



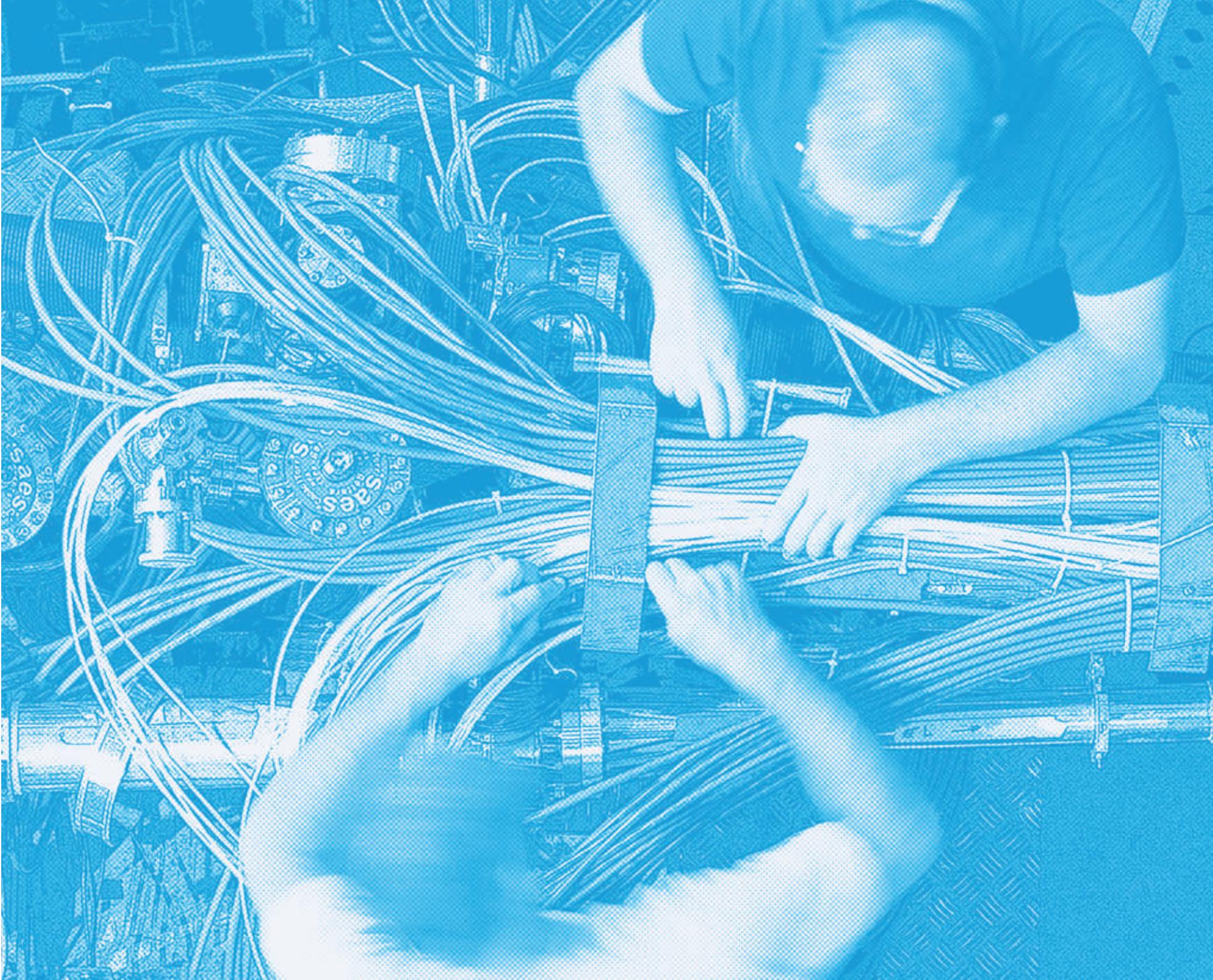
LNF

Laboratori Nazionali
di Frascati dell'INFN

Accelerando
il Futuro



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Frascati



I Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN

Accelerando il Futuro

// Indice

02

Sulla strada della conoscenza

L'eccellenza italiana in fisica degli acceleratori, ricerca di base e innovazione

04

L'evoluzione dei Laboratori Nazionali di Frascati

Depositari delle conoscenze per la fisica degli acceleratori e dei rivelatori di particelle

07

Gli acceleratori a Frascati

Piccole macchine crescono

10

In una rete di ricerca globale

Dove tutto e tutti sono connessi

13

La ricerca fondamentale

Comprendere il funzionamento dell'Universo

16

Ricerca tecnologica e applicata

Non solo fisica di base

18

Benefici e ricadute per la società

Come la ricerca scientifica entra nella vita quotidiana

23

Informare e divulgare

Coinvolgere i giovani e il grande pubblico nella passione per la ricerca

26

I Laboratori in numeri

Dati e statistiche che sintetizzano attività e programmi dei LNF

Sulla strada della conoscenza

L'eccellenza italiana in fisica degli acceleratori,
ricerca di base e innovazione



L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della fisica nucleare, subnucleare, astroparticellare e delle interazioni fondamentali, nonché la ricerca e lo sviluppo tecnologico pertinenti all'attività in tali settori

Gli acceleratori di particelle sono pensati e costruiti per rispondere ad alcune fondamentali domande sul funzionamento della Natura. I Laboratori Nazionali di Frascati sono stati la prima struttura di ricerca italiana per lo studio della fisica nucleare e subnucleare con macchine acceleratrici.

Vista aerea dei LNF



I Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) sono protagonisti in tutti i settori di ricerca propri dell'INFN. Le competenze tecniche e scientifiche all'avanguardia e il continuo impegno sono una ricchezza che i Laboratori mettono al servizio della ricerca e della società.

Oltre alla sperimentazione in sede, i LNF contribuiscono in maniera importante alla realizzazione di progetti nazionali e internazionali in collaborazione con altri istituti di ricerca, con università e imprese. Tali obiettivi vengono raggiunti attraverso un patrimonio di risorse umane che conta uno staff di circa 500 persone tra dipendenti, associati e studenti.

Da sempre i Laboratori sono attivi nella diffusione della cultura scientifica con programmi di divulgazione rivolti al mondo della scuola e al vasto pubblico.

Le attività dei Laboratori di Frascati, strettamente integrati in una rete di centri nazionali ed esteri, concorrono a quel grande obiettivo globale rappresentato dall'ampliamento dei confini della conoscenza. La qualità del programma scientifico e tecnologico è garanzia di continua crescita e attrazione per le nuove generazioni.

Anni '50, ingresso dei Laboratori da poco inaugurati. Nell'Italia del boom economico si pongono le basi dello sviluppo e del progresso scientifico, con consistenti investimenti nel campo della ricerca



L'edificio che ospita l'acceleratore DAΦNE



L'evoluzione dei Laboratori Nazionali di Frascati

Depositari delle conoscenze per la fisica degli acceleratori e dei rivelatori di particelle

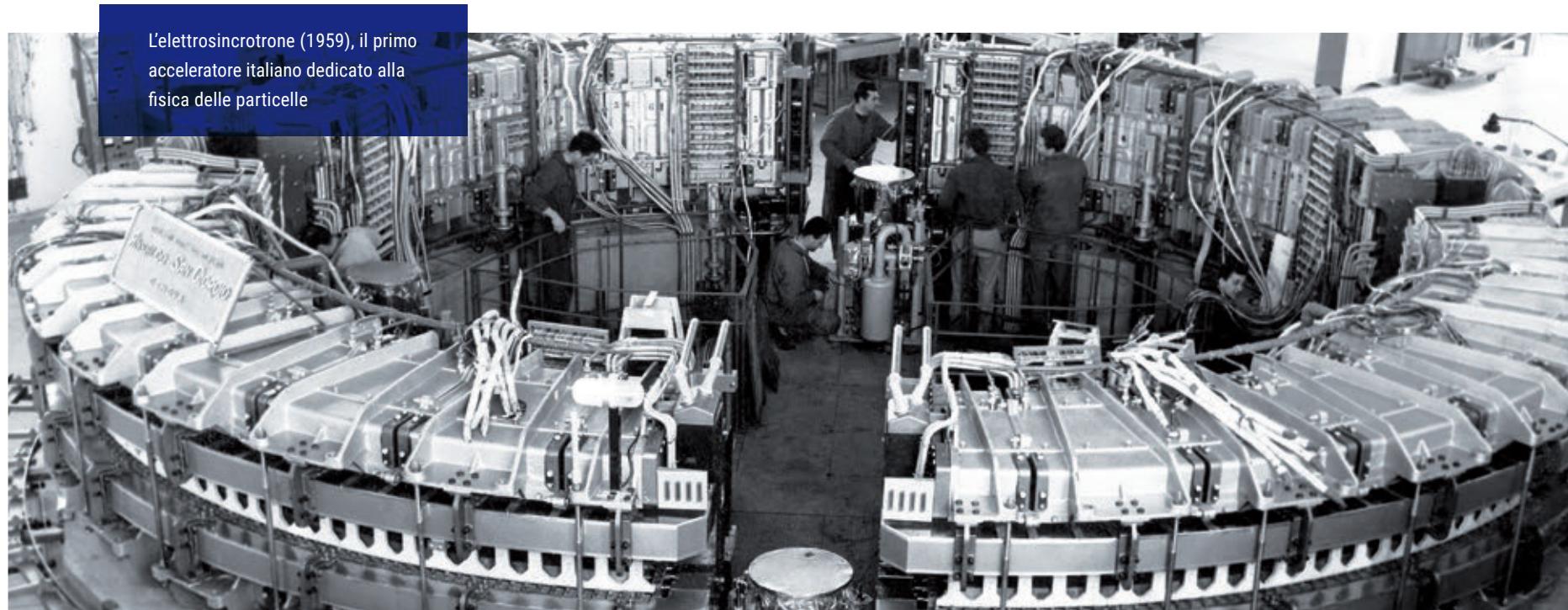
La storia dei Laboratori è strettamente legata alla realizzazione e all'utilizzo dei suoi acceleratori, macchine costruite per produrre e studiare fenomeni della fisica delle particelle, sulla base di indicazioni e richieste fornite della comunità dei fisici.

I LNF sono stati fonati nel 1954 per ospitare un elettronsincrotrone da 1.1 GeV, il primo acceleratore di particelle italiano dedicato alla ricerca fondamentale. Questa macchina ha visto la luce sotto la guida di Giorgio Salvini, iniziando a produrre nel 1959, fasci di elettroni e di raggi gamma che hanno permesso la realizzazione di numerosi esperimenti condotti da ricercatori dell'INFN in collaborazione con diverse università italiane.

Nel 1960, durante un memorabile seminario, Bruno Touschek propose di iniettare, nella stessa ca-

mera da vuoto, fasci di elettroni e di positroni circolanti in direzioni opposte, per studiarne le collisioni. Questa idea diede il via alla costruzione di AdA (Anello di Accumulazione), un piccolo acceleratore costituito da un elettro-magnete del diametro di poco meno di 2 metri dove il campo a radio-frequenza accelerava i fasci a un'energia di 250 MeV. All'interno di AdA sono avvenute le prime collisioni artificiali al mondo di elettroni e positroni.

