

Volume 11

IL COLLE
di GALILEO

1 · 2022

IL COLLE di GALILEO



ISSN
2281-7727



Il Colle di Galileo

Volume 11, 1, 2022



Il Colle di Galileo

Direttore

Daniele Dominici, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: dominici@fi.infn.it

Comitato di Redazione

Elisabetta Baldanzi, *CNR Istituto Nazionale di Ottica*
email: elisabetta.baldanzi@cnr.it

Roberto Casalbuoni, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: casalbuoni@fi.infn.it

Stefania De Curtis, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze*
email: decurtis@fi.infn.it

Daniele Galli, *INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
email: daniele.galli@inaf.it

Comitato Scientifico

Oscar Adriani, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze, Direttore*
email: oscar.adriani@unifi.it

Roberto Casalbuoni, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: casalbuoni@fi.infn.it

Francesco Saverio Cataliotti, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: francescosaverio.cataliotti@unifi.it

Stefania De Curtis, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze*
email: decurtis@fi.infn.it

Paolo De Natale, *CNR Istituto Nazionale di Ottica*
email: paolo.denatale@ino.it

Daniele Dominici, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: dominici@fi.infn.it

Pier Andrea Mandò, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: mando@fi.infn.it

Giuseppe Pelosi, *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Firenze*
email: giuseppe.pelosi@unifi.it

Giacomo Poggi, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*
email: poggi@fi.infn.it

Maria Sofia Randich, *INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Direttore*
email: sofia.randich@inaf.it

Presidente del Sistema Museale d'Ateneo

Marco Benvenuti, *Dipartimento di Scienze della Terra*
email: m.benvenuti@unifi.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Versione elettronica / Online version:
<http://www.fupress.com/cdg>

ISSN (print) 2281-7727; ISSN (online) 2281-9711

© 2022 Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
Firenze University Press
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy
www.fupress.com/
Printed in Italy



Sommario

Table of contents

SOMMARIO

- 5 Editoriale
Editorial
Daniele Dominici

PILLOLE DI STORIA / HISTORICAL PILLS

- 9 La fisica fiorentina dall'arrivo di Garbasso agli anni '60
Florentine physics from the arrival of Garbasso to the 1960s
Roberto Casalbuoni
- 21 La ricerca al Dipartimento di Fisica e Astronomia
Research at the Department of Physics and Astronomy
Duccio Fanelli
- 33 Il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BENi Culturali)
The LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BENi Culturali - Laboratory of Nuclear Techniques for the Environment and Cultural Heritage)
Mariaelena Fedi, Pier Andrea Mandò
- 45 Storia e struttura del LENS
History and structure of the LENS
Elisabetta Cerbai, Vincenzo Schettino
- 55 Il "Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics" di Arcetri
The Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics in Arcetri
Stefania De Curtis
- 63 Le attività di Astrofisica al Garbasso
Astrophysics at the Garbasso
Marco Romoli, Stefania Salvadori



Il Colle di
Galileo

Daniele Dominici

Editoriale

Editorial

Il 5 Novembre 2021 si è tenuto ad Arcetri, nella sede storica dell'Istituto di Fisica dell'Università di Firenze, il convegno *I primi cento anni di Fisica al Garbasso*. Nel novembre 1921 veniva infatti inaugurata la sede in Arcetri dell'Istituto di Fisica del Regio Istituto di Studi Superiori Pratici e di Perfezionamento di Firenze; tre anni dopo, con l'istituzione dell'Università degli Studi di Firenze, sarebbe stato creato il Corso di Laurea in Fisica. La nuova sede, fortemente voluta e realizzata in pochi anni da Antonio Garbasso, che, oltre ad esser stato una figura di rilievo della fisica del primo Novecento, fu anche sindaco di Firenze, ha ospitato l'Istituto (poi Dipartimento) di Fisica fino al suo trasferimento al Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino nel 2001. La sede storica è ancora utilizzata: ospita alcuni gruppi che svolgono ricerca in ambito astrofisico, il Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics, Centro Nazionale di Studi Avanzati dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, iniziativa in collaborazione con l'ateneo di Firenze, e il QSTAR, un centro dedicato alle tecnologie quantistiche.

