money-Matrices” for the Phase 2 upgrades should converge by April 2018. The current total INFN contribution to HL-LHC Phase-2 upgrade Core Cost is 35 M€

The INFN contributions to different subdetectors in each experiment are presently being discussed and will be reviewed both by CSN1 referees and by the Comitato Tecnico-Scientifico (CTS), to be finalised by the end of next year. With a core cost of 35 M€, the corresponding total cost is 50 M€ including cost of pre-prototyping, infrastructure upgrade, hired personal and an additional 20% contingency. The money is to be spent in around 9 years and does not include computing. We support the view that building prototypes is the essential next step before starting construction.

The experiments KLOE2 (LNF), BESIII (BEPC), COMPASS (CERN) and NA62 (CERN) are taking data. KLOE2 is well on track to achieve the goal of collecting  $5 \text{ fb}^{-1}$  of data before closing in March 2018, with several analyses ongoing in the kaon and hadron sector. BESIII produces charm quark and tau lepton physics results; COMPASS studies new aspects of the proton structure; and NA62 collected a large sample of  $K^+$  decays with the beam intensity now at 60% of nominal. BESIII and COMPASS are also preparing for an upgrade.

The g-2 experiment (FNAL) has just started data taking. BELLE2 (SuperKEKb) is ready to take data. MEG (PSI) and PADME (LNF) and Mu2e (FNAL) are moving ahead with construction. SHIP and MuONE are new proposed experiments still in the test beam phase.

We are happy to support CSN1’s plans to contribute to the update of the EU Strategy by 2019-20 and the related R&D programme on Future Accelerators (RD\_FA). The activities so far include

detector R&D (like the  $\mu$ -RWELL detectors), high-energy beam steering with crystals (first tests were done in UA9, and INFN hosts the CRYSBREAM ERC consolidator grant) and acceleration techniques, including a new idea for a Low Emittance Muon Accelerator. INFN will contribute to the CepC and FCC CDR planned by next year.

We congratulate CSN1 for its rich and diverse programme and steady production of important results. We appreciate the effort made to develop useful indicators of the quality and volume of the INFN researchers in large international collaborations. All indicators of scientific productivity and visibility of INFN researchers are excellent and the trend is maintained across the years.

### **Recommendations:**

**CSN1-1.** We encourage CSN1 to play a significant role in the preparation of the upgrade of the European Strategy for particle physics.

### ***CSN2 – Astroparticle Physics***

2017 was extremely successful and rich for CSN2, and accordingly the contributing scientists deserve appreciation and congratulations! The most spectacular success is the detection of gravitational waves, including the successful entry of Virgo on the world scene. Even though Virgo's sensitivity is still behind that of LIGO, there seems to be a deficit of resources to quickly keep up. Other highlights of this year include the record limits from GERDA on neutrino-less Double Beta Decay and from XENON1T on dark matter cross sections, the demonstration of a strong extragalactic component of the cosmic ray flux at highest energies by the Pierre Auger Observatory, the detection of a multitude of sources by the MAGIC telescope, and precision measurements of solar neutrinos with Borexino indicating a high metallicity of the Sun.

An impressive, broad programme to detect low-energy photons from space is under preparation, ranging from the study of the Cosmic Microwave Background to MeV-photons with the eAstrogram satellite. This will need careful time staggering of resources. We welcome that Auger-prime is under construction and that the INFN participation in LHAASO and JEM-Euso was terminated.

KM3NeT reports a mixture of successes and problems. At the KM3NeT ARCA site in Italy the junction box has failed and the remaining 2 Detection Units (DUs) could not be read out, resulting in the need for a thorough Technical Review of the project. The plan is to deploy the 24 DUs of Phase-1/Italy until in spring 2019. A project manager from industry was hired and the fabrication and assembly of basic underwater components is outsourced to expert industry. At the ORCA site in France, after lengthy troubles with the shore cable have been solved, a first DU (assembled in Italy) was deployed and is now taking data. Finally, with the participation in T2K, SOX, DUNE, the Fermilab short baseline programme, JUNO and ORCA, there is a rich programme on neutrino-oscillation physics that reflects the great Italian traditions in this field.