L'acceleratore AdA rappresentava uno studio di



fattibilità per dimostrare che era possibile realizzare un collisore di materia-antimateria. Non appena lo scopo fu raggiunto, si passò alla progettazione e realizzazione di un collisore di elettroni e positroni di maggiore energia e luminosità: ADONE, che avrebbe raggiunto l'energia di 3 GeV, consentendo di effettuare quattro esperimenti contemporaneamente. ADONE ha iniziato a produrre collisioni nel 1969 ed è stato spento definitivamente nel 1993. In questo lungo arco temporale gli esperimenti condotti su ADONE hanno consentito studi di elettrodinamica quantistica e del comportamento dei quark leggeri, che hanno contribuito a porre le fondamenta alla nostra conoscenza della materia subnucleare. ADONE ha operato anche come sorgente di Luce di Sincrotrone, la radiazione elettromagnetica emessa dalle particelle cariche quando attraversano un

campo magnetico. Le sue caratteristiche uniche in termini di intensità e frequenza lo hanno reso un potente strumento di indagine per settori quali lo studio dei materiali, la biologia e i beni culturali. Nel 1999, nello stesso edificio che aveva ospitato ADONE, il nuovo collisore DAΦNE, con un'energia di circa 1 GeV, entrava in funzione. Si tratta di un acceleratore di particelle di nuova concezione, con l'obiettivo primario di fornire elevata luminosità e quindi di permettere lo studio di fenomeni rari. DAΦNE è stato progettato per produrre la risonanza Φ , una particella instabile che decade prevalentemente in particelle K ("kaoni"). DAΦNE è quindi una sorgente di alta intensità di kaoni sia carichi che neutri e permette di effettuare vari studi di fisica fondamentale. Il flusso di kaoni prodotti a DAΦNE è stato utilizzato da diversi esperimenti: KLOE, che in-

daga l'asimmetria tra materia e antimateria e le regole che tengono insieme i quark più leggeri della materia; FINUDA che ha effettuato misure e studi sugli ipernuclei; DEAR e SIDDHARTA che si sono occupati della caratterizzazione degli atomi kaonici.

Il complesso di DAΦNE rappresenta un'infrastruttura potente e versatile che include anche una Beam Test Facility (BTF), dove fasci di diversa tipologia, con energia e intensità variabili, sono disponibili per test di prototipi e strumentazione. Inoltre, nel laboratorio di Luce di Sincrotrone DAΦNE-Luce, fasci di radiazione di lunghezze d'onda dall'infrarosso ai raggi X vengono utilizzati per studi interdisciplinari. Le attività con la radiazione di sincrotrone sono per loro natura un punto di incontro tra la fisica fondamentale e il mondo industriale e tecnologico, essenziale per

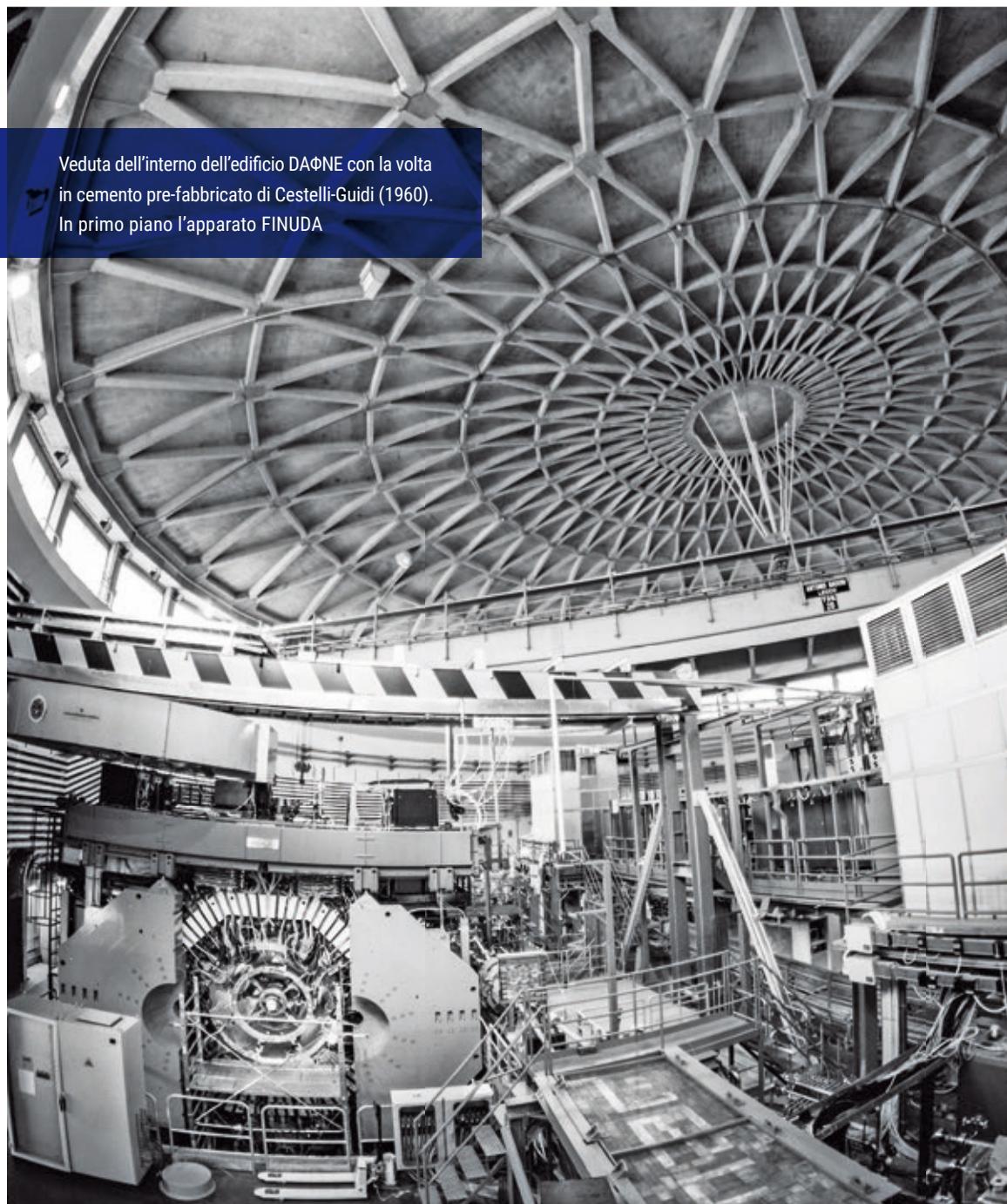
Giorgio Salvini

[Milano 1920 - Roma 2015]

Uno dei grandi protagonisti della fisica italiana del dopoguerra, dal 1953 guida la costruzione dei Laboratori Nazionali di Frascati. Dal 1966 al 1970 presidente dell'INFN, è successivamente impegnato nelle attività sperimentali del CERN. Presidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei dal 1990 al 1994. è nominato Ministro dell'Università e della Ricerca nel 1995. Ricordato anche come apprezzato e appassionato didatta, ha conservato per tutta la vita un rapporto privilegiato con i Laboratori dei quali è considerato un padre fondatore.



Rivelatore di vertice
dell'esperimento KLOE



Veduta dell'interno dell'edificio DAΦNE con la volta in cemento pre-fabbricato di Cestelli-Guidi (1960). In primo piano l'apparato FINUDA

promuovere e sviluppare innovazione e partnership industriali.

Sono oltre 35.000 gli acceleratori in funzione in tutto il mondo e solo pochissimi dedicati alla ricerca pura. Il loro compito è diversificato: all'interno degli ospedali curano tumori o producono traccianti radioattivi; in ambito industriale aiutano a studiare e sviluppare nuovi materiali o uccidono i batteri responsabili del deperimento degli alimenti. I LNF sono senza dubbio la sede italiana dove è disponibile una conoscenza profonda in questo settore, in un processo di continuo aggiornamento e sviluppo.

Gli acceleratori a Frascati

Piccole macchine crescono

I Laboratori di Frascati sono all'avanguardia nella fisica e nella tecnologia degli acceleratori. Poco dopo la costruzione dell'elettrosincrotrone, la prima grande macchina italiana per la ricerca nel campo della fisica delle alte energie, proprio a Frascati mosse i suoi primi passi la gloriosa storia dei collisori. Al principio degli anni '60, Bruno Touschek propose di utilizzare due fasci di particelle di carica opposta, circolanti in verso contrario e una stessa camera da vuoto, da far collidere e annichilare in un punto di interazione. Tale elegante e originale idea si affermò rapidamente presso la comunità scientifica internazionale come punto di svolta nella fisica sperimentale delle alte energie.



AdA: il primo collisore materia-antimateria



AdA

Il primo Anello di Accumulazione al mondo (AdA) progettato e costruito nel 1961 con lo scopo di verificare sperimentalmente l'intuizione di Touschek, si rivelò un grande successo. Il lavoro pionieristico di AdA aprì la strada a oltre mezzo secolo di scoperte di fisica rese possibili da varie generazioni di anelli di accumulazione realizzati in tutto il mondo. Per rendere onore alla sua storia, AdA è oggi conservata presso un'area dei LNF che dal 2013 è stata riconosciuta come sito storico della Società Europea di Fisica.

Bruno Touschek

[Vienna 1921 - Innsbruck 1978]

Fisico di origine austriaca, nel 1952 venne chiamato a Frascati per lavorare ai nascenti Laboratori Nazionali dell'INFN.

Esperto di fisica degli acceleratori, è stato l'ideatore del primo collisore al mondo materia-antimateria (AdA 1961). Ancora oggi, uno degli effetti di dinamica delle particelle all'interno di un acceleratore porta il suo nome (**effetto Touschek**) in quanto fu il primo a darne una spiegazione e una trattazione matematica rigorosa.

I ADONE

Sull'onda del grande successo scientifico di AdA fu realizzato ADONE, un anello di accumulazione di dimensioni maggiori destinato allo studio della fisica fondamentale. I due fasci collidenti potevano raggiungere un'energia sei volte più grande che in AdA, in una camera da vuoto toroidale della lunghezza di circa 100 m. ADONE ha operato per 24 anni, producendo una grande mole di dati per esperimenti di fisica delle particelle. La radiazione di sincrotrone, emessa dai fasci quando percorrono traiettorie curve, è stata invece utilizzata per esperimenti di fisica applicata.

Durante il periodo di attività di ADONE sono stati realizzati nel mondo molti altri anelli di accumulazione, di varie tipologie e dimensioni. Il successo degli esperimenti condotti su queste macchine ha portato a una impressionante crescita della conoscenza nella fisica fondamentale e a un gran numero di scoperte, alcune delle quali insignite del premio Nobel.