Grazie alla lungimiranza di Garbasso, l'istituto ebbe non solo una nuova sede ma anche un gruppo di ricercatori molto brillanti, tra i quali Enrico Fermi, Franco Rasetti, Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Daria Bocciarelli, Giuseppe Occhialini e Giulio Racah che, insieme al gruppo di Via Panisperna, portarono la fisica italiana a competere a livello internazionale nel campo della fisica nucleare e dei raggi cosmici. Gli eredi di questa scuola hanno poi contribuito alla na-

On 5 November 2021, the conference *I primi cento anni di Fisica al Garbasso* (The first one hundred years of Physics at the Garbasso) was held at Arcetri, at the Institute of Physics of the University of Florence. In November 1921, the Institute of Physics of the Regio Istituto di Studi Superiori Pratici e di Perfezionamento di Firenze was opened in Arcetri; three years later, with the establishment of the University of Florence, a degree course in Physics was created. The new building, greatly desired and built in just a few years by Antonio Garbasso, who was not only an important figure in early 20th century physics but also the mayor of Florence, housed the Institute (later Department) of Physics until it was transferred to the Science and Technology Centre in Sesto Fiorentino in 2001. The historical premises are still in use: they house a number of groups carrying out research in the field of astrophysics, the Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics, the National Centre for Advanced Studies of the National Institute of Nuclear Physics, an initiative in collaboration with the University of Florence, and the QSTAR, a centre dedicated to quantum technologies.

scita di alcune linee di ricerca tuttora presenti nel dipartimento e all'apertura di nuove linee e iniziative scientifiche di rilievo.

Il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'ateneo fiorentino ha colto l'occasione del centenario per organizzare una conferenza in cui ripercorrere alcuni dei numerosi e rilevanti contributi dei fisici fiorentini del passato e fornire un panorama sulle ricerche e sulle iniziative scientifiche attualmente perseguite presso il Dipartimento. La conferenza, cui hanno portato il loro saluto il Presidente della Regione Toscana Eugenio Giani e l'assessora Alessandra Nardini, la Rettrice Alessandra Petrucci, Luisa Cifarelli e Massimo Inguscio, è stata presieduta da Paolo Blasi.

In questo numero della rivista vengono riportati i contributi presentati al convegno.

Thanks to Garbasso's far-sightedness, the institute was given not only a new home but also a group of brilliant researchers, including Enrico Fermi, Franco Rasetti, Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Daria Bocciarelli, Giuseppe Occhialini and Giulio Racah who, together with the Via Panisperna group, brought Italian physics to compete internationally in the field of nuclear physics and cosmic rays. The heirs to this school then contributed to the birth of some lines of research that are still present in the department and to the opening of important new scientific lines and initiatives.

The Department of Physics and Astronomy of the University of Florence used the centenary as the perfect opportunity to organise a conference to look back over some of the many significant contributions made by Florentine physicists in the past and to provide an overview of the research and scientific initiatives currently being pursued at the Department. The conference was opened by the President of the Region of Tuscany Eugenio Giani and Councillor Alessandra Nardini, the Rector Alessandra Petrucci, Luisa Cifarelli and Massimo Inguscio and was chaired by Paolo Blasi.

This issue of the journal features the contributions presented at the conference.



Figura 1. Il Presidente della Regione Toscana Eugenio Giani .
Figure 1. The President of the Region of Tuscany Eugenio Giani.



Figura 2. Vincenzo Schettino, Professore emerito dell'Università di Firenze, durante il suo intervento.
Figure 2. Vincenzo Schettino, Professor emeritus of the University of Florence, during his intervention.

Roberto Casalbuoni

La fisica fiorentina dall'arrivo di Garbasso agli anni '60

Florentine physics from the arrival of Garbasso to the 1960s

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze, Sezione INFN di Firenze

Riassunto. In occasione del centenario dall'edificazione dell'Istituto di Fisica ad Arcetri, se ne ripercorre la storia fino agli anni '60.

Parole chiave. Arcetri, Garbasso, Fermi, Rossi, Occhialini.

