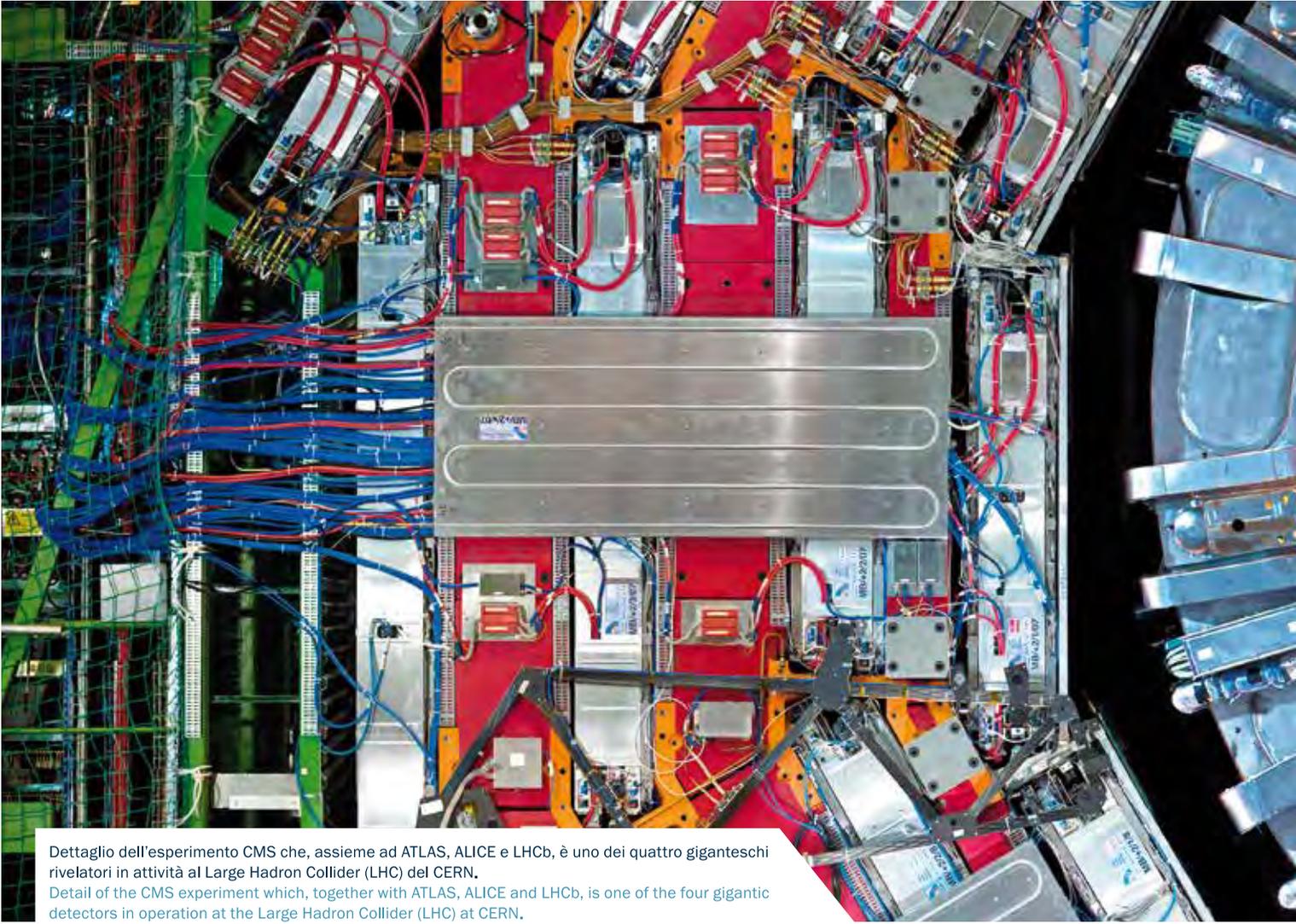


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Dettaglio dell'esperimento CMS che, assieme ad ATLAS, ALICE e LHCb, è uno dei quattro giganteschi rivelatori in attività al Large Hadron Collider (LHC) del CERN.
Detail of the CMS experiment which, together with ATLAS, ALICE and LHCb, is one of the four gigantic detectors in operation at the Large Hadron Collider (LHC) at CERN.



1

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

The Italian National Institute for Nuclear Physics

In Italia, la ricerca di base nel campo dei costituenti fondamentali della materia e delle interazioni che ne regolano il comportamento è condotta dall'INFN, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: una comunità di oltre 6000 persone impegnata a far sì che la ricerca fondamentale dia i suoi esiti migliori. Ne sono esempio gli storici traguardi raggiunti negli ultimi anni con le scoperte da Nobel del bosone di Higgs e delle onde gravitazionali. Insomma, una comunità che fa della cosiddetta ricerca *curiosity driven* un'eccellenza nazionale.

In Italy, basic research in the field of the fundamental constituents of matter and the interactions that regulate their behaviour is conducted by INFN, the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (National Institute for Nuclear Physics). INFN is a community of over 6.000 people committed to ensuring that fundamental research provides its best results. Examples of this are the historical achievements of recent years with the Nobel Prize winning discoveries of the Higgs boson and gravitational waves. In short, INFN is a community that makes the so-called curiosity-driven research a national excellence.

L'INFN svolge attività di ricerca, sia teoriche sia sperimentali, nel campo della fisica fondamentale. In particolare, sono cinque i principali ambiti di ricerca: fisica subnucleare, fisica astroparticellare, fisica nucleare, fisica teorica, ricerche tecnologiche e interdisciplinari. Per condurre gli esperimenti, l'Istituto progetta e realizza, nei propri laboratori e in collaborazione con l'industria, tecnologie d'avanguardia. Tecnologie che, seppur pensate e sviluppate per la ricerca fondamentale, portano spesso a utili ricadute per la società, in ambito medico, nel settore dei beni culturali o per l'ambiente, per citare alcuni esempi.

INFN carries out both theoretical and experimental research in the field of fundamental physics. In particular, there are five main research areas: subnuclear physics, astroparticle physics, nuclear physics, theoretical physics and technological and interdisciplinary research. In order to conduct the experiments, the Institute designs and produces, in its own laboratories and in collaboration with industry, cutting-edge technologies. Technologies which, although designed and developed for fundamental research, often lead to useful spin-offs for society, in the medical and the cultural heritage sectors or for the environment, to mention just a few examples.

Ricerca e innovazione

Research and innovation

Come istituzione che opera su temi scientifici di frontiera, l'INFN ha quindi un rilevante impatto sul progresso della conoscenza, sullo sviluppo tecnologico e per l'economia del Paese. Conscio di questo ruolo, e del fatto che per un ente pubblico è un dovere condividere con la società le proprie attività e i risultati che ne derivano, l'Istituto è fortemente impegnato in quella che oggi viene chiamata *terza missione*: ossia nel trasferimento tecnologico, nell'alta formazione e nella diffusione della cultura scientifica. ■

As an institution working on cutting-edge scientific issues, INFN has a significant impact on the progress of knowledge, on technological development and on the economy of the country. Aware of this role, and of the fact that it is the duty of a public body to share its activities and the results that derive from them with society, the Institute is strongly committed to what today is called the *third mission*: i.e. to technology transfer, advanced training and the dissemination of the scientific culture. ■

2



Fisica Subnucleare

Indaga le particelle elementari e le forze fondamentali. Queste ricerche sono condotte grazie a esperimenti con acceleratori di alta energia, come LHC al CERN a Ginevra.



Subnuclear Physics

It investigates the elementary particles and the fundamental forces. This research is conducted through experiments with high-energy particle accelerators, such as the LHC at CERN in Geneva.

Fisica delle astroparticelle

Nata dall'incontro tra la fisica delle particelle, la cosmologia e l'astrofisica, studia aspetti di fisica fondamentale che riguardano i raggi cosmici, i neutrini, la materia oscura e l'energia oscura, le onde gravitazionali e l'origine dell'universo.



Astroparticle physics

Stemming from a combination of particle physics, cosmology and astrophysics, it studies aspects of fundamental physics that concern cosmic rays, neutrinos, dark matter and dark energy, gravitational waves and the origin of the universe.

Fisica nucleare

Le sue ricerche indagano il nucleo atomico e i suoi componenti, la struttura e la dinamica della materia nucleare, i processi che avvengono nel cuore delle stelle. In particolare, gli studi più attuali riguardano i nuclei esotici e i nuclei in condizioni estreme.



Nuclear physics

This research investigates the atomic nucleus and its components, the structure and dynamics of nuclear matter and the processes that take place in the core of the stars. In particular, the most recent studies concern exotic nuclei and nuclei in extreme conditions.

Fisica teorica

A partire dalle attuali conoscenze, la ricerca teorica sviluppa ipotesi, modelli e teorie per spiegare i risultati sperimentali già acquisiti o per proporre soluzioni alle questioni ancora irrisolte, aprendo anche nuovi scenari per la fisica del futuro.