I DAΦNE

La tradizione di Frascati nel campo degli anelli di accumulazione è proseguita, ed è oggi più viva che mai grazie a DAΦNE, un moderno acceleratore appartenente alla generazione dei collider denominati *factories*. Con tale nome si indicano macchine relativamente compatte che esplorano la frontiera dell'alta luminosità che misura la quantità delle collisioni prodotte. DAΦNE è il miglior collisore di bassa/media energia mai costruito in termini di luminosità prodotta e intensità delle correnti accumulate.

Per poter servire la sua vasta ed esigente comunità di fisici sperimentali, DAΦNE ha dovuto affrontare una grande quantità di sfide tecnologiche. L'alta luminosità necessaria può essere ottenuta solo con l'uso di fasci molto densi e intensi, che sono soggetti a diverse forme di instabilità che devono

essere prevenute attraverso un progetto accurato di ogni componente e curate mediante potenti e sofisticati sistemi di controllo.

Un innovativo e originale schema di collisione denominato *crab waist*, è stato proposto nel 2006 e sperimentato con successo a DAΦNE per ridurre gli effetti delle perturbazioni indotte dall'interazione elettromagnetica tra i fasci. Il *crab waist* rappresenta un contributo rilevante all'avanzamento della fisica dei collisori circolari ed è stato adottato da molti acceleratori attualmente in fase di progetto o di costruzione in Giappone (Super-KEKB B-factory), in Russia (SuperC-Tau factory), al CERN (Future Circular Collider FCC-ee) e in Cina (Higgs Factory CEPC).

I SPARC_LAB

I laser a elettroni liberi si stanno affermando in molti laboratori come i microscopi del XXI secolo. C'è un crescente interesse nell'utilizzo della radiazione al terahertz (THz) per le sue inesplorate e peculiari caratteristiche. La generazione di raggi X e gamma monocromatici da interazione fotone-elettronico di tipo Compton è di estremo interesse in applicazioni che vanno dalla biologia alla fisica nucleare. L'uso di laser di elevatissima potenza per accelerare o interagire con fasci di particelle cariche è un settore in rapida evoluzione. Le tecniche di accelerazione di particelle basate sull'utilizzo del plasma sono studiate in tutto il mondo per ottenere un aumento decisivo dei campi acceleranti e oltrepassare largamente i limiti delle tecniche standard basate sui dispositivi a radiofrequenza.

Tutto ciò è oggetto di studio a SPARC_LAB, un'infrastruttura di ricerca interdisciplinare dei Laboratori di Frascati basata su due pilastri: l'acceleratore lineare SPARC, capace di produrre fasci di elettroni di alta qualità, e il laser di altissima potenza FLAME per la generazione di impulsi cortissimi ed estremamente intensi nella regione dell'infrarosso.

SPARC e FLAME sono utilizzati per varie attività sperimentali, sia singolarmente che congiuntamente. L'uso combinato di tali tecnologie permetterà l'accelerazione di elettroni mediante onde di plasma in spazi molto ristretti.

L'attività di SPARC_LAB sull'accelerazione consente ai Laboratori di contribuire alla ricerca per il futuro degli acceleratori di particelle.

Nicola Cabibbo

[Roma 1935 - Roma 2010]

È stato uno dei fisici teorici più brillanti del dopoguerra. Negli anni '60 ha formulato una teoria delle interazioni deboli tra particelle elementari per i processi con violazione del numero quantico di stranezza, introducendo un parametro detto **angolo di Cabibbo**. Le sue idee scientifiche hanno avuto enorme risonanza internazionale e la sua figura è stata fondamentale per la rinascita della fisica teorica in Italia. Allievo di Touschek, ha creato la scuola di fisica teorica romana, lavorando prima nei Laboratori Nazionali di Frascati e poi presso l'Università di Roma Sapienza. Presidente dell'INFN (1983-1992) e dell'ENEA (1993-1998), ha avuto un ruolo cruciale nella decisione di costruire l'acceleratore DAΦNE.

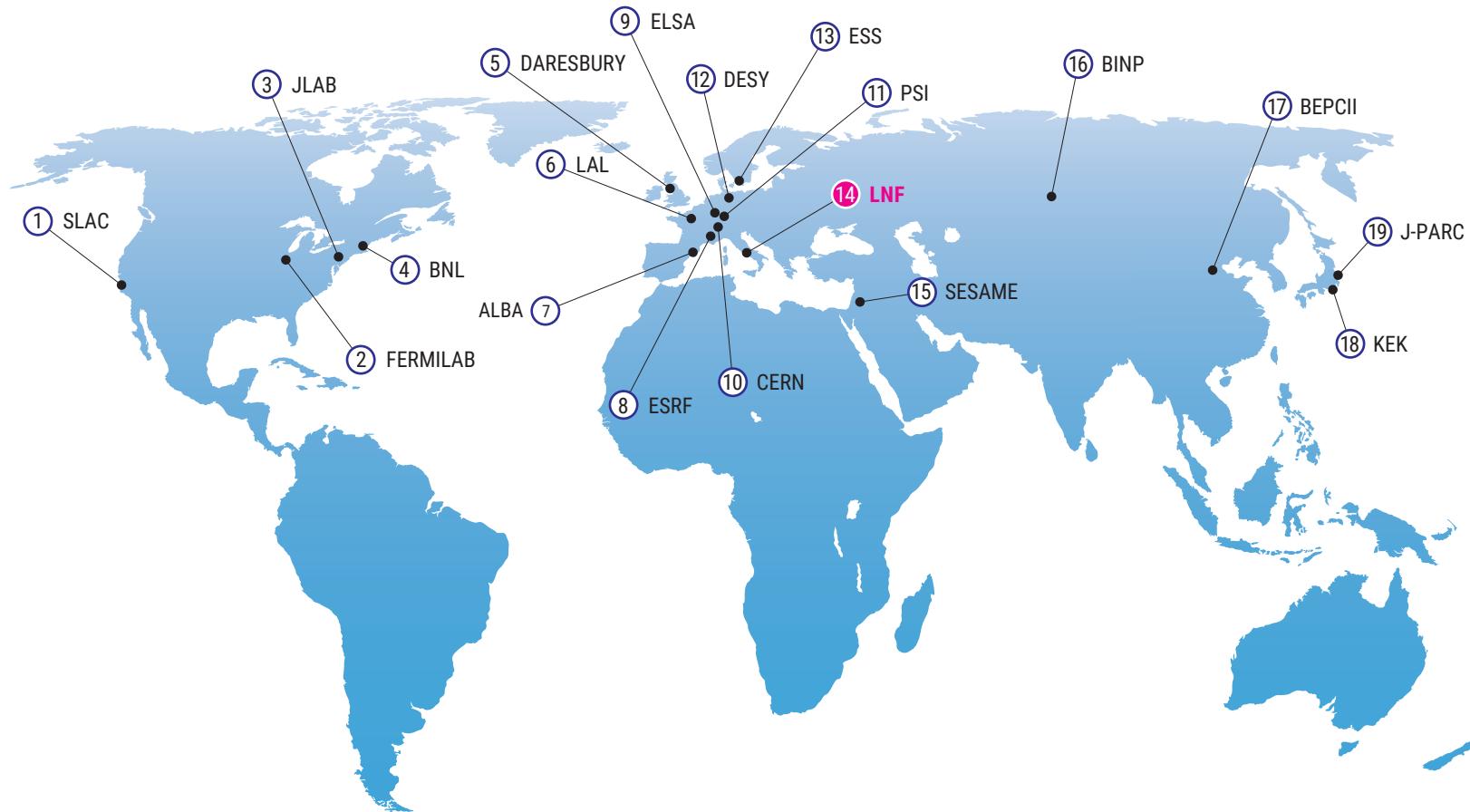




Anni '60, lavoro all'interno di un magnete,
a testimonianza che la ricerca non è solo
un'attività intellettuale

In una rete di ricerca globale

Dove tutto e tutti sono connessi



- 1 SLAC, National Accelerator Laboratory Stanford (Stanford, Stati Uniti)
- 2 FERMILAB, Fermi National Accelerator Laboratory (Batavia, Stati Uniti)
- 3 JLAB, Thomas Jefferson National Accelerator Facility (Newport News, Stati Uniti)
- 4 BNL, Brookhaven National Laboratory (Upton, Stati Uniti)
- 5 DARESBURY Laboratory (Daresbury, Regno Unito)
- 6 LAL, Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (Paris-Orsay, Francia)
- 7 ALBA Synchrotron (Barcellona, Spagna)
- 8 ESRF, European Synchrotron Radiation Facility (Grenoble, Francia)
- 9 ELSA, Elektronen-Stretcher-Anlage (Bonn, Germania)
- 10 CERN, European Organization for Nuclear Research (Ginevra, Svizzera)
- 11 PSI, Paul Scherrer Institute (Zurigo, Svizzera)
- 12 DESY, Deutsches Elektronen-Synchrotron (Amburgo, Germania)
- 13 ESS, European Spallation Source (Lund, Svezia)
- 14 **LNF, Laboratori Nazionali di Frascati** (Frascati, Italia)
- 15 SESAME, Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East (Allan, Giordania)
- 16 BINP, Institute of Nuclear Physics Budker (Novosibirsk, Russia)
- 17 BEPCII, Beijing Electron-Positron Collider II (Pechino, Cina)
- 18 KEK, Kō Enerugī Kasokuki Kenkyū Kikō (Tsukuba, Giappone)
- 19 J-PARC, Japan Proton Accelerator Research Complex (Tokai, Giappone)

La fisica sperimentale delle particelle è da tempo un'impresa scientifica che, per investimenti, complessità e dimensione, non è più alla portata di un solo paese finanziatore, ma richiede grandi investimenti, collaborazioni internazionali e programmazione pluriennale.

I nostri ricercatori svolgono anche attività nei laboratori esteri che ospitano gli acceleratori o gli strumenti necessari ai loro studi e, analogamente, i Laboratori di Frascati accolgono gli scienziati interessati all'uso delle strutture presenti. Si è quindi formata una fitta rete di collaborazioni che ha visto i ricercatori dei LNF attivi, nel tempo, in tutti i centri di fisica fondamentale del mondo, spesso con ruoli di primo piano.