Nel 1859, nasce a Firenze l'Istituto di Studi Superiori Pratici e di Perfezionamento come continuazione ideale dello «Studium generale et Universitas scholarium». Contemporaneamente alla creazione dell'Istituto viene costituita, alla Specola, la Sezione di Scienze Fisiche e Naturali. L'Istituto viene equiparato nel 1876, a livello di funzionamento interno, con le altre Università. L'anno dopo si istituisce la Facoltà di Scienze Fisiche e Naturali¹. Contemporaneamente alla costituzione della Università (1924) vede la luce il corso di laurea in fisica². Si creano così nuovi corsi e quindi la possibilità di attrarre dei giovani brillanti. All'opera di reclutamento si dedica Antonio Garbasso (vedi Figura 1) che nel 1913 viene chiamato a ricoprire la cattedra di Fisica, fino ad allora assegnata a Antonio Ròiti.

Abstract. The centenary of the construction of the Institute of Physics at Arcetri is marked by retracing its history up to the 1960s.

Keywords. Arcetri, Garbasso, Fermi, Rossi, Occhialini.

The Istituto di Studi Superiori Pratici e di Perfezionamento was established in Florence in 1859, as the ideal continuation of the «Studium generale et Universitas scholarium». The Physical and Natural Sciences Section was founded at the Specola at the same time. In 1876, the Institute was granted equal status, in terms of its internal operations, with the other Universities. The following year witnessed the establishment of the Faculty of Physical and Natural Sciences¹. In the same year that the University was founded (1924), the bachelor's degree course in physics was launched². The creation of new courses attracted brilliant young minds. They were recruited by Antonio Garbasso (see Figure 1), called upon in 1913 to take the chair of



Antonio Garbasso è stato una figura fondamentale per la fisica fiorentina e a buon diritto può esserne considerato il padre fondatore. Nasce a Vercelli nel 1871, si laurea in fisica a Torino nel 1892 e studia con fisici famosi quali Hertz a Bonn e Helmholtz a Berlino. Diventa Professore di Matematica a Pisa nel 1895. Va poi a Torino e Genova sino al 1913, anno in cui si trasferisce a Firenze. È stato un ottimo fisico, si è occupato di ottica (spiegando il fenomeno del miraggio) e di spettroscopia. In particolare, fornisce la spiegazione teorica dell'effetto Stark (scoperto anche da Lo Surdo a Firenze). Ma Garbasso è stato anche una importante figura pubblica. Nel campo della fisica, facendo il Presidente della SIF per due periodi, 1912-1914 e 1921-1925, e il Presidente del Comitato di Astronomia, Matematica e Fisica del CNR. In campo politico è stato Sindaco di Firenze, poi Podestà nel 1924-1928 ed infine Senatore del Regno (1924). Garbasso ha avuto un ruolo importante nel dibattito politico-culturale che ha accompagnato la riforma dell'istruzione di Giovanni Gentile, opponendosi alla impostazione prettamente umanistica a danno delle discipline scientifiche.



Figura 1. Antonio Garbasso.

Figure 1. Antonio Garbasso.

Garbasso ha voluto che Firenze si dotasse di un moderno Istituto di Fisica (inaugurato il 7 Novembre 1921, vedi Figura 2) e nel 1915 ottiene i finanziamenti e i permessi per realizzarlo ad Arcetri. Questa località è stata scelta sia per motivi storici, la vicinanza alla Villa Il Gioiello, ultima residenza di Galileo, sia per motivi strategici, data la vicinanza con l'Osservatorio.

Antonio Garbasso a Firenze e Orso Mario Corbino a Roma hanno contribuito a portare la fisica italiana a livello internazionale reclutando nei rispettivi istituti molti giovani brillanti, nel periodo che va dagli anni '20 agli anni '30. L'opera di reclutamento inizia a Firenze con Franco Rasetti nel 1921. In quegli anni Garbasso ha avuto come assistenti Antonino Lo Surdo, Augusto Raffaele Occhialini (padre di Beppo), Rita Brunetti, che andrà in cattedra nel 1926 a Ferrara e poi diventerà la prima donna in Italia con la posizione di Direttore di Istituto a Cagliari a partire dal 1928, e Vasco Ronchi che, dopo alcuni anni, diviene direttore dell'Istituto Nazionale di Ottica che è sorto e si è sviluppato accanto all'Istituto di Fisica grazie proprio a Garbasso.