In spite of problems KM3NeT will define a main pillar of astroparticle physics in Italy with high discovery potential. *INFN should continue to support the project, and the technical progress towards full deployment of Phase-1 should be carefully and continuously monitored.*

We now make several comments on the CSN2 programme. First, we urge that Virgo must keep-up as soon as possible with LIGO, to be – at least for distant objects – more than just the third antenna for better direction measurement. That will need additional resources. Second, DarkSide 20 (20 ton LAr detector) has to be realised in time not to be beaten by future larger detectors. *Accordingly, DarkSide should continue with high priority* to a) have clearly the best sensitivity when it starts data taking and b) to pave the way to the >100-ton scale.

Going further, because cost of experiments at the > 100-ton scale can only be realised with argon, not xenon. The step from 50 kg to 20 tons, larger than for any previous Dark Matter technology, is a big challenge that will require careful oversight from INFN and LNGS. Third, the future of high-energy CR physics depends critically on the outcome of Auger-prime. Only 70% of the resources to equip all tanks with scintillators are secured. Although a smaller array means longer operation this should not prevent a swift construction. And finally, KM3NeT is not yet “out of the woods.” The first ORCA strings will provide a better understanding of the DUs themselves. The floor components (Junction Box) at the ARCA site can be only tested there.

#### **Recommendations:**

**CSN2-1.** INFN should strongly support a further upgrade of Virgo, with the goal to quickly approach a similar sensitivity to that of the LIGO antennas.

### ***CSN3 – Nuclear Physics***

Over the past year, CSN3 has continued to make progress in all its lines of research. In particular, the sector **Quarks and Hadron Physics** is strongly involved in the JLAB activities, contributing to building equipment for and commissioning the upgraded CEBAF facility at JLAB. Experiments with the upgraded 12 GeV facility are planned in the spring of 2018, and ground-breaking results are expected in understanding the structure of the nucleon and a few other topics in the regime of non-perturbative QCD. Meanwhile, the Collaboration has been busy analysing data taken in measurements using electromagnetic probes at different energies at MAMI (Mainz), ELSA (Bonn), JLab (USA) as well as in the experiments KAONNIS at LNF (Frascati) and ULYSSES at KEK (Japan). Furthermore, together with colleagues in CSN1 the collaboration is participating in a feasibility study of an electron-ion collider to be constructed in the next decade at JLAB or Brookhaven.

The section studying **Phase Transition in Hadronic Matter** had an intensive year of data analysis finishing the analysis and publishing the data from ALICE of Run-1 and starting the analysis of Run-2 for Pb-Pb collisions at 5.02 TeV, *p*-Pb collisions at 8 TeV and *p*-*p* collisions at 13 TeV. Many papers have been published and many contributions (talks and posters) were presented at the Quark Matter conference in February 2017. Interestingly, the ALICE programme is now facing competition from other LHC experiments (ATLAS, CMS and LHCb), which have become interested in heavy-ion physics, putting pressure to publish results soon.

To pursue its nuclear structure studies, in particular gamma-ray spectroscopy, at national and international research facilities the **Nuclear Structure and Reaction Dynamics** section formed a collaboration around experiment GAMMA, involving about 50 physicists and 20 engineers from 6 INFN units. The experiments involve the use of Ge detector arrays coupled to complementary

scintillation detectors such as BaF<sub>2</sub> and LaBr<sub>3</sub>. We endorse this coherent concentration of efforts and the efficient pooling of experimental resources, which make Italian groups internationally visible and influential. Interesting results have been obtained on the spectroscopy and nuclear structure of neutron-rich and neutron-deficient nuclei, and in particular with the AGATA campaign at GANIL. Progress has also been made in research programmes at LNS and LNL (see sections on LNL and LNS).