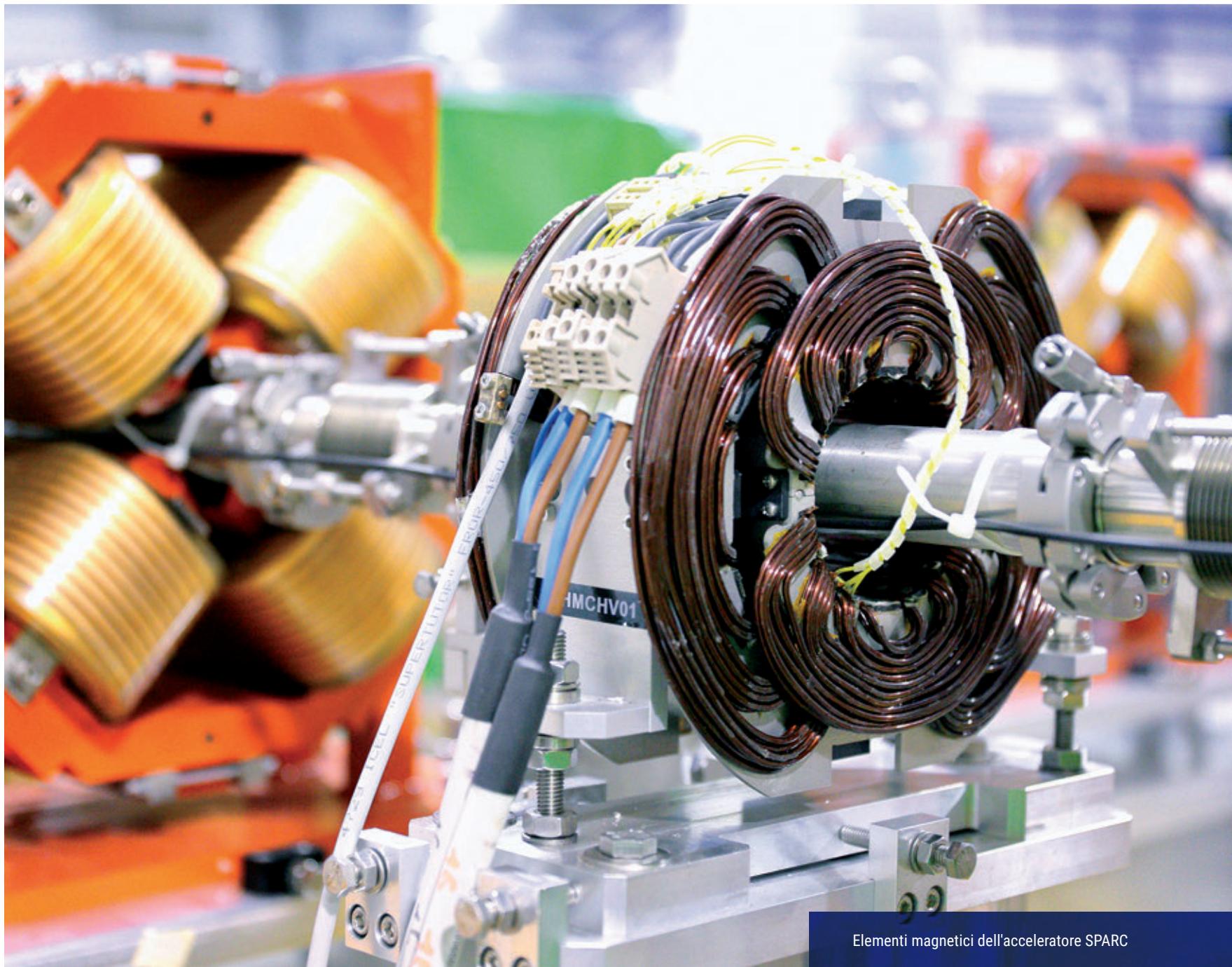
Complesse apparecchiature costruite nei LNF vengono spedite, installate e messe in funzione da ricercatori, ingegneri e tecnici presso i più gran-

di Laboratori esteri. I casi più recenti riguardano gli esperimenti all'LHC del CERN, FERMILAB (US), KEK (Giappone), JLab (US) e BEPC (Cina). I LNF ospitano un'ampia comunità di utenti italiani e stranieri che partecipano agli esperimenti e alle attività che si svolgono in sede.

Nella mappa si può vedere la fitta rete di relazioni e di collaborazioni di cui i LNF fanno parte.

Tecnici in camera pulita impegnati nella costruzione di un rivelatore per il CERN



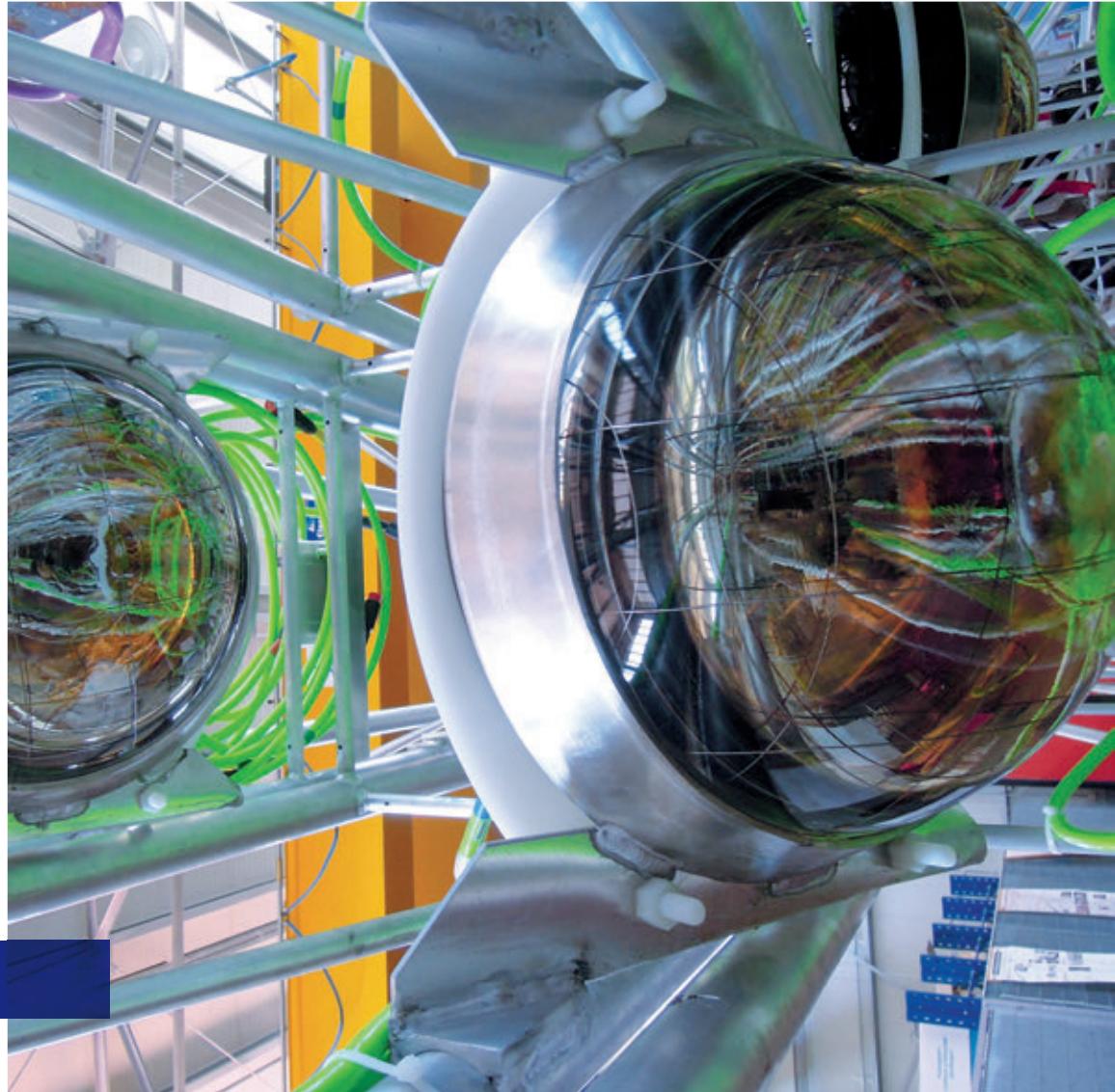


Elementi magnetici dell'acceleratore SPARC

La ricerca fondamentale

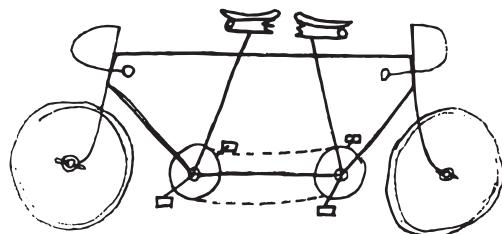
Comprendere il funzionamento dell'Universo

La ricerca di base è un'impresa culturale che ha come scopo il migliorare e l'estendere la nostra conoscenza della Natura, delle sue componenti e delle forze che ne regolano l'interazione. I Laboratori Nazionali di Frascati hanno per missione istitutiva di svolgere questo tipo di ricerca nel campo della fisica delle particelle, nucleare e astroparticellare.



Tubi fotomoltiplicatori dell'esperimento KM3 in fase di test

Le motivazioni per la ricerca fondamentale sono di natura squisitamente conoscitiva. Tuttavia le ricadute di questo genere di attività possono essere sorprendenti e avere notevole impatto in numerose applicazioni pratiche e nel miglioramento della qualità della vita. La totalità dei moderni strumenti diagnostici, per esempio, discende da ricerche fondamentali nei campi delle radiazioni, dei rivelatori di particelle, dello studio dei nuclei.



PROBARE ET REPROBARE !