Theoretical physics

Starting from current knowledge, theoretical research develops hypotheses, models and theories to explain the experimental results already acquired or to propose solutions to unresolved questions, also opening new scenarios for the physics of the future.

Ricerca tecnologica e interdisciplinare

Valorizza tecnologie sviluppate per la ricerca in fisica fondamentale progettando e realizzando applicazioni in altri ambiti, come la medicina o i beni culturali.



Technological and interdisciplinary research

It exploits technologies developed for research in fundamental physics, designing and implementing applications in other fields, such as medicine or the cultural heritage.



Una tradizione di eccellenza

La fisica di cui si occupa l'INFN trova i suoi inizi alla fine dell'Ottocento con l'affermarsi dell'idea che la materia fosse composta di atomi. Nella prima metà del Novecento, lo studio dei fenomeni naturali, come la radioattività o i raggi cosmici, consentì di svelare la struttura dell'atomo, e portò dunque alla nascita della fisica nucleare, la fisica cioè che studia com'è fatto e come funziona il nucleo atomico: da qui prende il proprio nome l'Istituto. In seguito, il costante sviluppo tecnologico degli acceleratori e dei rivelatori di particelle ha portato alla realizzazione di strumenti di indagine sempre più potenti, che hanno permesso ai fisici di andare sempre più in profondità nello studio della materia, arrivando al livello subnucleare e delle particelle elementari. Alcune delle prime macchine acceleratrici furono ideate e realizzate da fisici e tecnici riuniti in Italia nell'INFN. Nato nel 1951, l'Istituto può vantare tra i suoi padri fondatori Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini, due dei principali ispiratori delle sue prime fasi storiche. Agli inizi, l'obiettivo dell'Istituto era dare seguito alle ricerche teoriche e sperimentali avviate negli anni '30 da Enrico Fermi e dalla sua scuola. I Ragazzi di via Panisperna. E così, nel 1960, a partire da un'idea di Bruno Touschek, ai Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) dell'INFN fu realizzato il prototipo del primo anello di collisione al mondo, in cui fasci di particelle e antiparticelle si scontravano frontalmente: AdA, Anello di Accumulazione, cui seguirono prima Adone e poi Dafne, che tuttora è in funzione ai LNF.

Non solo fisica con acceleratori, però. Nella seconda metà del secolo scorso, infatti, dalle scoperte sui raggi cosmici ha avuto origine un nuovo ambito di ricerca: la fisica astroparticellare. A sancire l'impegno dell'INFN in questo

settore è l'inaugurazione negli anni '80 dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), nati da una brillante intuizione di Antonino Zichichi. L'INFN, con visione, si è sempre impegnato per una fisica d'avanguardia e ha investito in progetti molto ambiziosi. Due su tutti, Virgo e il Large Hadron Collider (LHC) del CERN, che in questi ultimi anni hanno portato a due premi Nobel. Grazie alla rivelazione delle onde gravitazionali (Nobel per la fisica 2017), i ricercatori di Virgo, l'interferometro realizzato a Cascina, nella campagna pisana, e i colleghi degli interferometri LIGO negli Stati Uniti hanno recentemente aperto una nuova era per lo studio dell'universo, dando inizio all'astronomia gravitazionale e all'astronomia multimessaggero. LHC, il più potente acceleratore mai realizzato, grazie alla prima osservazione del bosone di Higgs (Nobel per la fisica 2013), ha completato il "mosaico" del Modello Standard delle particelle elementari. Al CERN il nostro Paese partecipa attivamente proprio con l'INFN, che coordina il lavoro di oltre 800 nostri connazionali. Italiani che nel raggiungimento di questi importanti risultati hanno da sempre svolto, e svolgono tuttora, un ruolo di primo piano, ricoprendo in molte occasioni incarichi di responsabilità.

L'INFN ha, quindi, le sue radici ed è l'erede di una tradizione prestigiosa, di cui oggi continua a coltivare l'eccellenza. ■

4



a.

a. ADONE, storico acceleratore dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN in attività dal 1969 al 1993.
ADONE, historic accelerator of the INFN Frascati National Laboratories in operation from 1969 to 1993.

b. Dettaglio del rivelatore ATLAS in funzione all'acceleratore LHC del CERN.
Detail of the ATLAS detector in operation at the LHC accelerator at CERN.

A tradition of excellence

The physics of INFN came about at the end of the Nineteenth century with the affirmation of the idea that matter consisted of atoms. In the first half of the Twentieth century, the study of natural phenomena, such as radioactivity or cosmic rays, made it possible to reveal the structure of the atom, and thus led to the birth of nuclear physics, i.e. physics that studies what the atomic nucleus consists of and how it works: hence the name of the Institute. Subsequently, the constant technological development of particle accelerators and detectors led to the creation of increasingly powerful investigative tools, which allowed physicists to go deeper and deeper into the study of matter, reaching the subnuclear and elementary particle levels. Some of the first accelerator machines were designed and manufactured by physicists and technicians in Italy at the INFN. Founded in 1951, the Institute boasts among its founding fathers Edoardo Amaldi and Gilberto Bernardini, two of the main inspiring figures of its early history. At the beginning, the objective of the Institute was to follow up the theoretical and experimental research started in the 1930s by Enrico Fermi and his school, I Ragazzi di Via Panisperna. And so, in 1960, starting from an idea of Bruno Touschek, the world's first prototype of a collider was built at the Laboratori Nazionali di Frascati (LNF, Frascati National Laboratories) of INFN: AdA was an

accumulation ring in which particle and antiparticle collided. It was then followed first by Adone, and later by Daphne still functioning at LNF.

Not just accelerator physics, however. In the second half of the last century, in fact, the discoveries on cosmic rays gave rise to a new research field: astroparticle physics. INFN's commitment in this sector was sealed by the inauguration of the Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS, Gran Sasso National Laboratories) of INFN in the 1980s, the result of a brilliant intuition by Antonino Zichichi. The INFN, with foresight, has always been committed to cutting-edge physics and has invested in very ambitious projects. Two of them in particular, Virgo and the Large Hadron Collider (LHC) at CERN, which in recent years have led to two Nobel prizes. Thanks to the detection of gravitational waves (Nobel Prize for physics in 2017), the researchers at Virgo, the interferometer implemented in Cascina in the countryside around Pisa, and the colleagues at the LIGO interferometers in the United States recently opened a new era for the study of the universe, giving rise to gravitational astronomy and multi-messenger astronomy. The LHC, the most powerful accelerator ever built, thanks to the first observation of the Higgs boson (Nobel Prize for physics in 2013), completed the "mosaic" of the Standard Model of elementary particles. Italy is actively involved at CERN with the INFN, which coordinates the work of more than 800 of Italians, who have always played, and still do, a leading role in the achievement of these important results, holding positions of responsibility on many occasions. The INFN, therefore, has its roots in and is the heir of a prestigious tradition, whose excellence it continues to cultivate to this day. ■

5





6

L'INFN è presente in modo capillare sul territorio nazionale. Lavora in stretta cooperazione con il mondo universitario: è, infatti, storicamente organizzato in Sezioni e Gruppi Collegati, che hanno sede nei dipartimenti di fisica dei principali atenei italiani, in laboratori e in centri nazionali. Al contempo l'Istituto vive anche una dimensione di forte internazionalizzazione, dettata dalla natura globale della ricerca scientifica nel campo della fisica delle particelle. Tant'è che l'INFN svolge gran parte delle proprie attività di ricerca nell'ambito di cooperazioni internazionali: partecipa a esperimenti nei più prestigiosi laboratori e centri di ricerca esteri, e ha collaborazioni in decine di Paesi. L'Istituto ha inoltre fondato in Italia infrastrutture internazionali in associazione con istituzioni estere, come il consorzio EGO, European Gravitational Observatory, che ospita l'interferometro per le onde gravitazionali Virgo. Il carattere internazionale dell'Istituto si manifesta in modo bidirezionale: l'INFN non solo vede i propri ricercatori impegnati in progetti oltre i confini nazionali, ma è anche in grado di attrarre un numero cospicuo di ricercatori provenienti dall'estero, grazie alle sue infrastrutture di ricerca. Alcune di queste, infatti, sono uniche al mondo, come i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS): il più grande centro di ricerca sotterraneo dedicato alla

Storicamente territoriale, naturalmente internazionale

fisica delle astroparticelle. Ogni anno oltre un migliaio di ricercatori stranieri utilizzano (in loco o da remoto) per il loro lavoro le strutture dei quattro Laboratori Nazionali dell'Istituto: oltre a quelli del Gran Sasso (L'Aquila), i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF, Roma), i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL, Padova) e i Laboratori Nazionali del Sud (LNS, Catania).

Ci sono poi i Centri Nazionali. Lo storico CNAF, per la ricerca e sviluppo nelle tecnologie informatiche e telematiche, a Bologna, che è il centro di calcolo nazionale dell'INFN, ed è anche un nodo di primo livello della rete che gestisce i dati prodotti da LHC. Negli ultimi anni l'INFN ha, inoltre, attivato altri centri nazionali. Il TIFPA, Trento Institute

Veduta aerea dell'interferometro per onde gravitazionali Virgo nella sede dello European Gravitational Observatory (EGO), a Cascina (Pisa).