The **Nuclear Astrophysics and Interdisciplinary Research** section has made progress in preparation of the LUNA-MV (LUNA3) facility. We were pleased to see that CSN3 addressed the questions raised in last year's meeting regarding LUNA3 satisfactorily by involving external groups, in some cases new ones, in the research programme. A workshop was organised to bring all interested international scientists together to form a collaboration, resulting in plans by INFN to formalise the collaboration via an MoU. Furthermore an important letter of intent has been submitted by M. Wiescher of Notre Dame University. We also note that exciting results were obtained by n\_TOF and **AEGIS** collaborations. The first measured the <sup>7</sup>Be(*n*, $\alpha$ ) reaction in the energy region of 0.02-10 keV, which is crucial for the cosmological lithium problem, and the second deduced the antiproton-to-electron mass ratio with a precision of 10<sup>-9</sup> from the spectroscopy of anti-protonic helium atoms. These results appeared in Phys. Rev. Lett. (Editor's Suggestion) and in Science, respectively. The FTE's working in this section more than doubled in the course of a few years whereas the other sections either remained constant or decreased slightly.

During the presentation it was mentioned that the Foot (nuclear fragmentation) Experiment, which aims at nuclear physics applications in radioprotection and measuring nuclear fragmentation for particle therapy, has been approved and financed. On the other hand, the novel PANDORA experimental programme, a joint activity of CSN3 and CSN5 that advocates the use of plasmas in study of nuclear astrophysics processes among others, awaits results from CSN5 experiments before embarking on full investigation of beta-decay rates in plasmas that simulate nuclear decay rates in stellar conditions.

We note with satisfaction the CSN3 successes on different fronts for all four pillars and congratulate CSN3 on awards, important positions taken by its members in national and international organisations, success in obtaining European (including ERC grants) and national funding and the high productivity, e.g., many publications in high-impact journals, and visibility through invited talks.

**Recommendation:**

**CSN3-1.** CSN3 scientists should work together with other European groups and funding agencies to realise the 1 $\pi$  solid angle configuration of the AGATA detector array.

## ***CSN4 – Theory***

INFN continues to provide strong support for theoretical physics, preserving a legacy in Italian theoretical nuclear physics that began almost a century ago. The CSN4 remains a vibrant, active enterprise covering a broad spectrum of theoretical physics that is the envy of other European countries. This strong positive conclusion is supported also by bibliometric data. INFN deserves

great credit for the way it has steadily supported theoretical physics over the years. In this field the Italian school has long been one of the best in the world and it is important to foster this excellence. Every indicator this year testifies that this is the case: number of researchers, funding, number of publications and impact factor.

The composition of the CSN4 collaborators is as follows: INFN Staff (11%), University Staff (49%), PhD students (20%) and Post-docs (18%). The research covers six different lines of scientific enquiry: String and Field Theory, Particle Phenomenology, Hadronic and Nuclear Physics, Mathematical Methods, Astroparticle Physics and Cosmology, and Statistical and Applied Field Theory. However, the field of theoretical physics continues to evolve and the composition and weight of the various scientific lines is evolving accordingly. It will be important to monitor whether these lines of enquiry are well-matched with the updated goals of the INFN.

Post-doctoral fellowships ensure the future of the field, so we are pleased to note that INFN provided 15 post-doctoral fellowships which started in 2016 and 14 in 2017. The positions offered by INFN command a healthy number of applicants, and in many cases lead to future employment in High Energy Physics (HEP). Post-docs are funded by the INFN as just described, and also through the University system by various methods. Using the statistics presented above, the number of post-docs per member of University staff would seem to be about 1/3, which seems low by the standards of some other countries.

We are concerned that the Theory group at LNF is very small, and, we were told, lacks coherence. A strong theory group would contribute to the intellectual atmosphere at the laboratory, so addressing this issue will be increasingly important as the active experimentation in HEP decreases at LNF.

**Recommendation:**

**CSN4-1.** In association with the Lab director, the INFN should plan for the success of the LNF theory group.

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

CSN5 operates with a clear mission: to fund and monitor advanced technological research for INFN “core” experimental activities; to promote the application of instruments, methods and techniques developed for fundamental physics to other fields; and to coordinate researchers from different scientific areas, thus strengthening the link of INFN with University and other national research institutes (CNR, IIT, ASI, INAF, INGV, INRIM). Since 2013 CNS5 has adopted a specific funding method, “Calls of proposals”, to support projects of excellence from young researchers in the framework of the INFN R&D technological activity. We support this new funding scheme and underline its good capability to gain external funds.