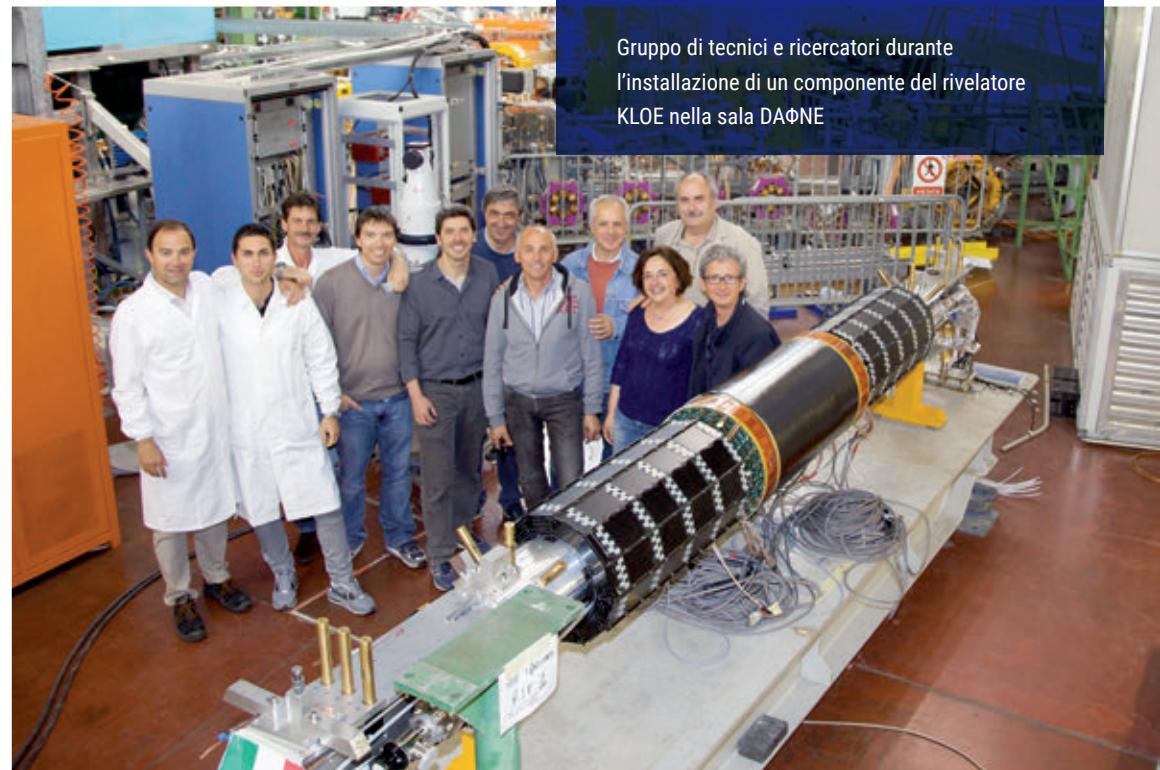
Disegno di Bruno Touschek

I Laboratori vantano una lunga tradizione nella ricerca fondamentale, con la partecipazione a importanti esperimenti in sede e nei principali Laboratori nel mondo. La conferma dell'esistenza del quark *charm* ad ADONE, lo studio della violazione di CP a DAΦNE e a SLAC, la ricerca di onde gravitazionali con la barra risonante NAUTILUS, le misure nei Laboratori del Gran Sasso sui raggi cosmici e sui neutrini provenienti dal CERN, le verifiche del Modello Standard ai grandi collider LEP al CERN e Tevatron del Fermilab, sono solo alcuni degli esempi di tale impegno.

I ricercatori di Frascati collaborano da protagonisti agli esperimenti al LHC, con la scoperta del bosone di Higgs (ATLAS e CMS), lo studio dei decadimenti ultra-rari nella fisica dei quark pesanti (LHCb) e della materia nei primi istanti dopo il big-bang (ALICE). La messa a disposi-



Laboratorio di elettronica per i rivelatori



Gruppo di tecnici e ricercatori durante l'installazione di un componente del rivelatore KLOE nella sala DAΦNE

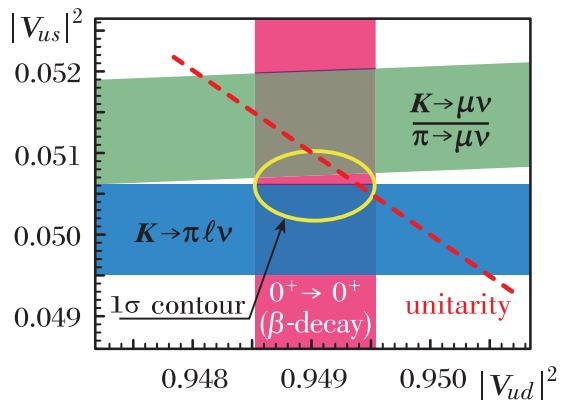
zione delle competenze e delle infrastrutture dei Laboratori ha permesso di rafforzare la loro forte presenza nella ricerca fondamentale e nello sviluppo dei rivelatori di particelle. Da segnalare, tra le realizzazioni più recenti, quelle che riguardano la costruzione di rivelatori a gas (e in particolare la camera a deriva di KLOE, la più grande mai realizzata), di apparati a cristalli e a scintillatore e le impegnative costruzioni di dispositivi al silicio e a *micro-pattern* per gli *upgrade* degli esperimenti a LHC. Tecniche di rivelazione che poi vengono esportate e applicate per migliorare la vita di tutti i giorni: nell'*imaging* medicale e nel dosaggio della radioterapia, per l'analisi non invasiva dei beni culturali, nella sicurezza, e per lo studio dei materiali.

Anche la ricerca teorica presso i LNF ha giocato un ruolo fondamentale, svolta in stretta collaborazione con i ricercatori sperimentali, sin dai primi anni di nascita del Laboratorio. Su tutti, svettano



Disegno di Bruno Touschek

i contributi di Raoul Gatto e Nicola Cabibbo che, nei primi anni '60, hanno posto le basi per quello che poi assurgerà al ruolo di *Modello Standard delle Interazioni Fondamentali*. In quegli anni, in concomitanza con la sperimentazione ad ADONE, presso i LNF nasce un forte gruppo di fisica teorica che studierà la fenomenologia delle collisioni elettrone-positrone. Più recentemente, le ricerche teoriche coinvolgono un ampio spettro di attività: dalla teoria delle stringhe e della supergravità alla fenomenologia delle interazioni fondamentali, dal quark-gluon plasma ai modelli per spiegare la materia oscura, dai metodi di teoria dei campi alle loro applicazioni a sistemi di materia condensata.



Un risultato rilevante dell'esperimento KLOE all'acceleratore DAΦNE. L'elemento V_{us} (angolo *di Cabibbo*) della matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa, parametro fondamentale del Modello Standard, è misurato con due tecniche differenti (fasce verdi e blu). Se combinate con il parametro V_{ud} ottenuto dal decadimento radioattivo β (fascia rossa), si ottiene un test molto accurato della predizione teorica della relazione esistente tra V_{us} e V_{ud} (linea tratteggiata). Si tratta di un test di grande precisione del Modello Standard

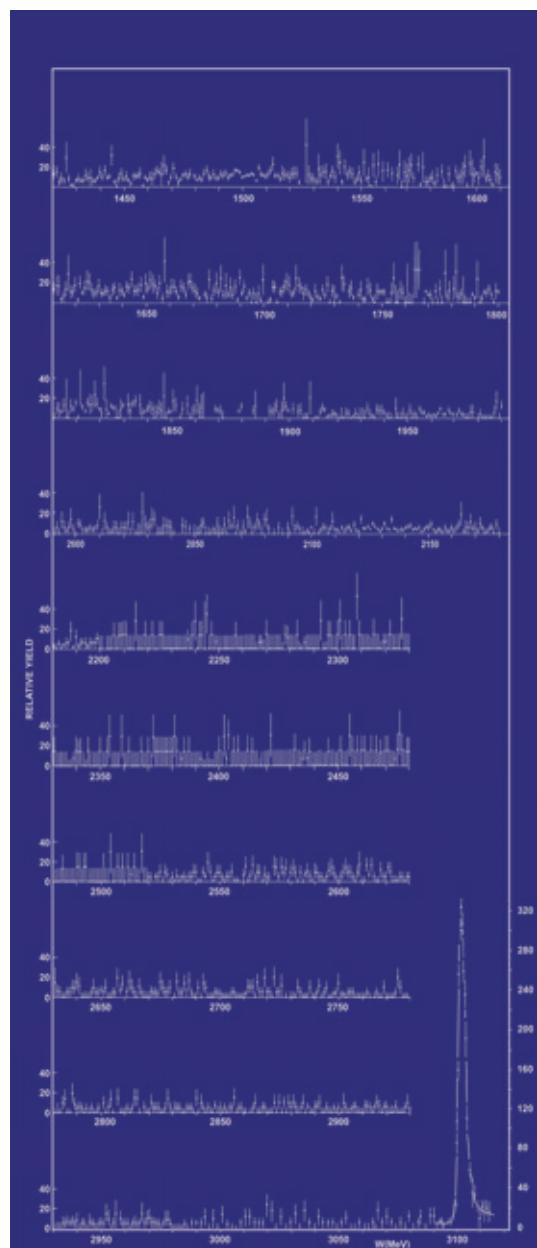


Grafico originale della risonanza J/ψ , misurata ai LNF, una delle prime conferme del Modello Standard

Ricerca tecnologica e applicata

Non solo fisica di base

Ogni generazione di acceleratori e di rivelatori di particelle ha permesso di effettuare nuove scoperte che hanno ampliato le nostre conoscenze di base, ma anche aperto nuove vie verso tecnologie che hanno determinato delle vere e proprie rivoluzioni.



Sistema di retroriflettori laser per la telemetria spaziale di precisione

Diverse applicazioni legate alla fisica delle particelle elementari - i cavi superconduttori oggi cuore dei magneti per le risonanze magnetiche, i cristalli di LHC usati nella PET, il World Wide Web nato al CERN - sono esempi di tecnologie sviluppate nell'ambito della ricerca fondamentale, ma utili anche in altri settori. Nei LNF, tra gli esempi di questo tipo, oltre agli acceleratori, sono da menzionare le attività nell'ambito della luce di sincrotrone, quelle relative allo sviluppo di nuovi rivelatori, la supercondutività, le nanotecnologie, la ricerca spaziale, le lenti per raggi X.

DAΦNE-Luce è un'infrastruttura dotata di quattro linee di radiazione ad alta intensità e alto potere risolutivo (con frequenze dall'infrarosso ai raggi X) disponibili per i ricercatori del mondo accademico e industriale italiano ed estero. Le attività di questo laboratorio includono il micro-imaging, la spettroscopia per la scienza dei materiali, la radiobiologia, lo studio in vivo delle cellule, l'analisi dei beni culturali e la geofisica.

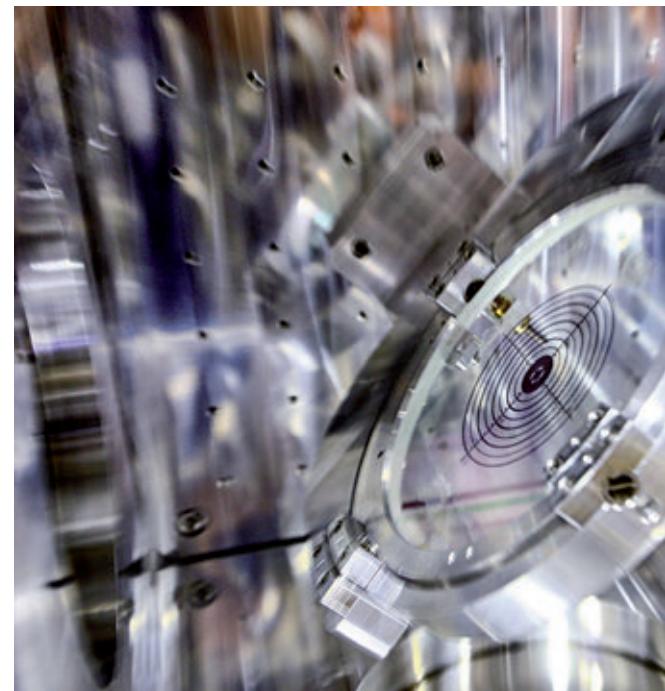
Nuovi rivelatori a gas (a *micropattern*) ad alta risoluzione spaziale e resistenti alle radiazioni, sistemi di apparati al silicio e cristalli con ottima precisione spaziale ed energetica, vengono sviluppati per future macchine acceleratrici e per applicazioni medicali.

Nel laboratorio LAMPS si effettuano ricerche sui materiali superconduttori. Al suo interno

vengono progettati e realizzati sia apparati con magneti criogenici ad alto campo, sia moderni sensori magnetici.