Aerial view of the Virgo gravitational wave interferometer at the European Gravitational Observatory (EGO) in Cascina (Pisa).



Historically regional, naturally international

The INFN is present throughout the country. It works in close cooperation with the university world: it is, in fact, historically organised into linked Divisions and Groups, which are based in the physics departments of the main Italian universities, in national laboratories and centres. At the same time, the Institute also has a significant international dimension, dictated by the global nature of scientific research in particle physics. So much so that INFN carries out a large part of its research activities within the framework of international cooperation initiatives: it participates in experiments in the most prestigious laboratories and research centres abroad, and has collaborations in dozens of countries. The Institute has also

founded international infrastructures in Italy in association with foreign institutions, such as the EGO (European Gravitational Observatory) consortium, which hosts the Virgo interferometer for gravitational waves detection.

The international nature of the Institute is bidirectional: the INFN not only sees its researchers engaged in projects beyond the national borders, but is also able to attract a large number of researchers from abroad, thanks to its research infrastructures. Some of these, in fact, are the only ones of their kind in the world, such as the Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS, Gran Sasso National Laboratories): the largest underground research centre dedicated to astroparticle physics. Every year, over a thousand foreign researchers use (locally or remotely) the facilities of the four National Laboratories of the Institute for their work: in addition to those of the Gran Sasso (L'Aquila), the Laboratori Nazionali di Frascati (LNF, Frascati National Laboratories, Rome), the Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL, Legnaro National Laboratories, Padua) and the Laboratori Nazionali del Sud (LNS, Southern National Laboratories, Catania).

Then there are the National Centres. The historic CNAF, for research and development in information and communication technologies, in Bologna, which is the national computing centre of INFN, and is also a first

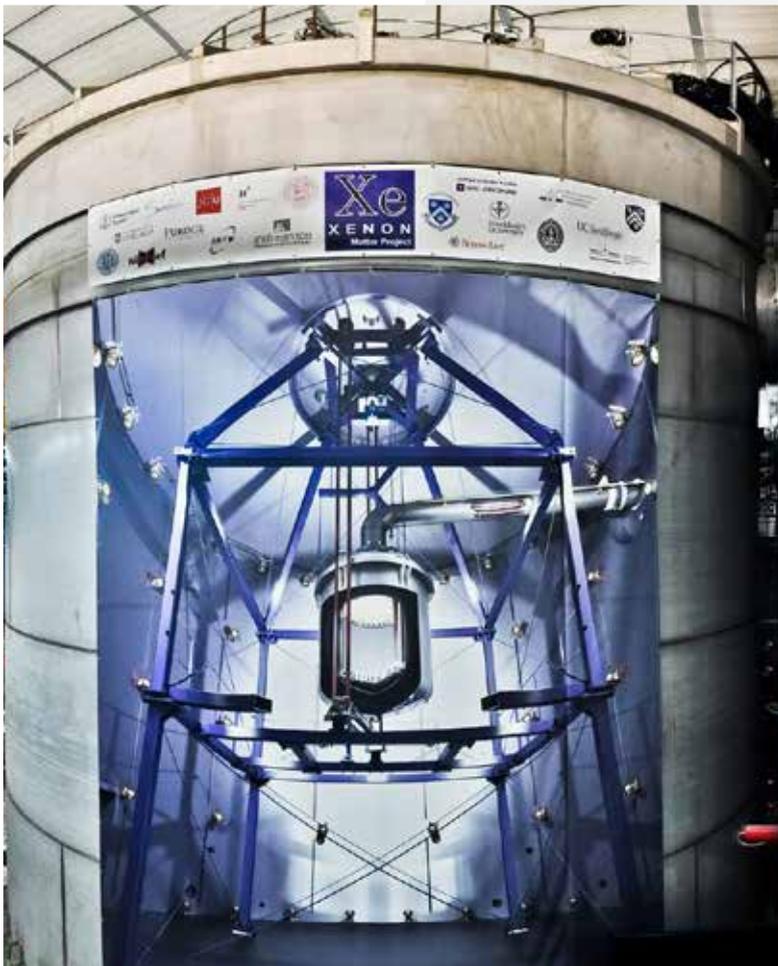
for Fundamental Physics and Applications, di Trento, un centro per la ricerca nel campo della fisica fondamentale e dello spazio e per lo sviluppo tecnologico e della medicina nucleare, in grado di favorire le sinergie tra le eccellenze territoriali e i grandi centri di ricerca non solo nazionali. Il GGI, Galileo Galilei Institute, centro di studi avanzati in fisica teorica, che ogni anno ospita centinaia di scienziati provenienti da tutta Europa. C'è poi il GSSI, Gran Sasso Science Institute all'Aquila che, dopo essere nato e cresciuto sotto l'egida dell'INFN, dal 2015 è diventato la Scuola Universitaria Superiore a ordinamento speciale, con gruppo collegato all'INFN, con la più elevata percentuale di studenti stranieri tra le istituzioni analoghe del Paese.

In Italia, l'INFN ha una struttura che consente di coltivare rapporti con le realtà locali. Mentre a livello internazionale, conduce le proprie attività in un contesto di collaborazione e al contempo di competizione con le più importanti istituzioni estere, come accade in tutte le maggiori imprese della cosiddetta *big science*. ■

level node of the global network that manages the data produced by LHC. In recent years, INFN has also set up other national centres. The TIFPA, Trento Institute for Fundamental Physics and Applications, in Trento, a centre for research in the field of fundamental physics and space, and for the technological development and nuclear medicine, able to foster synergies between local centres of excellence and major research centres, also internationally. The GGI, Galileo Galilei Institute, centre for advanced studies in theoretical physics, which every year hosts hundreds of scientists from all over Europe. And the GSSI, Gran Sasso Science Institute in L'Aquila which, after having been founded and developed under the aegis of INFN, in 2015 became a School of advanced studies – with an INFN group – with the highest percentage of foreign students among the similar institutions in the country.

The INFN has a structure that allows to cultivate relationships with local entities, while, at the international level, it conducts its activities in a context of collaboration and at the same time of competition with the most important foreign institutions, as happens in all the major undertakings of the big science. ■

8



L'esperimento Xenon 1T, rivelatore per la ricerca diretta della materia oscura, in attività ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN.
L'esperimento The Xenon 1T experiment, detector for the direct search for dark matter, in operation at the INFN Gran Sasso National Laboratories.