CSN5 leadership pays great attention to resources: gain, attract and use. We congratulate them for the great activity and good results, and appreciate the attention paid to define strong links with other scientific committees, the academic world, and other scientific institutions, and to support work on items of great common interest.

We welcome CNS5’s determination to improve further through a clear future action plan, which strengthens the (already effective) collaboration with the other National Scientific

Committees and The National Committee for Technology Transfer. The plan further improves the use of the “calls” as an instrument for scientific policy, and identifies a set of strategic items for INFN: Scouting within INFN and the other Scientific Boards, and fostering an even stronger involvement of CSN5 in European projects. We encourage CSN5 to proceed with this approach and to operate in order to fulfil the future action plan

**Recommendation:**

**CNS5 – 1** CSN5 should carefully monitor and evaluate the effects and effectiveness of the "Call for Proposals" method.

## *Laboratori Nazionali di Frascati (LNF)*

LNF is the largest and oldest INFN National Laboratory with more than 60 years of experience in the development, construction and operation of particle accelerators, and the design and construction of experiments for particle, nuclear and astroparticle physics. We were pleased to see the progress in the development and implementation of a sound and attractive plan for the future of the laboratory, as we requested last year. A Conceptual Design Report for a new on-site facility called EuPRAXIA@SPARC\_LAB has been presented to the INFN board of directors; the completion of the DAFNE collider programme following the plan outlined last year is well underway; and there are many ongoing detector construction activities in the laboratory facilities. The laboratory facilities for detector R&D and detector construction are being currently exploited with LHC detectors Phase-1 upgrades and satellite experiments. The detailed planning for LHC Phase-2 construction is ongoing.

We now take note of some of the highlights.

1. DAFNE. The completion of the scientific programme of DAFNE, an  $e^+e^-$  collider unique in Europe running mainly at the Phi-meson centre-of-mass energy, is progressing well. DAFNE reached the milestone of  $2.0 \text{ fb}^{-1}$  delivered during Run 3 from September 2016 to July 2017. The KLOE2 experiment has collected so far a total of  $4.0 \text{ fb}^{-1}$  of good data and should achieve the goal of  $5 \text{ fb}^{-1}$  of acquired data by the time it closes in March 2018. PADME, an experiment to search for Dark Photons, is under construction, while Siddharta2, which will study exotic kaonic atoms is being upgraded. PADME will run in 2018 and Siddharta2 in 2019, concluding the DAFNE collider programme. The upgrade work of the DAFNE Beam Test Facility (BTF) in order to deliver beam to PADME in parallel to the many other users of the BTF facility is well under way. We note that a study group started working on a possible future for DAFNE that should match the requirements of other initiatives at the laboratory.

2. The plan to host EuPRAXIA@SPARC\_LAB, a new challenging and attractive facility for laboratory accelerator experts, adapted to the size of the laboratory and capable of getting external funds, is moving forward with the conceptual design report submitted to the INFN board of directors in July 2017. LNF participates in the H2020 Design Study EuPRAXIA led by DESY, and is willing to build a European facility hosting the first Free Electron Laser (FEL) driven by a plasma-based accelerator. Such a project paves the road for the next generation of compact electron accelerators needed in High Energy Physics and in Applied Physics. EuPRAXIA will apply for

inclusion of the facility in the ESFRI road map (in 2019) and will start a preparatory phase (2020-22) when the site will be decided. To make a very strong and attractive proposal for Frascati as a site, LNF proposes to start building a new facility on the premises of the laboratory, allowing SPARC\_LAB to continue the acceleration R&D work in parallel. The project includes a 12 GHz X-band state-of-the-art Linac capable of injecting a high-quality beam into a plasma cell, accelerating the beam to 1-2 GeV. The Linac will also be able to run alone as a Free Electron Laser (FEL), reducing the risk to the project in case of difficulties with plasma acceleration. The undulator lasers at 3 nm lie in the “water window” of great interest to study biological samples. The choice of X-band is a top-class R&D for future compact accelerators. LNF can profit from various synergies, as it has a collaboration agreement with CERN that sees EuPRAXIA as a 0.5% step towards CLIC, and also participates in the H2020 X-band technology project “Compact Light,” led by ELETTRA. The total cost of the hardware for the project is 75 M€(without VAT): 23 M€for the buildings, 26 M€for a first phase of the Linac, plasma cell and undulator and 17 M€for an upgrade. LNF can count on 50 M€from INFN and remaining funds from the former SuperB project, but will have to look for financial support from the EU, the Regione Lazio, the Science ministry and international collaborators. ESFRI endorsement would be essential to obtain that support. Considering the long time needed for construction tenders and for administrative authorisations, it is mandatory to start the project as soon as possible (within 2017). The project is complex but LNF together with its partners, in particular CERN and ELETTRA, should have the know-how to build, commission and operate such a user-facility. Though a large turn-over of 50-60 people is expected in the lab in the next five years, young people are being trained in the current facilities SPARC\_LAB, DAFNE and ELI-NP.