Il laboratorio SCF_LAB si caratterizza per il test di apparecchiature destinate alla ricerca in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana. Le condizioni dello spazio extraterrestre vengono qui riprodotte utilizzando strumenti quali un

Specchio per il trasporto di radiazione laser infrarossa di altissima intensità



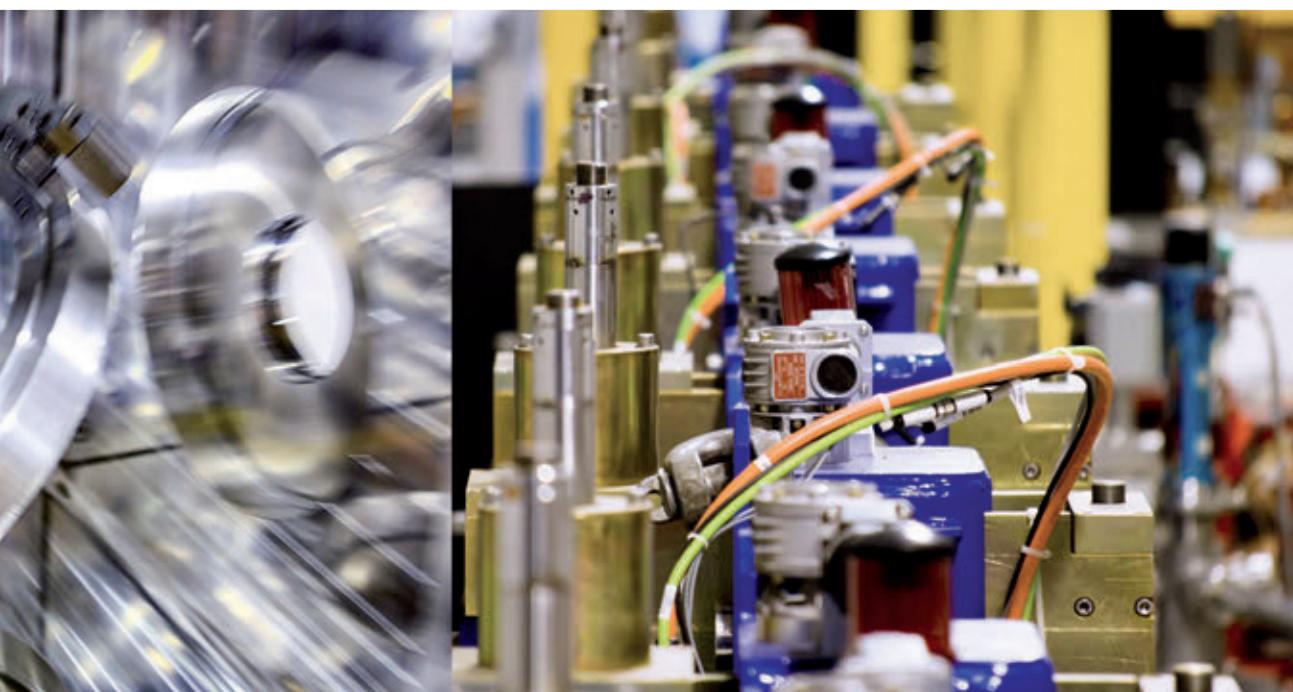
criostato, un simulatore solare e camere da vuoto. Sono stati assemblati e caratterizzati diversi retroriflettori laser utilizzati per la telemetria spaziale. Tra questi, quello che verrà montato a bordo del lander InSight che la NASA ha costruito per l'esplorazione di Marte.

NEXT è il laboratorio di nanoscienze dei LNF, con un bagaglio di esperienza nella sintesi e nell'ingegnerizzazione di materiali in carbonio nanostrutturati: nanotubi, nanopiastrine in grafene e fogli intrecciati di nanotubi (*buckypapers*).

La facility XLab offre la possibilità di condurre esperimenti con raggi X per tomografia, diffratometria e fluorescenza attraverso l'uso di poli-

capillari in vetro, con interessanti applicazioni in biologia, beni culturali e tecniche industriali.

Un laboratorio dedicato alle tecniche avanzate per la costruzione e il test di moduli di cavità acceleranti e per la misura di elementi magnetici, permette di realizzare acceleratori più compatti non solo per la fisica di base, ma anche per le applicazioni mediche e industriali.



Esperimento di condensazione
indotta da laser in atmosfera



Benefici e ricadute per la società

Come la ricerca scientifica entra nella vita quotidiana

La ricerca scientifica fondamentale persegue sempre il suo obiettivo di fondo: il progresso della conoscenza. Tuttavia i concetti, le tecniche e gli strumenti che i ricercatori sviluppano per affrontare le sfide del proprio mestiere talvolta si rivelano utili e applicabili in vari aspetti della vita quotidiana. Questo accade in settori come l'informatica, il web, la diagnostica medica, la preservazione e la datazione del patrimonio artistico e archeologico, il trasferimento tecnologico all'industria. Si può quindi affermare che la ricerca ha una doppia valenza per la società: espande la conoscenza e produce nuove tecnologie che migliorano la qualità della vita.

| Trasferimento tecnologico

Studio appassionato, lavoro intenso e un tocco di creatività sono gli ingredienti che i ricercatori e i tecnologi mescolano per affrontare quotidianamente le sfide poste dalla sperimentazione di frontiera. Questo sforzo costante porta sovente allo sviluppo e alla successiva industrializzazione di soluzioni tecniche originali in campi come la meccanica di precisione, la scienza dei materiali, la tecnologia dell'ultra-vuoto, la micro-elettronica e l'informatica. L'acquisizione di know-how consente alle industrie coinvolte di innovare, di migliorare la qualità dei propri prodotti e di aprirsi a nuovi mercati. Qui di seguito alcuni esempi di trasferimento tecnologico di successo *made in LNF*.

| CNAO

Il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) è una grande infrastruttura realizzata presso l'ospedale Policlinico S. Matteo di Pavia per il trattamento di tumori radio-resistenti o non operabili mediante l'uso di ioni carbonio e protoni accelerati da un sincrotrone. I pazienti vengono irraggiati con fasci di particelle accelerate, le quali rilasciano la massima parte della propria energia solo in profondità, distruggendo il DNA delle cellule tumorali limitando i danni biologici ai tessuti circostanti. I LNF sono stati un partner fondamentale per la costruzione e l'entrata in funzione del CNAO, un'impresa di successo attraverso la quale le conoscenze dell'INFN nel campo degli acceleratori sono state messe al servizio di un fine di grandissimo valore sociale.



| !CHAOS

È un ambiente software dedicato al controllo di impianti sperimentali per la ricerca, progettato e sviluppato all'interno dei LNF. Grazie alla sua estrema versatilità e scalabilità !CHAOS è utilizzabile anche in campi diversi dalla ricerca scientifica. L'interesse industriale di !CHAOS è dimostrato da un progetto pilota in collaborazione e cofinanziato da un importante partner, leader mondiale nel campo delle macchine automatiche per il processamento e il confezionamento di prodotti. Reti di sensori distribuiti, semafori intelligenti, attività in tempo reale in larga scala, rappresentano possibili applicazioni di !CHAOS.

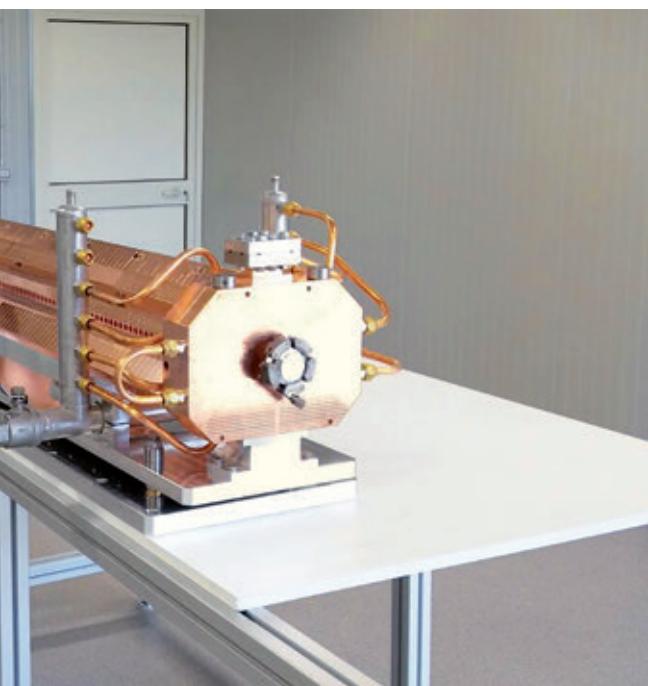
| GRID

Presso i LNF ha sede uno dei centri di calcolo che compongono WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), la più grande rete computazionale esistente, dedicata all'analisi della grande massa di dati che viene da LHC. La Grid viene usata ogni giorno da scienziati di tutto il mondo che in tempo reale possono accedere ai dati. Inoltre i LNF ospitano un'avanzata infrastruttura di calcolo e di conservazione dei dati su nastro dell'esperimento KLOE e partecipano a programmi di sviluppo di tecniche di *Cloud Computing* per poter rendere disponibili infrastrutture di servizi e *Big Data* anche per altre comunità scientifiche.

| Irraggiamento di campioni con BTF

La Beam Test Facility costituisce un'infrastruttura pressoché unica nel panorama applicativo degli acceleratori di particelle. Le forti radiazioni a cui sono esposti i componenti elettronici degli oggetti spaziali (satelliti, stazioni orbitanti, navette) possono compromettere il funzionamento degli apparati in poco tempo. Con la BTF si effettuano irradiazioni con fasci di elettroni mirate, in particolare, alle applicazioni spaziali per le future missioni di

Sezione accelerante progettata ai LNF e in costruzione presso un'azienda dell'area romana



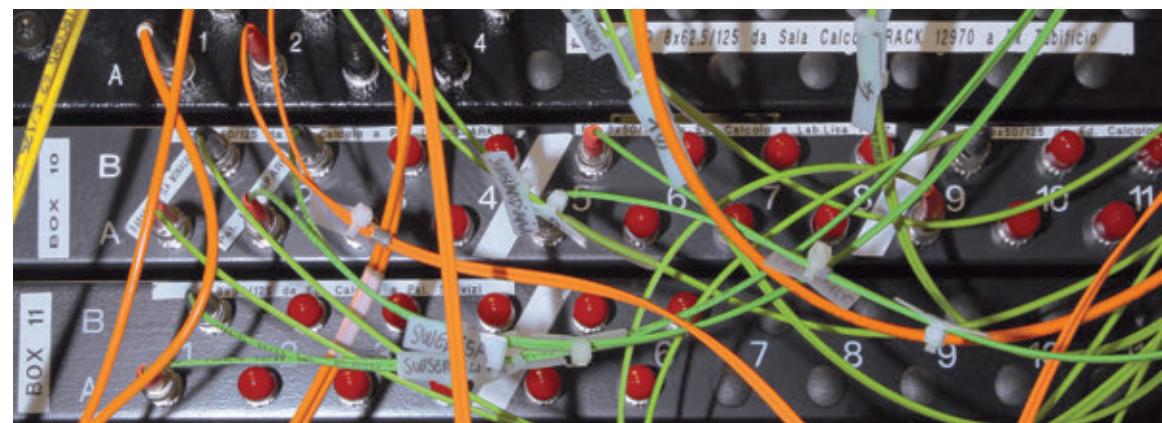
osservazione planetaria. Con esposizioni al fascio di particelle, che vanno da pochi minuti ad alcuni giorni, si simula il comportamento che avrebbero i componenti elettronici nello spazio nell'arco di molti anni di attività, studiando e migliorando così le loro caratteristiche.