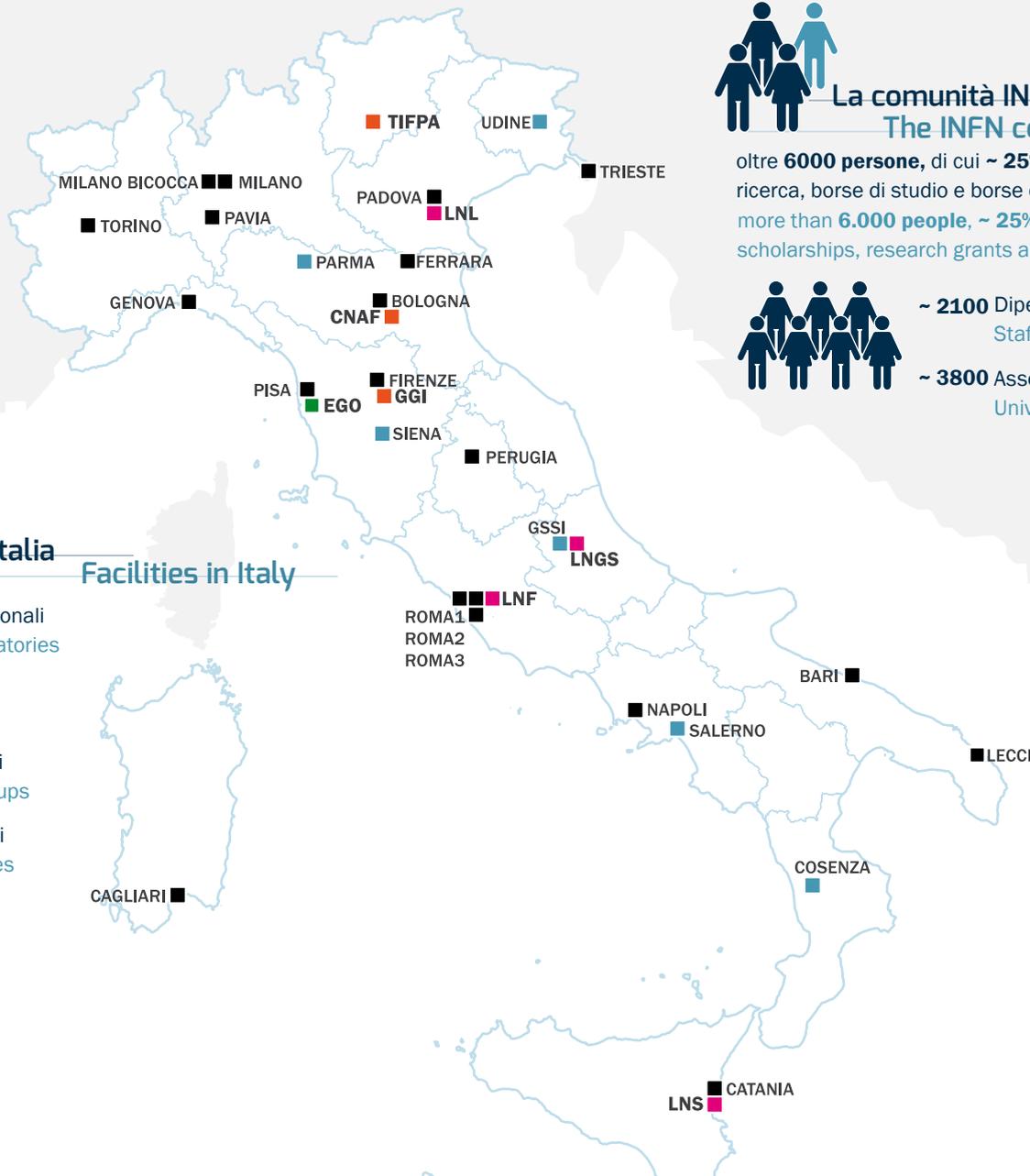
La comunità INFN The INFN community

oltre **6000 persone**, di cui ~ **25%** di assegni di ricerca, borse di studio e borse di dottorato
more than **6.000 people**, ~ **25%** of whom are scholarships, research grants and PhD scholarships



~ **2100** Dipendenti
Staff

~ **3800** Associati
University associates



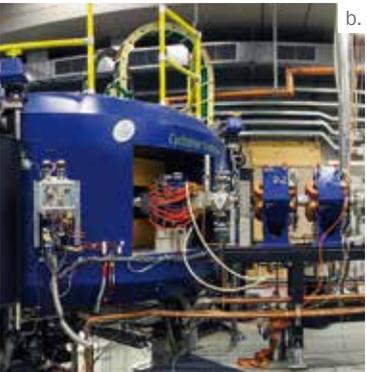
Strutture in Italia

Facilities in Italy

- Laboratori Nazionali
National Laboratories
- Sezioni
Divisions
- Gruppi collegati
Associated groups
- Centri Nazionali
National Centres
- Consorzi
Consortia



a. La grande sala sperimentale dell'acceleratore Dafne ai Laboratori Nazionali di Frascati.
The experimental hall of Dafne accelerator at Frascati National Laboratories.



b. Il ciclotrone P70 dei Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN.
The P70 cyclotron at the INFN Legnaro National Laboratories.

c. Attività di ricerca presso la sala sperimentale del Centro di Prototerapia APSS di Trento (TIFPA).
Research activities at the experimental room of the APSS Protontherapy Centre in Trento (TIFPA)

d. Uno dei moduli dell'osservatorio sottomarino per neutrini KM3NeT in fase di realizzazione con il contributo fondamentale dei Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN.
One of the modules of the KM3NeT submarine observatory for neutrinos under construction with the fundamental contribution of the Southern National Laboratories.



La scoperta del bosone di Higgs, il tassello che mancava per completare il “mosaic” del Modello Standard, ha sancito l’ennesimo successo di questa teoria. Al contempo, lo storico traguardo ha anche segnato la fine di un’epoca e l’inizio di una nuova avventura. Perché il Modello Standard, nonostante rappresenti oggi la migliore descrizione delle particelle elementari e delle loro interazioni, non rende conto di alcune questioni, che rimangono così ancora aperte: come la massa e la natura dei neutrini, o come mai la materia abbia prevalso sull’antimateria, o di che cosa sia composto quel quarto del nostro universo che viene chiamato materia oscura. Questioni alla cui soluzione i fisici dell’INFN stanno lavorando su più fronti: con gli acceleratori di particelle, con rivelatori nello spazio, su satelliti o sulla Stazione Spaziale Internazionale, con esperimenti sottomarini, o nei Laboratori sotterranei del Gran Sasso, infrastruttura al top mondiale per la fisica del neutrino e la ricerca diretta di materia oscura. Adesso, però, i fisici delle particelle devono adottare un nuovo approccio nelle loro ricerche. Se finora, infatti, si conoscevano piuttosto bene le caratteristiche di ciò che si stava cercando, e si avevano quindi indicazioni su come e dove indagare, ora si ricercano fenomeni, alcuni dei quali completamente sconosciuti, altri di cui si suppone l’esistenza per aver

Dopo due scoperte da Nobel, ora siamo alla ricerca della Nuova Fisica

10



a.

a. b. L’annuncio della scoperta del bosone di Higgs in due scatti. Peter Higgs e François Englert, che ne avevano teorizzato l’esistenza in modo indipendente nel 1964 (a) e Fabiola Gianotti allora alla guida della collaborazione ATLAS mentre presenta i risultati. Nel 2016 Gianotti ha assunto la carica di direttore generale del CERN.

The announcement of the discovery of the Higgs boson in two photos. Peter Higgs and François Englert, who had independently theorised its existence in 1964 (a) and Fabiola Gianotti then head of the ATLAS collaboration while presenting the results. In 2016 Gianotti was appointed Director General of CERN.

c. Uno degli specchi dell’interferometro per onde gravitazionali Virgo. One of the mirrors of the Virgo interferometer for gravitational waves.

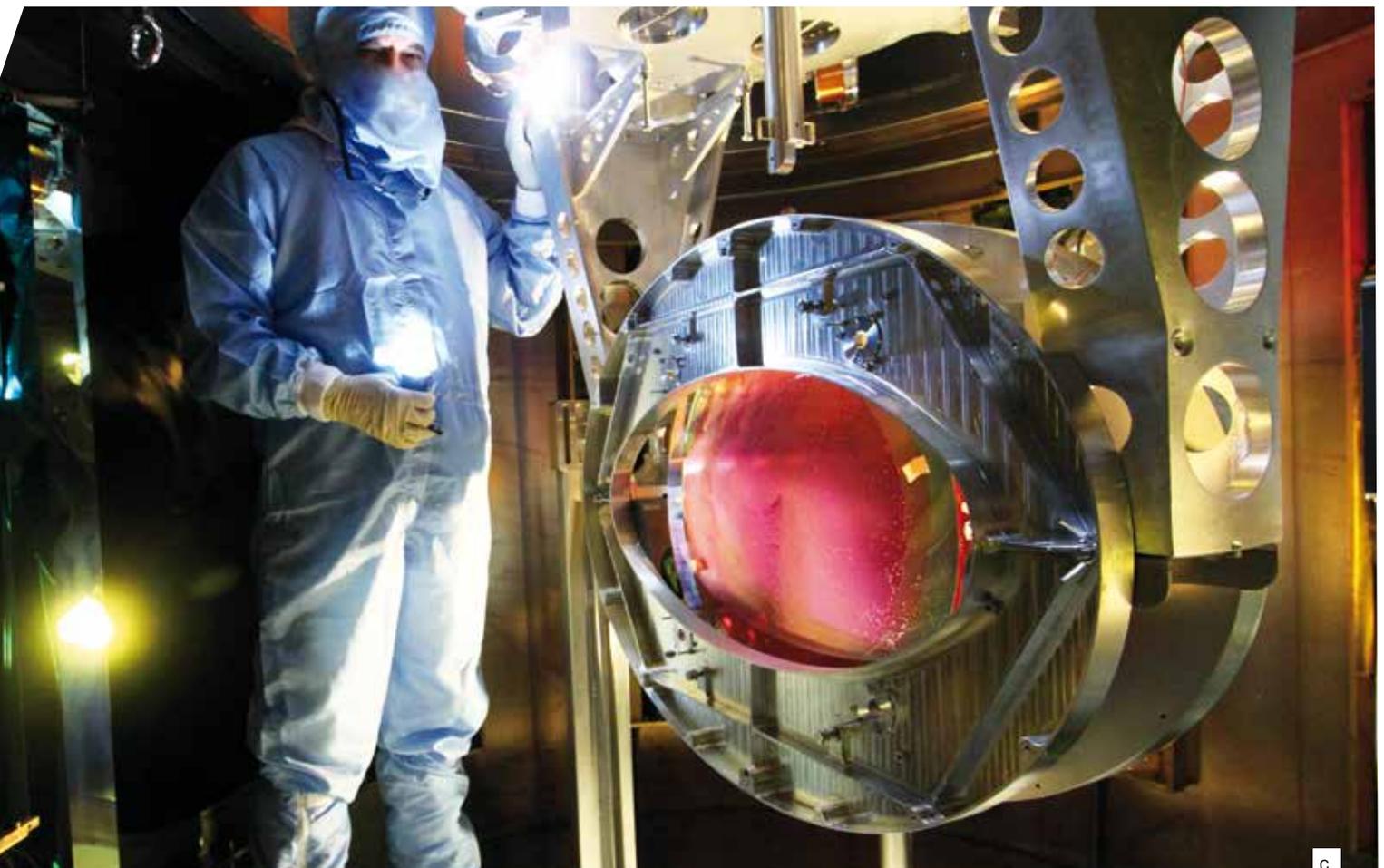


b.