3. Some interesting plans for outreach at the LNF are under way, with a former storage area refurbished as a 200 m<sup>2</sup> visitor centre that will host by 2018 an exhibition on accelerators, detectors and their impact on society. A longer-term 2000 m<sup>2</sup> science centre is under study in collaboration with the architecture department of the University of Sassari.

In conclusion, very good progress has been observed on many fronts during last year. We support the proposal to put forward the candidature of Frascati as host of a future European facility for new advanced technologies in particle acceleration. It is a very interesting and well-balanced project, and LNF should have the capacity to carry it through. The time window to profit from the opportunity is now and requires fast action. There should also be room for the role of LNF as a detector hub, and we encourage the laboratory to continue with the study group working on a possible future for DAFNE.

#### **Recommendation:**

**LNF-1.** The construction of the infrastructure for the EuPRAXIA@SPARC\_LAB facility should start soon, with high priority.

### ***Laboratori Nazionale del Sud (LNS)***

*The KM3NeT experiment, a major activity of LNS, is discussed in section CSN2 above, and some of the LNS nuclear physics activities are covered in the CSN3 section.*

LNS science is focused on its two operating accelerators: a Tandem Van de Graaff with a maximum terminal voltage of 15 MV, and a K800 Superconducting Cyclotron (SC). The two accelerators accelerate heavy-ion beams in a very wide range of mass and energy allowing studies

of nuclear structure, nuclear reactions and nuclear astrophysics, as well as applications of nuclear physics techniques in particle therapy, cultural heritage and other multidisciplinary activities.

Nuclear reaction and structure studies performed with radioactive  $^{16}\text{C}$  and  $^{10}\text{Be}$  beams using the fragment detector array CHIMERA in coincidence with the large-acceptance gamma detector array MEDEA demonstrated the excitation and decay of new possible cluster states in both nuclei. Furthermore, important progress was made with the NUMEN project to measure the  $2\beta$ -decay nuclear matrix element. The collaboration, which has been increasing in size in the last year, demonstrated the feasibility of measuring the double-charge-exchange reactions, ( $^{18}\text{O}, ^{18}\text{Ne}$ ) and ( $^{20}\text{Ne}, ^{20}\text{O}$ ) at zero degrees with the MAGNEX spectrometer. NUMEN, following our earlier recommendations, has established strong collaborations with theory groups (both experts in reaction mechanism and nuclear structure). Recently, the group organised the international “Conference on Neutrino and Nuclear Physics (CNP2017)” in Catania on 15-21 October 2017. This conference was very heavily attended (over 200 participants), indicating the strong worldwide interest in this topic.

ELIMED (ELI-Beamlines MEDical and multidisciplinary applications) is progressing satisfactorily. It involves the design and development of a transport beam line for the next generation of laser-driven beams as well as of diagnostic and dosimetric devices to measure the dose and characterise the laser-driven beams. The beam line will be installed at the ELI-Beamlines facility in Prague by March 2018. Another innovative topic of research is connected with PANDORA, an interesting project for measuring beta-decay rates in plasmas, simulating decay in stellar conditions (This has been discussed in CSN3 section).

In order to fulfil the needs of different research programmes at LNS, and in particular NUMEN, the SC has to be upgraded for higher beam intensity. Studies for the major upgrade of SC have been done. The tender for the new cryostat for the SC is running. CVI would like to repeat the recommendation of last year.