I CHNet

L'interesse per le tecniche di diagnostica e conservazione del patrimonio artistico e culturale è molto cresciuto negli ultimi anni. Nell'ambito di CHNet, una rete di laboratori dedicati ai beni culturali, i LNF si sono specializzati in tecniche di spettroscopia diagnostica, quali la fluorescenza a raggi X (XRF), e hanno sviluppato un apparato portatile capace di trattare una grande varietà di opere d'arte. Monete imperiali romane, una croce medievale e un codice bizantino, sono tra le opere d'arte analizzate con tale tecnica.

Fibre ottiche presso il Centro di Calcolo dei LNF

La struttura metallica che ospiterà i cristalli per un apparato al CERN





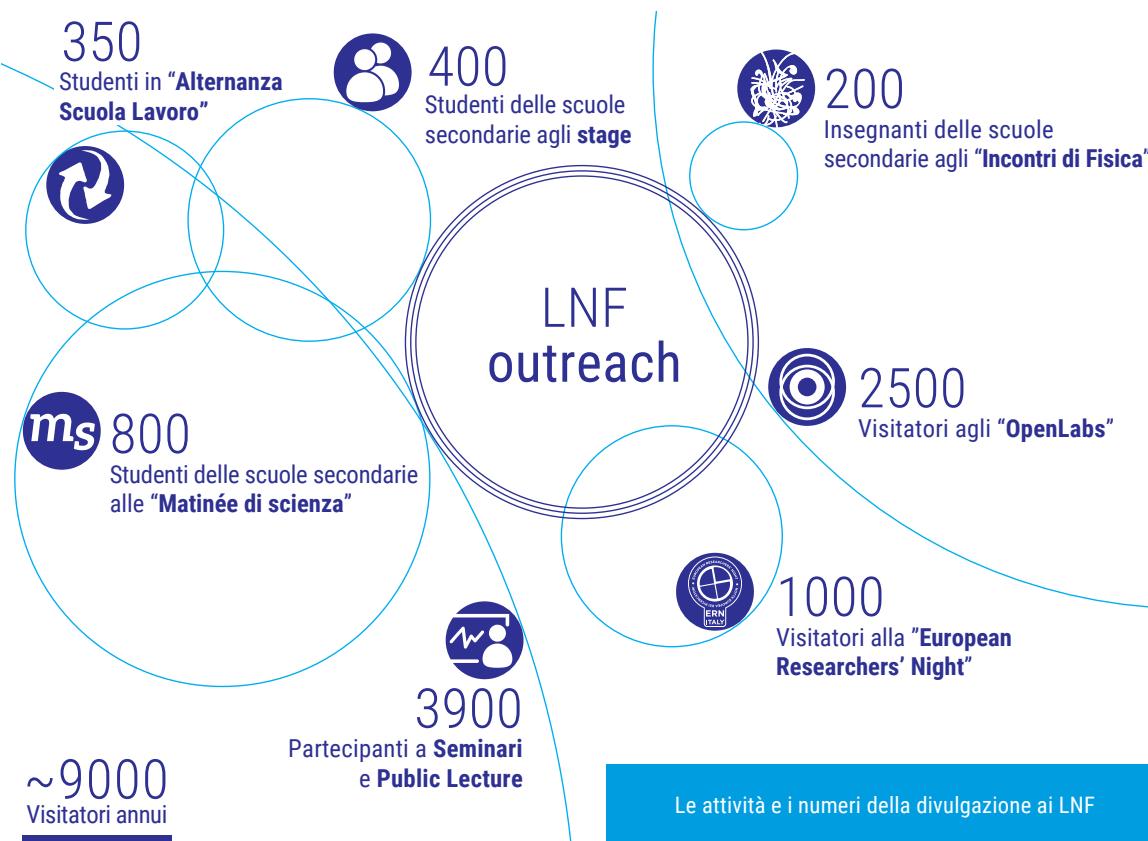
Il sincrotrone del CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) costruito presso il Policlinico San Matteo di Pavia in collaborazione coi Laboratori Nazionali di Frascati



Informare e divulgare

Coinvolgere i giovani e il grande pubblico nella passione per la ricerca

Inventiva, passione e abilità sono qualità indispensabili per comunicare all'esterno il progresso della scienza. In quest'ottica i Laboratori Nazionali di Frascati si impegnano quotidianamente a promuovere la diffusione della scienza a livello nazionale e internazionale, avvicinando il grande pubblico ad argomenti che possono sembrare irraggiungibili, ma in realtà trovano importanti applicazioni anche nella vita di tutti i giorni.



Oltre alla ricerca e alla formazione di nuove leve, l'INFN ha come terza missione il condividere con la società i programmi e i risultati delle sue ricerche. I Laboratori esplicano una funzione particolare godendo di infrastrutture e rapporti privilegiati con il territorio.

Un'attenzione specifica è rivolta a dare l'opportunità ai giovani di esprimere le loro potenzialità, incoraggiandoli a perseguire una carriera scientifica secondo le loro attitudini, stimolando l'iscrizione a corsi universitari scientifici. La cura della comunicazione istituzionale, l'aggiornamento dei contenuti multimediali, un ricco programma di offerta divulgativa, l'organizzazione di eventi, rappresentano i pilastri sui quali si articola l'attività di terza missione dei LNF. Studenti di ogni età, docenti e vasto pubblico sono coinvolti in specifiche iniziative.

In base al loro percorso scolastico, gli studenti possono partecipare a stage, lezioni di fisica, tour guidati dei Laboratori e attività di alternanza scuola-lavoro. Gli studenti, italiani e stranieri, vengono individuati dai loro docenti in base al curriculum scolastico, alle attitudini e motivazioni personali.

Le ragazze e i ragazzi selezionati per gli stage sono inseriti nelle attività di ricerca dei Laboratori e trascorrono un periodo con i gruppi sperimentali, apprendendo le metodologie di lavoro e l'uso di tecniche e strumentazioni all'avanguardia, sotto la guida di ricercatori, tecnologi e tecnici. Inoltre, essi imparano a lavorare in équipe, a produrre dati da analizzare e a presentare il proprio lavoro in

pubblico. Un'attenzione particolare è dedicata alla parità di genere e a stimolare le ragazze a intraprendere una carriera scientifica.

Laboratori didattici e visite speciali vengono organizzati per bambini (*edu-kids*).

I programmi rappresentano un'esperienza unica di studio in un ambiente di ricerca e di laboratorio aperto, anche internazionale, oltre che un'opportunità di orientamento universitario e lavorativo.

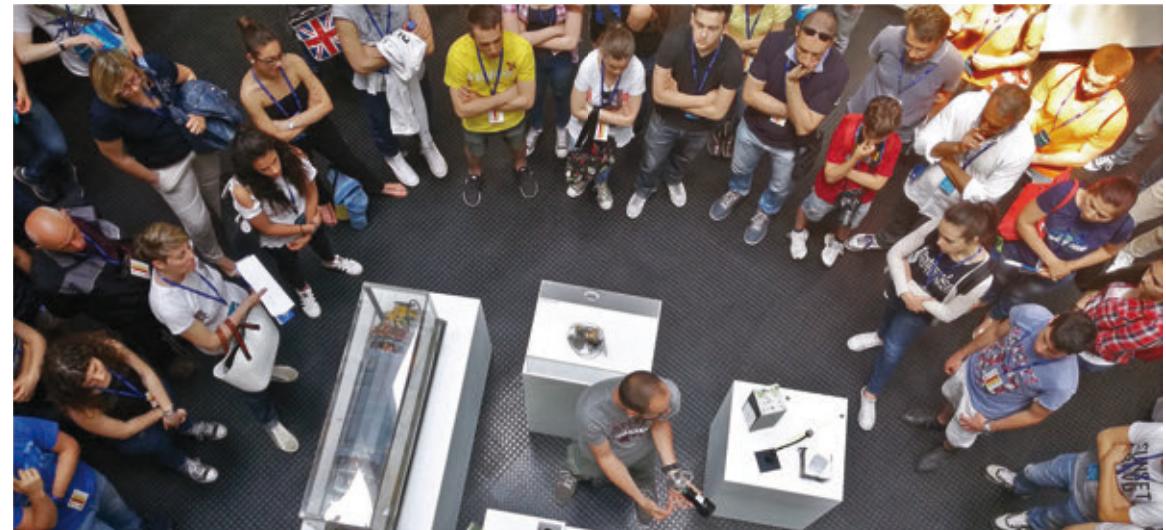
L'INFN è considerato soggetto qualificato per la formazione del personale della scuola e i corsi sono riconosciuti dal MIUR. Quindi i LNF considerano una priorità incoraggiare l'aggiornamento dei docenti, affinché istruzione e innovazione scientifica procedano sempre di pari passo.

I corsi di aggiornamento, rivolti a docenti di scuole secondarie di secondo grado di tutta Italia, rappresentano un'opportunità di incontro con i ricercatori e i tecnologi dei LNF, allo scopo sia di instaurare un clima di scambio di conoscenze ed esperienze,

che di permettere all'insegnante di affrontare i programmi ministeriali per l'insegnamento della fisica moderna, dalla teoria della Relatività alla Meccanica Quantistica fino alle recenti scoperte quali il bosone di Higgs o le onde gravitazionali.

Gli eventi per il grande pubblico sono pensati per soddisfare le curiosità di appassionati di ogni età. Un programma di seminari aperti con ospiti speciali che spaziano su vari argomenti di interesse scientifico, un appuntamento ormai istituzionale (*OpenLabs*) nel quale i Laboratori si aprono per una giornata ai visitatori, un ampio catalogo di lezioni registrate e disponibili sul canale *YouTube* dei LNF, e altre forme di comunicazione, caratterizzano l'offerta ad ampio spettro organizzata dai Laboratori.