Nel 1924 Garbasso chiama Fermi che rimarrà per due anni, fino a quando andrà a Roma, avendo vinto il primo concorso italiano per una cattedra di Fisica Teorica. In quel periodo Fermi collabora con Rasetti (suo compagno di studi a Pisa) su alcune ricerche sperimentali ma all'inizio del 1926 da alla luce il suo fondamentale lavoro sulla distribuzione dell'energia in un gas monoatomico con i costituenti che soddisfano il Principio di Esclusione di Pauli. Questo lavoro, assieme a quello successivo di P.A.M. Dirac, segna l'inizio della statistica di Fermi-Dirac che avrà una enorme ricaduta sia nel settore scientifico che in quello

Physics, which had been held until then by Antonio Ròiti.

Antonio Garbasso was a crucial figure in Florentine physics and can be rightly considered its founding father. Born in Vercelli in 1871, he graduated with a degree in physics from Turin in 1892 and studied with famous physicists such as Hertz in Bonn and Helmholtz in Berlin. He became Professor of Mathematics in Pisa in 1895 and then moved to Turin and Genoa until 1913, when he transferred Florence. He was an excellent physicist, working on optics (explaining the phenomenon of the mirage) and spectroscopy. In particular, he offered a theoretical explanation of the Stark effect (also discovered by Lo Surdo in Florence). But Garbasso was also an important public figure. In the field of physics, he was President of the SIF for two terms of office, 1912-1914 and 1921-1925, and President of the Committee of Astronomy, Mathematics and Physics of the CNR. In politic spheres, he was Mayor of Florence, then Podestà from 1924 to 1928, and finally Senator of the Realm (1924). Garbasso played a key role in the political and cultural debate that accompanied Giovanni Gentile's educational reform, opposing the purely humanistic approach to the detriment of scientific disciplines.

He wanted Florence to have a modern Institute of Physics (inaugurated on 7 November 1921, see Figure 2) and, in 1915, he obtained the necessary funding and permits to build it at Arcetri. This location was chosen for historical reasons, specifically its proximity to Villa 'Il Gioiello', Galileo's last residence, and for strategic reasons, due to its proximity to the Observatory.

Antonio Garbasso in Florence and Orso Mario Corbino in Rome helped bring Italian physics to international level, recruiting numerous bright youngsters into their respective institutes



Figura 2. L'Istituto di Fisica in Arcetri.

Figure 2. The Institute of Physics in Arcetri.

between the 1920s and 1930s. This recruitment work began in Florence with Franco Rasetti in 1921. At that time, Garbasso's assistants were Antonino Lo Surdo, Augusto Raffaele Occhialini (father of Beppo) Rita Brunetti and Vasco Ronchi. Rita Brunetti was to be assigned a professorship in Ferrara in 1926 and then went on to become the first female Head of Institute in Italy, at the University of Cagliari in 1928. Vasco Ronchi, on the other hand, was to become Director of the National Institute of Optics, which was founded and developed alongside the Institute of Physics thanks to Garbasso.

In 1924, Garbasso called Fermi, who worked with him for two years, before moving to Rome, having won the first Italian selection for a chair in Theoretical Physics. At that time, Fermi collaborated with Rasetti (with whom he had studied in Pisa) on some experimental research and then, at the beginning of 1926, he published his fundamental work on the distribution of energy in a monoatomic gas with constituents that satisfied Pauli's Principle of Exclusion. This work, together with the later work of P.A.M. Dirac, marked the beginning of the Fermi-Dirac statistics, which were to have a huge impact on both science and technology, being the key to understanding solid state physics which laid the foundation for the development of transistors and all modern applications in computers, cellular telephony and so on.

Together with Fermi, Persico and Pontremoli complete the trio of winners of the first Theoretical Physics competition. Then, after Fermi was called to the chair in Rome, Persico was called to Florence. At that time, Persico held a course in Quantum Mechanics, writing the lecture

tecnologico, essendo la chiave per la comprensione della fisica dello stato solido da cui dipende lo sviluppo dei transistor e di tutte le applicazioni moderne nei computer, nella telefonia cellulare e quanto altro.