#### **Recommendation:**

**LNS-I.** INFN should help LNS implement its plans to upgrade the K800 superconducting cyclotron.

### ***Laboratory Nazionale del Legnaro (LNL)***

LNL exploits a set of accelerators: the TANDEM-ALPI-PIAVE complex (TAP), comprising a 15 MV Tandem accelerator and two superconducting LINACs (ALPI and PIAVE), two small electrostatic accelerators, CN and AN2000, and a cyclotron that has been delivered to LNL recently. The latter is a dual-exit high-current cyclotron that will deliver proton beams of energies between 35 MeV and 70 MeV. It will be the driver of the SPES project that will produce neutron-rich ions by ISOL technique through bombardment of a UCx target using one of the exits. The second exit will be used for radioisotope production for medical purposes and neutrons for material studies. Following commissioning in 2016, the final acceptance tests were successfully completed in June 2017.

We acknowledge the efforts of LNL and CSN3 to enthuse the nuclear physics community about the prospects of the fundamental physics research programmes with SPES, and it is encouraging that the community is presently active in defining SPES physics with strong interest from many European groups. In March 2017, the CSN3 meeting was dedicated to SPES physics, in particular in the fields of nuclear physics and nuclear astrophysics for studying nuclear structure and properties of exotic nuclei as well as nuclear processes relevant for stellar evolution. All representatives of the experiments that had submitted LoI's attended the meeting, generating great enthusiasm for the programmes to be pursued at the facility. From the submitted LoIs a 3 to 4 year research programme at SPES is assured. The decision to start physics programmes in 2019 with  $1^+$  non-post-accelerated radioactive ion beams is wise and could help start the nuclear astrophysics programme and other topics in 2020. We are pleased to hear that the first-day physics programmes have now been financed.

Following the recommendation of the CVI after it learned of the 2-year delay of SPES during its meeting in 2016, the LNL Director took proper actions to mitigate this problem. The SPES project was reorganised and a project board was created that reports to the director. It was also decided to start the physics programmes with non-post-accelerated beams already in 2019 (see above). We are pleased by these actions, which hopefully will ensure that the SPES project will now progress smoothly under the new project management. It is also encouraging that commissioning of the cyclotron and training of LNL staff to run it have progressed well. It is now planned to complete reacceleration of radioactive beams in 2021 using ALPI to reach 10-11 MeV/u.

We support the plan in which fundamental physics now stands first on the mission of the lab, with advanced technologies and applications as other important pillars. The applications are diverse and important including production of radioisotopes for nuclear medicine in late 2018 (LARAMED), radiobiology and dosimetry, surface technology and environmental research. We also endorse LNL's involvement in and important contributions to accelerator technology (IFMIF (RFQ), ESS (DTL) and MUNES (RFQ) projects), which is an important pillar for INFN institutes.

**Recommendation:**

**LNL-1.** LNL management should define a set of milestones that should be achieved at regular intervals. Regular project reviews and INFN's new project management systems should be used to ensure the successful progress of the project.

CVI Meeting at LNF, October 15-17, 2017

Agenda as of October 11, 2017

All presentations –unless otherwise indicated- are assumed to be 15', followed by 45' discussion.

=====15/10 Sunday=====

CVI meets with INFN President F. Ferroni at business dinner (place and time to be set)

=====16/10 Monday=====

08:45 F.Ferroni/S.Smith: *brief introduction and charge to CVI*

09:15 B. Quarta: *Update on AC* (12' presentation, 18' discussion)

09:45 N. Pastrone: *Report from CSN1*

[All CSN talks should begin with response to CVI recommendations, if any]

10:45 coffee break

11:15 P. Campana: *LNF Status and Perspectives for the Future*

12:15 M. Pallavicini: *Report from CSN2*

13:15 Lunch, CVI in closed session

14:30 V. Bonvicini: *Report from CSN5*

15:30 A. Zoccoli *Status and Perspective of INFN scientific Computing* (15'+30' discussion)

16:15 Coffee break (short-15')