Open Day ai Laboratori





I Laboratori in numeri

Dati e statistiche che sintetizzano attività e programmi



2

le zone di interazione del collisore DAΦNE



96

metri la lunghezza del collisore DAΦNE



172

i km di filo usati per costruire la camera centrale di KLOE, la più grande al mondo



267

le borse di studio assegnate negli ultimi 10 anni a giovani



400

gli utenti che ogni anno utilizzano i Laboratori per le loro attività di ricerca



470

gli articoli pubblicati in un anno dai ricercatori dei LNF



500

i ricercatori, tecnologi, borsisti, associati, tecnici e amministrativi che lavorano ai Laboratori



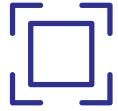
6150

le ore di funzionamento annue messe a disposizione degli utenti dal complesso DAΦNE e BTF



77850

i pasti consumati alla mensa in un anno



131000

i metri quadri di superficie dei Laboratori



30 milioni

i mesoni Φ prodotti da DAΦNE in un giorno



20 miliardi

gli elettroni presenti in un pacchetto iniettato nell'acceleratore DAΦNE

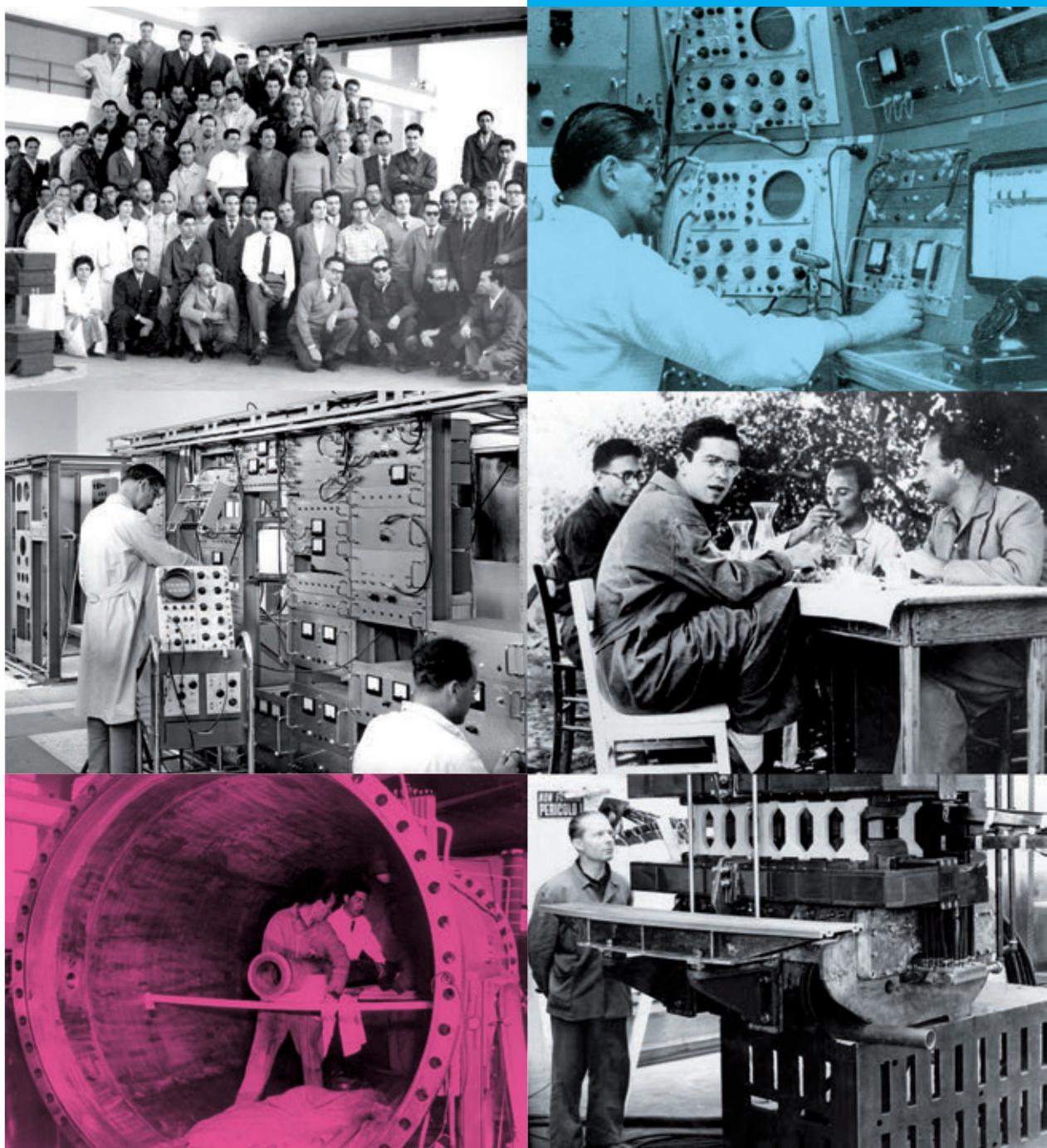
I LNF sono il più grande dei laboratori dell'INFN, dispongono di oltre 320 unità di personale dipendente a tempo determinato e indeterminato. A questi si affiancano circa 200 tra borsisti e associati, dipendenti di altri istituti e università, che di fatto svolgono la loro attività prevalentemente ai LNF. Un ruolo speciale è rivestito dagli studenti che, per preparare la propria tesi di laurea o di dottorato, si inseriscono in gruppi di ricerca dei LNF e poi proseguono la loro formazione con borse di studio sia nel laboratorio che fuori. Questo permette loro di prepararsi al mondo del lavoro con strumenti all'avanguardia, facendo esperienze



Distribuzione delle diverse categorie di personale
presente ai LNF nel 2017

in ambiti internazionali. Un’ulteriore categoria di personale presente ai Laboratori è rappresentato dagli utenti. Questi sono fruitori o collaboratori delle infrastrutture disponibili a Frascati, sia nazionali che esteri. Circa un terzo degli oltre 400 utenti sono stranieri.

Dal punto di vista organizzativo il personale dei LNF è suddiviso in tre Divisioni: Ricerca, Acceleratori, Tecnica. A queste si affiancano alcuni servizi generali alle dirette dipendenze del Direttore: Direzione, Amministrazione, Personale, Sicurezza e Prevenzione, Servizio Sanitario e Radioprotezione, Valorizzazione della Conoscenza.





Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

INFN - Laboratori Nazionali di Frascati

Via Enrico Fermi 40
00044 Frascati (Roma) Italia
Tel +39 06 94031
comedu@lnf.infn.it
www.lnf.infn.it

Direttore responsabile

Pierluigi Campana

Comitato scientifico

Rossana Centioni
Gennaro Corcella
Pasquale Di Nezza
Alessandro Gallo
Paola Gianotti
Paolo Levi Sandri

Ha collaborato

Claudio Federici

Progetto grafico e impaginazione

Massimo Ciafre, internosei.it

Stampa

Grafica Duemila srl, Aprilia (LT)

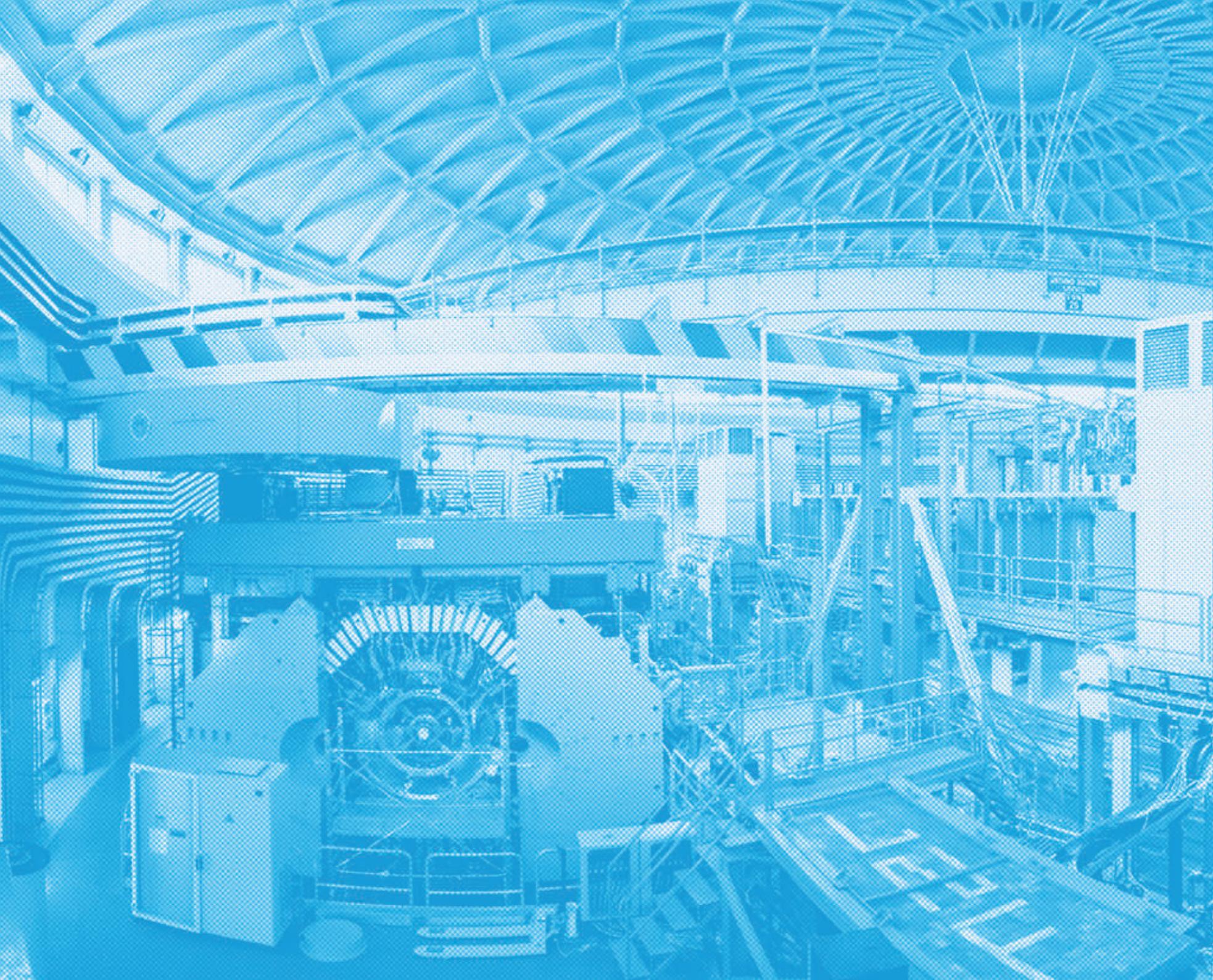
Finita di stampare nel mese di maggio 2018.

Crediti iconografici

Tutte le immagini provengono dall'Archivio INFN a esclusione della fotografia di pag. 21 di proprietà della Fondazione CNAO, Pavia.

Ci scusiamo per eventuali omissioni o errate citazioni delle fonti, del tutto indipendenti dalla nostra volontà.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della pubblicazione può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'INFN.





Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Frascati

Laboratori Nazionali di Frascati

Via Enrico Fermi, 40
00044 Frascati (RM) Italia
Tel +39 06 94031
comedu@lnf.infn.it
www.lnf.infn.it