After two Nobel Prize winning discoveries, we are now looking for New Physics

The discovery of the Higgs boson, the piece that was missing to complete the “mosaic” of the Standard Model, represented the umpteenth success of this theory. At the same time, the historic milestone also marked the end of an era and the beginning of a new adventure. Because the Standard Model, despite currently representing the best description of elementary particles and their interactions, does not account for certain issues, which thus still remain open: such as the mass and nature of neutrinos, or why matter has prevailed over antimatter, or what is that quarter of our universe that we call dark matter made of. INFN physicists are working on such issues on several fronts: with particle accelerators, with detectors in space, on satellites or on the International Space Station, with submarine experiments, or in the Gran Sasso underground laboratories, the world’s top infrastructure for neutrino physics and direct research on dark matter. Now, however, particle physicists need to take a new approach to their research. In fact, to date they knew quite well the characteristics of what they were looking for, and had therefore indications on how and where to look for it. While now they find themselves looking for phenomena which are either completely unknown or whose existence is only supposed, since only indications of their existence were observed.

11

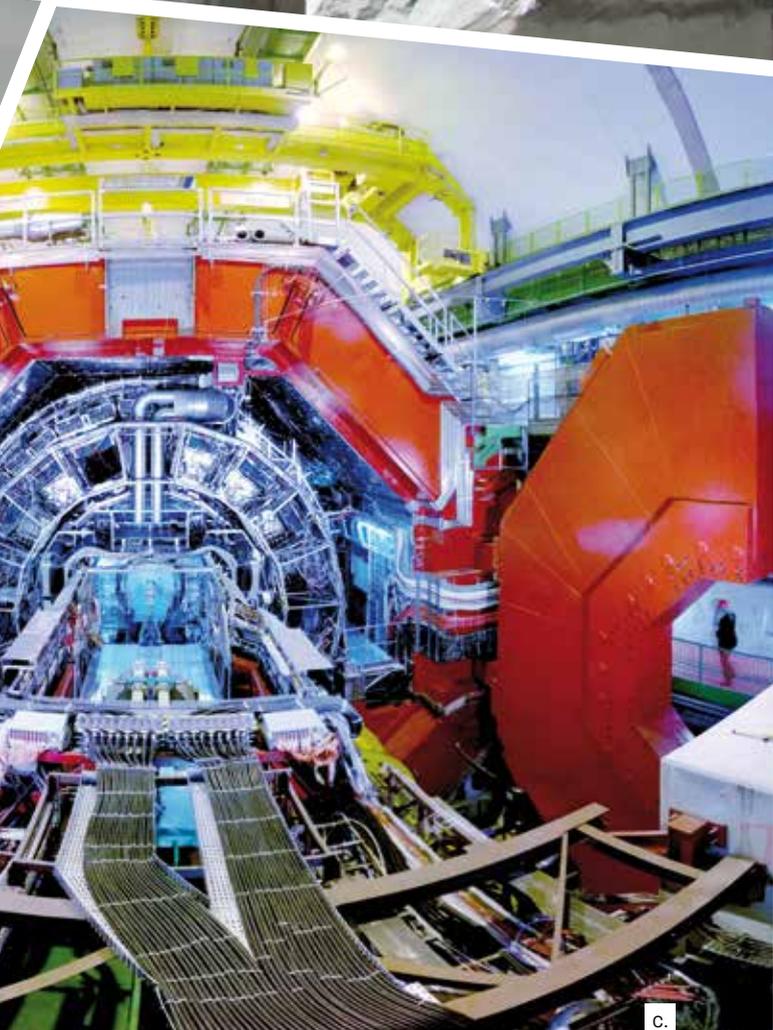


c.

osservato indicazioni della loro presenza, ma di cui non si sa ancora praticamente nulla. D'altro canto, basti pensare che oggi si conosce poco meno del 5% di ciò che compone il nostro universo: del restante 95% siamo in grado di dire solamente che circa il 25% è costituito da un altro tipo di materia, diversa da quella ordinaria che compone ciò che conosciamo, chiamata materia oscura. Mentre il restante 70% è costituito da una forma di energia completamente ignota, l'energia oscura. Tutto ciò non può che condurre attraverso un'inedita avventura verso un territorio ancora sconosciuto, che viene chiamato Nuova Fisica.

E questa non è l'unica direzione promettente nella quale ci si sta muovendo: una nuova, straordinaria finestra osservativa sul nostro universo si è aperta quando, nel 2017, il nostro interferometro Virgo e i due statunitensi LIGO hanno per la prima volta rivelato le onde gravitazionali prodotte dalla fusione di due stelle di neutroni, riuscendo a localizzare con grande precisione la loro sorgente. Questo evento ha consentito agli osservatori di radiazione elettromagnetica, a terra e nello spazio, di puntare in direzione dell'evento praticamente in tempo reale: si è riusciti così a osservare "in diretta" il cataclisma astrofisico, come mai era stato possibile fare prima. Questa meravigliosa scoperta ha inaugurato una nuova era per l'esplorazione del cosmo, dando inizio all'astronomia multimessaggero, frutto dello studio corale di tutti i messaggeri cosmici: onde gravitazionali, radiazione elettromagnetica, raggi cosmici carichi, neutrini. ■





Nowadays we know a little less than 5% of what our universe is made of: of the remaining 95%, we can only say that approximately 25% consists of another type of matter, different from the ordinary matter that what we know is made of, called dark matter. While the remaining 70% consists of a form of energy completely unknown to us: the dark energy. All this can only lead us through an unprecedented adventure towards an unknown territory, called New Physics.

And this is not the only promising direction in which we are moving: a new, extraordinary observational window on our universe opened when, in 2017, the Virgo interferometer and the two US LIGO interferometers detected, for the first time, the gravitational waves produced by the fusion of two neutron stars, and located their source with great precision. This event allowed the electromagnetic radiation observatories, on the ground and in space, to point in the direction of the event practically in real time and to observe the astrophysical cataclysm “live”, as it had never been possible to do before. This marvellous discovery inaugurated a new era for the exploration of the cosmos, giving rise to multimessenger astronomy, the result of the choral study of all cosmic messengers: gravitational waves, electromagnetic radiation, charged cosmic rays and neutrinos. ■

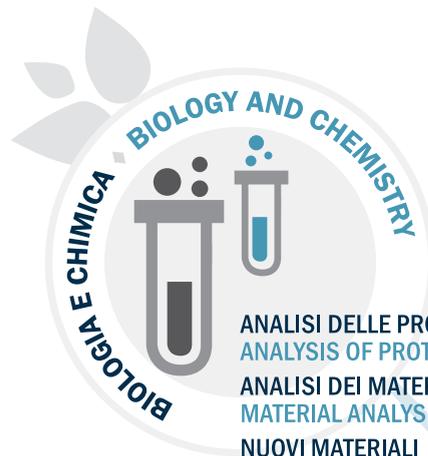
a. In primo piano, il rivelatore AMS per lo studio dei raggi cosmici nello spazio. L'esperimento è in attività dal 2011 a bordo della Stazione Spaziale Internazionale.

In the foreground, the AMS detector for the study of cosmic rays in space. The experiment has been running since 2011 on board the International Space Station.

b. I fotomoltiplicatori all'interno di DarkSide, esperimento per la ricerca diretta di materia oscura ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN. The photomultipliers inside DarkSide, an experiment for the direct research for dark matter at the INFN Gran Sasso National Laboratories.

c. Dettaglio del rivelatore di particelle dell'Esperimento Alice a LHC. Detail of the particle detector from the ALICE Experiment at LHC.