Insieme a Fermi, Persico e Pontremoli completano la terna dei vincitori del primo concorso di Fisica Teorica. Quindi, dopo la chiamata di Fermi sulla cattedra di Roma, Persico viene chiamato a Firenze. In quel periodo, Persico tiene un corso di Meccanica Quantistica e ne scrive le dispense. Queste lezioni sono state il seme da cui poi è germogliato un testo sul quale generazioni di fisici hanno imparato la Meccanica Quantistica.

Nel 1927 anche Rasetti lascia Firenze per raggiungere Fermi a Roma. Garbasso provvede subito alla sua sostituzione chiamando il giovane Bruno Rossi e l'anno successivo Gilberto Bernardini. In quel periodo anche il corso di laurea in fisica inizia a dare i suoi frutti. Tra gli altri, si laureano: Giuseppe, 'Beppo' Occhialini nel 1929, Giulio Racah e Daria Bocciarelli nel 1931 e Lorenzo Emo Capodilista nel 1932. Si forma così un gruppo di giovani che, sotto la guida di Bruno Rossi, si dedica allo studio dei raggi cosmici, ottenendo importanti risultati a livello internazionale.

Uno dei risultati più importanti è stato la scoperta che i raggi cosmici hanno una componente carica. Il risultato viene comunicato da Rossi a Roma nel 1931, ad una conferenza internazionale di Fisica Nucleare. A questa conferenza hanno partecipato 5 Premi Nobel e Rossi è stato l'unico italiano invitato a tenere una relazione.

Per acquisire nuove esperienze, nel 1931 Rossi invia Occhialini a lavorare con Blackett a Cambridge per combinare il circuito delle coincidenze alla Rossi con

notes. These lectures were the seed from which the text from which generations of physicists learned Quantum Mechanics grew.

Rasetti too left Florence in 1927 to join Fermi in Rome. Garbasso immediately replaced him with the young Bruno Rossi, followed, a year later, by Gilberto Bernardini. It was at this time that the physics degree course also began to bear fruit. Graduates of the course included Giuseppe 'Beppo' Occhialini in 1929, Giulio Racah and Daria Bocciarelli in 1931 and Lorenzo Emo Capodilista in 1932. This led to the formation of a group of young people who, under the guidance of Bruno Rossi, devoted themselves to the study of cosmic rays, obtaining important results at international level.

One of the most important results was the discovery that cosmic rays have a charged component. This was announced by Rossi in Rome in 1931, at an international conference on Nuclear Physics. The conference was attended by five Nobel Prize winners, with Rossi being the only Italian invited to deliver a report.

In order to acquire new experience, in 1931 Rossi sent Occhialini to work with Blackett in Cambridge, to combine Rossi's coincidence circuit with the cloud chamber in use in the laboratory. The idea proved to be extremely successful. Among other things, Blackett and Occhialini were able to confirm Anderson's discovery of the positron.

Racah was formally part of Rossi's group but, being a theoretical physicist, did not take part in the experimental activity. Instead, he worked on the application of the group theory to atomic spectroscopy, obtaining significant results. He taught the Theoretical Physics course

la camera a nebbia in uso in quel laboratorio. L'idea risulta molto fruttuosa, infatti, tra le altre cose, Blackett e Occhialini sono stati in grado di confermare la scoperta di Anderson del positrone.

Racah formalmente fa parte del gruppo di Rossi ma, essendo un fisico teorico, non partecipa all'attività sperimentale. Si interessa invece alle applicazioni della teoria dei gruppi alla spettroscopia atomica, dove ottiene risultati fondamentali. Tiene il corso di Fisica Teorica dal 1932 al 1937 (Persico si trasferisce a Torino nel 1930). Nel 1937, vincitore del secondo concorso a cattedra di Fisica Teorica, viene chiamato a Pisa da dove nel 1939, a seguito delle leggi razziali, emigra in Palestina.