16:30 *Tour of selected LNF Infrastructures (CVI only)*

*(SPARC/FLAME, Micromegas construction site, SCF\_LAB Lab. Space Qualification)*

17:45 CVI Closed Session until 19.15

20:30 Dinner CVI+GE+Labs Directors

===== 17/10 =====

9.00 M. Taiuti: *Report from CSN3*

10.00 A. Lerda: *Report from CSN4*

11:00 coffee break

11.30 D. Bettoni: *LNL*

12.30 G. Cuttone: *LNS*

13.30 lunch break; *CVI in Closed Session*

15.00 R. Saban: *Technical Coordination of the National Labs: a status report*

16.00 Break; *CVI in executive session*

17.30 Closeout with INFN: management, heads of the CSN's, etc.

18.00 Adjourn

## Appendix II. Recommendations

**General 1.** As we have already stressed in previous reports, INFN should work, communicate and work on Technology Transfer in collaboration with the national networks of industry organisations, to reach a larger number of enterprises and to participate in common initiatives meant to improve the R&I system.

**CA-1.** The re-organisation of the “Federal” INFN system should proceed with a pilot project chosen to demonstrate that scientific work can take advantage of streamlined administration.

**CA-2.** We propose again our recommendation from the 2016 CVI Report: “The administrative reorganisation should focus first upon ‘low-hanging fruit’, to realise quick improvement and remediate urgent problems and weaknesses, and thereby gain support for future actions.”

**CA-3** (repeated from last year). INFN should explore possibilities for collaboration with other institutions in reforming and optimising the administrations

**CSN1-1.** INFN should make sure now that the infrastructure and other resources required will be available for constructing the Phase-2 upgrades to CMS and ATLAS, since formal TDR commitments will be taken in 2017. This should be done in close contact with other relevant CSNs and laboratories.

**CSN1-2.** Increase efficiency by pursuing useful synergies with the other INFN CSNs, National Laboratories, in concert with the new Technical Coordination office.

**HR-1.** INFN must monitor the new mechanisms for competitive selections and applicant choice of institutes, to identify and mitigate any negative unforeseen effects.

**HR-2.** INFN should consider experimenting with internal matching mechanism and use incentives to promote internal mobility.

**HR-3.** New approaches to gender issues should be explored, based on careful study of women’s access to scientific careers.

**CSN1-1.** We encourage CSN1 to play a significant role in the preparation of the upgrade of the European Strategy for particle physics.

**CSN2-1.** INFN should strongly support a further upgrade of Virgo, with the goal to quickly approach a similar sensitivity to that of the LIGO antennas.

**CSN3-1.** CSN3 scientists should work together with other European groups and funding agencies to realise the  $1\pi$  solid angle configuration of the AGATA detector array.

**CSN4-1.** In association with the Lab director, the INFN should plan for the success of the LNF theory group.

**CNS5 – 1.** CSN5 should carefully monitor and evaluate the effects and effectiveness of the "Call for Proposals" method.

**LNF-I.** The construction of the infrastructure for the EuPRAXIA@SPARC\_LAB facility should start soon, with high priority.

**LNS-I.** INFN should help LNS implement its plans to upgrade the K800 superconducting cyclotron.

**LNL-I.** LNL management should define a set of milestones that should be achieved at regular intervals. Regular project reviews and INFN's new project management systems should be used to ensure the successful progress of the project.

### **Appendix III: Requests and suggestions for next year's report.**

1. As was done this year, please document INFN's response to our recommendations.
2. It would be very helpful to have a section in the GLV report on Human Resources Strategies, both at central level (hiring, promotion, mobility) and at the level of the CSNs (incentives, distribution of funds...).
3. (Repeat of last year) We suggest that INFN conduct a "competitive assessment" of its more risky or questionable experiments. The exercise should be aimed at ranking these experiments with competitive ones, both to assess the chances of winning the race, given the resources and steps already done by competitors, and to look for complementarities.
4. Sections in the GLV report from the four National Laboratories and TIFPA are most valuable to us in our evaluations. For next year the following would be particularly useful:
  - i) Updates on the progress of the major projects of each laboratory, and status reports on strategic plans, programme priorities, and their integration with the programmes and priorities of the CSN's.
  - ii) Presentations on LNGS and LNF programmes, operations, and future plans.
  - iii) Presentations from the other laboratories and TIFPA as time permits.