La ricerca fondamentale, teorica e sperimentale, rappresenta da sempre il mandato principale dell'Istituto: è il cuore della sua missione. Accanto a queste attività l'INFN dedica anche attenzione e impegno alla valorizzazione delle applicazioni che possono derivarne e che possono così rappresentare un'opportunità di innovazione tecnologica. La ricerca fondamentale, infatti, ha bisogno di tecnologie avanzate che, non facendo spesso ancora parte del nostro patrimonio di competenze e delle capacità industriali delle imprese, richiedono di escogitare soluzioni inedite: questo fatto rappresenta un impulso unico per lo sviluppo di tecnologie innovative in campi specifici. In questi anni numerose aziende italiane, soprattutto medio-piccole, hanno cambiato la propria storia industriale entrando nella filiera della fornitura di tecnologie avanzate per la ricerca di base, grazie all'incontro con la fisica fondamentale e le sue commesse. ■



ANALISI DELLE PROTEINE
ANALYSIS OF PROTEINS

ANALISI DEI MATERIALI
MATERIAL ANALYSIS

NUOVI MATERIALI
NEW MATERIALS

MODELLI BIOCHIMICI COMPUTAZIONALI
COMPUTATIONAL BIOCHEMICAL MODELS

ANALISI DI ELEMENTI IN ULTRA-TRACCE
ULTRA TRACE ELEMENTAL ANALYSIS

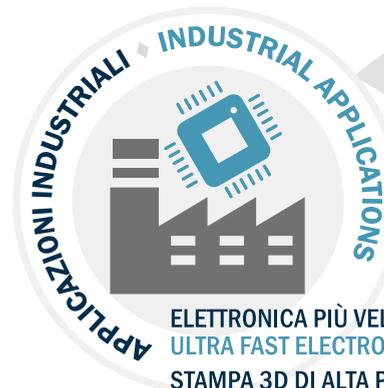
RADIOBIOLOGIA
RADIOBIOLOGY

Particelle per la società

Particles for society

14

Fundamental research, both theoretical and experimental, has always been the INFN's mission. Alongside these activities, INFN also dedicates attention and commitment to the exploitation of applications that may derive from them and that may thus represent an opportunity for technological innovation. Indeed, fundamental research requires advanced technologies which, often not yet forming part of our skill set and the industrial capabilities of companies, require new solutions to be devised; this fact represents a unique impetus for the development of innovative technologies in specific fields. In recent years, many Italian companies, especially small and medium sized ones, have changed their industrial history by entering the supply chain of advanced technologies for basic research, thanks to the encounter with fundamental physics and its projects. ■



ELETTRONICA PIÙ VELOCE

ULTRA FAST ELECTRONICS

STAMPA 3D DI ALTA PRECISIONE

ADDITIVE MANUFACTURING

MARCATURA ISOTOPICA

ISOTOPIC LABELING

ANALISI COMPONENTI PER LO SPAZIO

SPACE COMPONENTS ANALYSIS

SENSORI E DISPOSITIVI PER LO SPAZIO

SPACE SENSORS AND DEVICES

ENERGIA E SICUREZZA ♦ **ENERGY AND SAFETY**



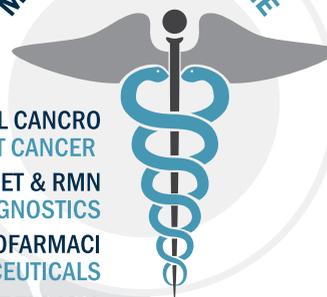
FUSIONE NUCLEARE
NUCLEAR FUSION
MONITORAGGIO SCORIE RADIATIVE
MONITORING RADIOACTIVE WASTE
MISURE DI BASSISSIMA RADIOATTIVITÀ
VERY LOW RADIOACTIVITY MEASUREMENTS

CALCOLO ♦ **COMPUTING**



GRID/CLOUD
GRID/CLOUD
WORLD WIDE WEB
WORLD WIDE WEB
SUPERCALCOLO
SUPERCOMPUTING
ARCHITETTURE DI CALCOLO
COMPUTER ARCHITECTURES

MEDICINA ♦ **MEDICINE**



ADROTERAPIA E BNCT PER LA CURA DEL CANCRO
HADRON THERAPY AND BNCT TO TREAT CANCER
DIAGNOSTICA PET & RMN
PET & NMR DIAGNOSTICS
SVILUPPO DI NUOVI RADIOFARMACI
DEVELOPMENT OF NEW RADIOPHARMACEUTICALS
DOSIMETRIA PER DIAGNOSTICA E TERAPIA
DOSIMETRY FOR DIAGNOSTICS AND THERAPY

ANALISI BENI CULTURALI ♦ **ANALYSIS OF CULTURAL HERITAGE**



ANALISI NON DISTRUTTIVE
NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS
DATAZIONE REPERTI STORICI/ARCHEOLOGICI
DATING HISTORICAL/ARCHAEOLOGICAL FINDS
ANALISI DI AUTENTICITÀ
ANALYSIS OF AUTHENTICITY

AMBIENTE ♦ **ENVIRONMENT**



CONTROLLO EMISSIONE DI GAS
MONITORING GAS EMISSIONS
CONTROLLO POLVERI NELL'ARIA
MONITORING CONCENTRATIONS OF DUST IN AIR
MAPPATURA RADIOATTIVITÀ DEL SUOLO
SOIL RADIOACTIVITY MAPPING
ANALISI CLIMATOLOGICHE
CLIMATE ANALYSIS

RICERCA DI BASE
FUNDAMENTAL RESEARCH

ricadute tecnologiche
della ricerca
in fisica fondamentale

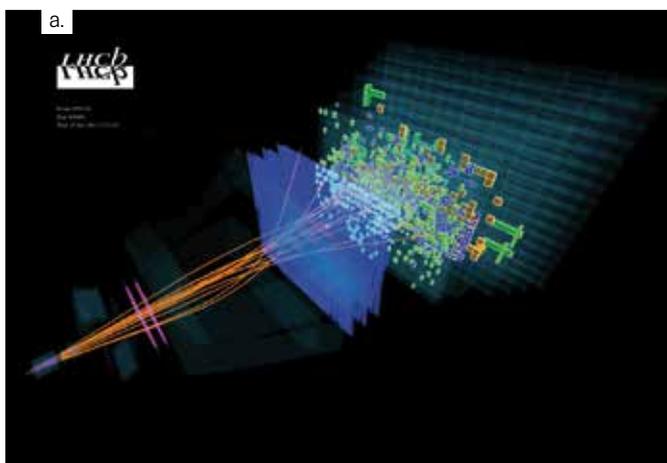
technological fall-out
of research
in fundamental physics

Per il calcolo Computing

Sono state le necessità di comunicazione all'interno della comunità dei fisici delle particelle a portare, alla fine degli anni '80 del secolo scorso, alla nascita del web: il www è stato, infatti, ideato al CERN e da subito reso disponibile a tutti gratuitamente. Gli anni 2000 hanno poi visto la nascita della rete planetaria grid, realizzata per immagazzinare e rendere accessibili i dati prodotti dall'acceleratore LHC, e usata da scienziati di tutto il pianeta. Negli anni più recenti, abbiamo assistito alla nascita del cloud computing, e dell'impiego della piattaforma cloud anche al di fuori del contesto della ricerca scientifica: l'INFN, per esempio, è impegnato in progetti per l'utilizzo della cloud nei servizi pubblici per il territorio. Gli strumenti computazionali messi a punto per la fisica delle particelle hanno, inoltre, offerto l'opportunità all'INFN di entrare in grandi progetti globali anche in discipline apparentemente lontane dalla sua missione, come per esempio le neuroscienze. ■

It was the need for communication within the community of particle physicists that led, at the end of the 1980's, to the birth of the web: the www was, in fact, conceived at CERN and immediately made available to everyone free of charge. The 2000's then saw the birth of the grid planetary network, designed to store and make the data produced by the LHC accelerator accessible, and used by scientists around the planet. In recent years, we have witnessed the emergence of cloud computing, and the use of the cloud platform also outside the context of scientific research: INFN is engaged in programs to support the use of the cloud in local public services. The computational tools developed for particle physics have also provided the opportunity for INFN to enter large global projects, even in disciplines seemingly distant from its mission, such as the neurosciences. ■

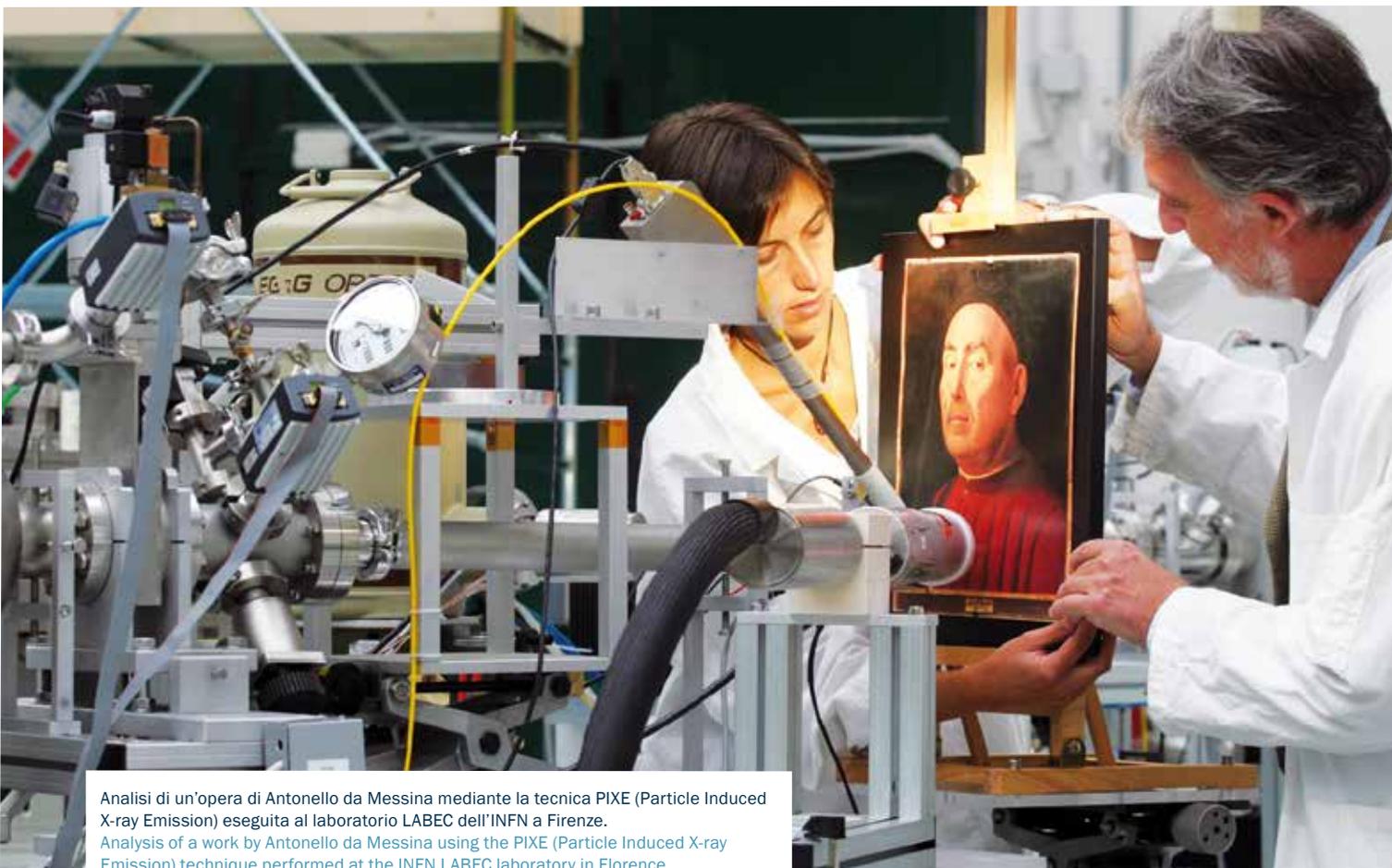
16



a. Un evento delle prime collisioni di ioni pesanti con fasci stabili registrata da LHCb: è necessaria una enorme capacità di calcolo per gestire la ricchezza e la complessità dei dati prodotti negli esperimenti di fisica delle particelle.
One of the first heavy-ion collisions with stable beams recorded by LHCb: an enormous computing power is required to manage the huge amount and the complexity of data resulting from particle physics experiments.

b. Una delle sale del CNAF, il centro di calcolo nazionale dell'INFN. Big data e supercomputing sono di grande attualità, non solo in fisica: la nostra società sta entrando in una nuova era, in cui una quantità senza precedenti di dati sarà prodotta e dovrà essere gestita, preservata e resa disponibile.
A hall of CNAF, the INFN National Centre for computing. Big data and supercomputing are cutting-edge topics, not only for physics research but also for the whole society. Nowadays society is entering a new era, an unprecedented amount of data will be produced and it will have to be managed, preserved and be ready available.





Analisi di un'opera di Antonello da Messina mediante la tecnica PIXE (Particle Induced X-ray Emission) eseguita al laboratorio LABEC dell'INFN a Firenze.
Analysis of a work by Antonello da Messina using the PIXE (Particle Induced X-ray Emission) technique performed at the INFN LABEC laboratory in Florence.

Gli acceleratori di particelle vengono utilizzati per analizzare opere d'arte e reperti antichi. È così possibile rivelare i diversi strati di un dipinto, datare un reperto o analizzare il tipo di inchiostro di un manoscritto. Quale tecnica impiegare dipende dall'obiettivo della ricerca (datazione o analisi della composizione) e dal tipo di materiale (organico o inorganico). L'INFN ha due laboratori dedicati a queste attività: il LANDIS ai Laboratori Nazionali del Sud di Catania e il LABEC a Firenze, dove l'acceleratore di particelle è impiegato anche per studi di impatto ambientale, come l'analisi del particolato atmosferico. L'Istituto è inoltre impegnato in progetti, come Machina, sviluppato in collaborazione con il CERN per un acceleratore di nuova generazione installato in un centro di ricerca e restauro di opere d'arte, o come CHNet, rete dell'INFN per i beni culturali. ■

17

Per i beni culturali e l'ambiente Cultural heritage and environment

Particle accelerators are used to analyse ancient works of art and artefacts. It is thus possible to detect the different layers of a painting, date an artefact or analyse the type of ink in a manuscript. The technique used depends on the research objective (dating or composition analysis) and the type of material (organic or inorganic). INFN has two laboratories dedicated to these activities: LANDIS, at the Southern National Laboratories in Catania, and LABEC in Florence, where the particle accelerator is also used for environmental impact studies, such as the analysis of atmospheric particulates. The Institute is also involved in projects such as Machina, developed in collaboration with CERN for a new generation accelerator installed in a centre for research and restoration of works of art, or in networks such as CHNet, the INFN network for cultural heritage. ■

Le tecnologie sviluppate per la fisica delle particelle sono utilizzate con successo sia nella diagnostica sia nella terapia medica, e per lo studio e la produzione di nuovi farmaci. In particolare, la fisica degli acceleratori si è dimostrata cruciale per sviluppare terapie oncologiche, come l'adroterapia, contraddistinte da altissima precisione e basso impatto sui tessuti sani. Anche la diagnostica per immagini deve moltissimo alla fisica nucleare, che ha portato allo sviluppo della Tomografia Computerizzata (TC), e della prima applicazione pratica dell'antimateria con la Tomografia a Emissione di Positroni (PET). Inoltre, l'esperienza maturata nello sviluppo di algoritmi e software per l'analisi di immagini ha trovato applicazione in programmi di analisi automatica per le attività di screening. A Catania, ai Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN è attivo CATANA, il primo centro di protonterapia in Italia per il trattamento del melanoma oculare, che utilizza il ciclotrone dei Laboratori per l'irradiazione dei pazienti. A Pavia, i fisici e i tecnici dell'INFN hanno fornito un sostanziale contributo alla costruzione del sincrotrone del Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO), l'acceleratore di particelle che ne fa uno dei pochi centri al mondo dove si pratica l'adroterapia sia con protoni sia con ioni carbonio. Mentre a Trento, il centro nazionale dell'INFN TIFPA, grazie alle sue competenze nell'ambito delle macchine per la terapia con protoni, ha contribuito in modo determinante alla nascita del centro di protonterapia della Regione. ■

Per la medicina For medicine

The technologies developed for particle physics are successfully used in both medical diagnostics and therapy, and for the study and manufacture of new drugs. In particular, accelerator physics has proved crucial in developing cancer therapies, such as hadrontherapy, that are characterised by very high precision and low impact on healthy tissues. Diagnostic imaging also owes a great deal to nuclear physics, which has led to the development of Computerised Tomography (CT), and the first practical application of antimatter with Positron Emission Tomography (PET). Moreover, the experience acquired in the development of image analysis algorithms and software has found application in automatic analysis programs for screening activities. In Catania, CATANA, the first proton therapy centre in Italy for the treatment of ocular melanoma, is in operation at the Southern National Laboratories, making use of the cyclotron of the Laboratories for the irradiation of patients. In Pavia, INFN physicists and technicians have made a substantial contribution to the construction of the synchrotron of the National Centre for Oncological Hadrontherapy (CNAO). The synchrotron is the particle accelerator that makes CNAO one of the few centres in the world where hadrontherapy is practised with both protons and carbon ions. While in Trento, the INFN national centre TIFPA, thanks to its expertise in the field of proton therapy machines, has made a significant contribution to founding the proton therapy centre of the Region. ■

18



Fisica è cultura

Physics is culture

L'INFN è da anni impegnato nei diversi ambiti di quella che viene chiamata terza missione: vale a dire, il trasferimento tecnologico, l'alta formazione e la diffusione della cultura scientifica.

L'Istituto promuove le attività di trasferimento tecnologico, e supporta la valorizzazione delle tecnologie innovative, identificandole, sostenendole, tutelando con gli opportuni strumenti, ricercando partner industriali: tutto ciò per favorire la loro maturazione e immissione nel tessuto produttivo e dunque sociale.

L'Istituto partecipa al processo di alta formazione nel nostro Paese: per i giovani, i docenti e il suo stesso personale. Ha un ruolo importante sia nei programmi di laurea magistrale, sia nei dottorati in fisica, anche sostenendo e seguendo numerose tesi. L'Istituto dà inoltre il

Since many years INFN has been involved in the different areas of the so-called third mission: i.e. technology transfer, advanced training and the dissemination of scientific culture.

The Institute promotes technology transfer activities and supports the exploitation of innovative technologies by identifying, supporting and protecting them with appropriate tools, and by seeking industrial partners: all this to facilitate their maturity and introduction in the production and therefore social contexts.

The Institute also contributes to the training of high school students through scholarships, internships, teacher training and school-work projects.

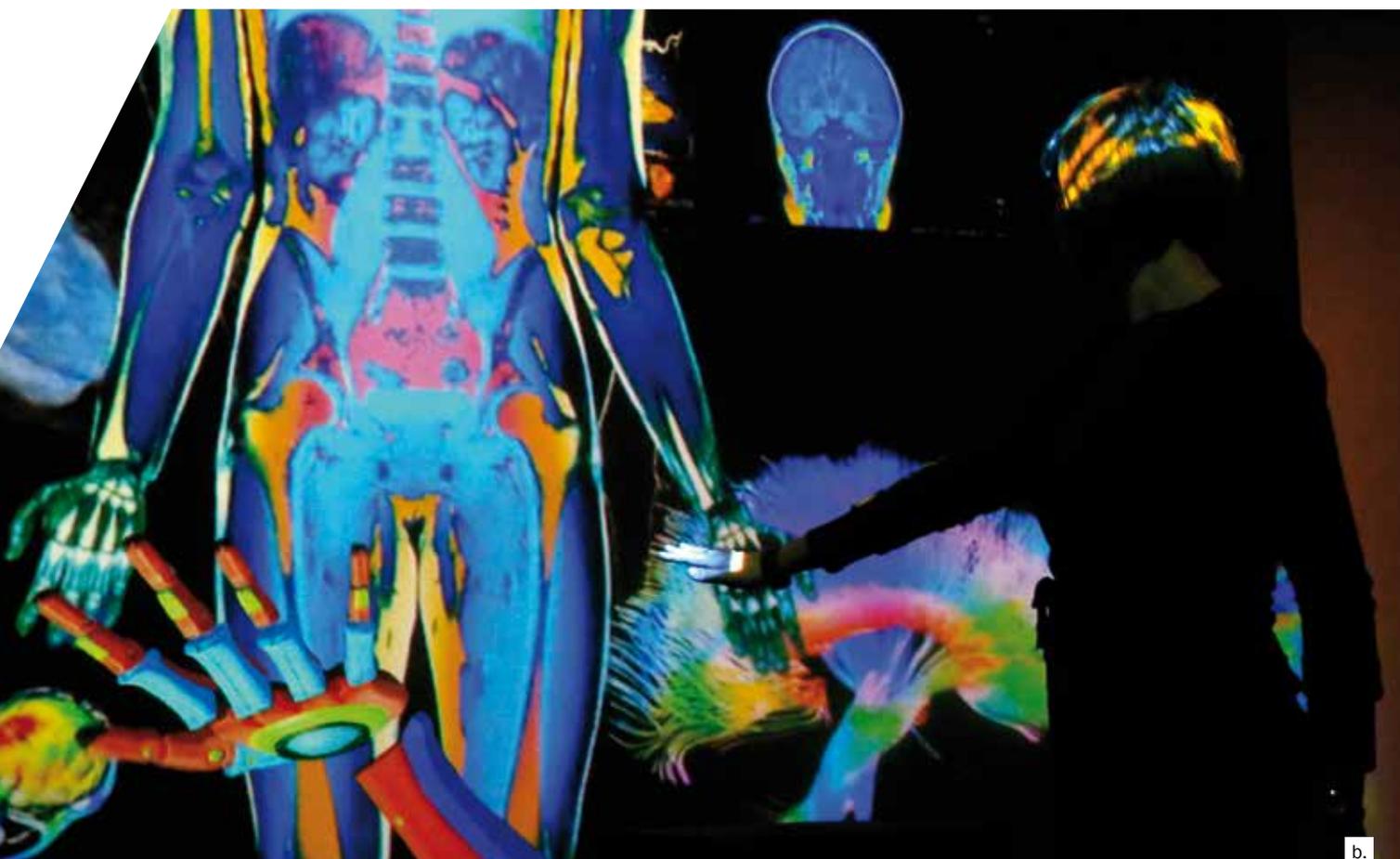
Also dedicated to schools is the INFN institutional journal *Asimmetrie*, a monograph on frontier research aimed

a. Una sala di trattamento al Centro di Adroterapia Oncologica (CNAO) di Pavia.

A treatment room at the National Centre for Oncological Adrotherapy (CNAO) in Pavia.

b. Un'installazione interattiva allestita in *Uomo Virtuale*, una delle grandi mostre progettate e realizzate dall'INFN per il grande pubblico.

An interactive installation set up in *Uomo Virtuale - Virtual Man*, one of the major exhibitions designed and produced by INFN for the general public.



b.

suo contributo alla formazione degli studenti delle scuole superiori, attraverso borse di studio, stage, aggiornamento degli insegnanti, progetti di alternanza scuola-lavoro. Dedicata sempre alle scuole, è la rivista istituzionale dell'INFN *Asimmetrie*, una monografia sulle ricerche di frontiera rivolta principalmente agli insegnanti come strumento di aggiornamento e approfondimento dei programmi scolastici. L'INFN riveste dunque un ruolo importante nella comunicazione della fisica, promuovendo, progettando e realizzando iniziative, a livello internazionale, nazionale e locale, di diffusione e valorizzazione della cultura scientifica, pensate sia per il grande pubblico, sia per pubblici specifici. L'INFN, consapevole del ruolo della fisica nella produzione di cultura, nella progettazione del futuro e nella formazione dei cittadini di domani, oltre alle tradizionali iniziative, ricerca e sperimenta nuove forme di comunicazione, dando risalto alla fondamentale relazione tra la fisica e gli altri ambiti della conoscenza. ■

mainly at teachers as a tool for updating and deepening school curricula.

INFN therefore plays an important role in the communication of physics, promoting, designing and implementing initiatives, at the international, national and local level, for the dissemination and promotion of scientific culture, designed both for the general public and for specific targets. INFN is aware of the role of physics in the production of culture, in planning the future of societies and in training the citizens of tomorrow. Therefore, in addition to traditional initiatives, it studies and experiments new forms of communication, emphasising the fundamental relationship between physics and other areas of knowledge. ■



a.

a. Una lezione al Galileo Galilei Institute, il Centro Nazionale dell'INFN per l'alta formazione in fisica teorica, a Firenze. A lecture at the Galileo Galilei Institute, the INFN national centre for advanced studies in theoretical physics, in Florence.



b.

b. Un momento della conferenza-spettacolo *Space, Time, Gravity*, uno degli eventi progettati e realizzati dall'INFN in cui la narrazione scientifica si accompagna alle performance artistiche. A moment of the *Space, Time, Gravity* conference-show, one of the events designed and performed by INFN in which scientific narration is accompanied by artistic performances.



c.

c. Registrazione di una trasmissione televisiva dedicata alla fisica delle particelle. Television footage of a broadcast dedicated to particle physics.



d.

d. Un momento della conferenza-spettacolo *Quello che non so*, con protagonisti i ricercatori dell'INFN. A moment of the *Quello che non so - What I don't know* conference-show, featuring INFN researchers.

PROGETTO EDITORIALE E TESTI // EDITORIAL BOARD

Ufficio Comunicazione INFN

PROGETTO GRAFICO // GRAPHIC DESIGN

F. Cuicchio - Ufficio Comunicazione INFN

UFFICI DI PRESIDENZA // HEAD QUARTERS

Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma

tel. + 39 06 6840031

presidenza@presid.infn.it

UFFICIO COMUNICAZIONE // COMMUNICATIONS OFFICE

Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma

tel. + 39 06 6868162

comunicazione@presid.infn.it

stampato nel mese di luglio 2018 dalla tipografia Grafica Duemila



www.infn.it



@INFN_



INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



@infn_insights

COPERTINA // COVER

Evento raccolto con ICARUS-T600 nel 2010 (© INFN)

Event collected with ICARUS-T600 in 2010 (© INFN)

CREDITI FOTOGRAFICI // PHOTO CREDITS

pag 1 © 2008 CERN, *Michael Hoch, Maximilien Brice*; pagg 2 e 3 © iStock;
pag 4 © INFN-LNF; pag 5 © CERN, *Claudia Marcelloni*; pag 7 © EGO;
pag 8 © *R. Corrieri e P. De Perio*; pag 9 fig a © INFN-LNF, *Vinicio Tullio Photowalk 2015*;
pag 9 fig b © INFN-LNL, *Daniele Ceccato*; pag 9 fig c © TIFPA, *Marta Rovituso*;
pag 9 fig D © KM3NeT; pag 10 fig a e b © CERN; pag 11 © EGO, *Maurizio Perciballi*;
pag 12 fig a V© NASA; pag 12 fig b © Darkside Collaboration, *Paolo Lombardi INFN-MI*;
pag 12 fig c © *John Vogel/wikimedia CC BY-SA*; pag 16 fig a © CERN;
pag 16 fig b © INFN-CNAF; pag 17 © INFN; pag 18 © CNAO;
pag 19 © INFN, *Gerardo Teta*; pag 20 fig a © GGI-INFN;
pag 20 fig b © Festival della Scienza di Genova; pag 20 fig c © INFN; pag 20 fig d © INFN;