Purtroppo, per molteplici cause, questo periodo, in cui aleggia all'Istituto di Fisica lo "spirito di Arcetri", come lo ha definito Rossi nella sua autobiografia (Rossi, 1987), volge al termine. Rossi vince il concorso a cattedra e si trasferisce a Padova nel 1932. Nel 1933 muore Garbasso lasciando l'Istituto orfano del suo Padre Fondatore e viene sostituito da Lauretto Tieri, uomo d'ordine e fisico di vecchio stampo, non troppo sensibile alla nuova fisica. Nel 1934 Occhialini rientra da Cambridge ma riparte per il Brasile nel 1937 per allontanarsi dall'Italia fascista. Daria Bocciarelli passa all'Istituto Superiore di Sanità a Roma nel 1938 ed infine Emo Capodilista, abbandona la carriera scientifica.

Ma in quel periodo si affacciano sulla scena fiorentina alcune figure che saranno tra gli artefici della ricostruzione della fisica a Firenze nel dopoguerra: nel 1934 viene chiamato Simone Franchetti, che, laureatosi in Chimica a Firenze nel 1930 e chiamato a Pavia come assistente di Chimica, consegue laurea anche in

from 1932 to 1937 (Persico moved to Turin in 1930). In 1937, winner of the second selection for the chair of Theoretical Physics, he was called to Pisa, emigrating to Palestine in 1939, following the introduction of racial laws.

Unfortunately, for a variety of reasons, this period, during which the "spirit of Arcetri", as Rossi called it in his autobiography (Rossi 1987), hovered over the Institute of Physics, came to an end. Rossi won the selection for the chair and moved to Padua in 1932. Garbasso died in 1933, leaving the Institute orphaned of its Founding Father, and was replaced by Lauretto Tieri, a man of order and an old-school physicist, with little sensitivity towards modern physics. Occhialini returned from Cambridge in 1934, leaving again for Brazil in 1937 to escape fascist Italy. Daria Bocciarelli moved on to the Istituto Superiore di Sanità in Rome in 1938 and Emo Capodilista abandoned his scientific career.

At that time, a number of figures who were to be among the architects of the post-war reconstruction of physics in Florence appeared on the Florentine scene: in 1934, they were joined by Simone Franchetti, who had graduated from Florence with a degree in Chemistry in 1930 and, having been called to Pavia as Chemistry assistant, graduated with another degree, this time in Physics. Other graduates of Florence included Manlio Mandò in 1934/35, Michele Della Corte in 1938/39 and Giuliano Toraldo di Francia in 1939/40.

The only significant activity conducted during the war was by Della Corte, who studied the absorption of cosmic rays by rocks in the tunnel along the Florence-Bologna railway, with the collaboration of Carlo Ballario (who graduated from Florence in 1938).

Fisica. Si laureano inoltre a Firenze: Manlio Mandò nel 1934/35, Michele Della Corte nel 1938/39 e Giuliano Toraldo di Francia nel 1939/40.

Nel periodo bellico, l'unica attività di rilievo è quella di Della Corte che studia l'assorbimento dei raggi cosmici da parte delle rocce, all'interno della galleria della direttissima Firenze-Bologna con la collaborazione di Carlo Ballario (laureato a Firenze nel 1938).

L'Istituto di Fisica svolge un suo ruolo nelle attività di resistenza contro i nazisti ed i fascisti (Casalbuoni, 2021). Della Corte presta parte del suo servizio militare, dal 1942, presso la Scuola di Guerra Aerea delle Cascine a Firenze, dove conosce il capitano dell'aeronautica Italo Piccagli convinto antifascista e su sua richiesta si presta a nascondere ad Arcetri gli strumenti dei Laboratori di Meteorologia e di Navigazione Aerea per sottrarli alle requisizioni dell'esercito tedesco. Inoltre, Della Corte e Ballario, sempre su proposta del capitano Piccagli, entrano a far parte della cellula che si occupa dell'emittente clandestina radio CORA (Commissione Radio), che trasmette informazioni ai comandi alleati e alle truppe partigiane. La radio sviene spostata tra varie sedi in città, tra le quali l'Istituto di Fisica. La sera del 7 giugno 1944 la radio trasmette dal n. 12 di Piazza d'Azeglio quando i nazisti fanno irruzione nell'appartamento dove sono presenti alcuni membri di Radio CORA che vengono arrestati. Nello scontro, muore Luigi Morandi, giovane studente di ingegneria. Viene arrestato anche Piccagli che, insieme a quattro paracadutisti dell'esercito alleato e un partigiano cecoslovacco e Anna Maria Enriquez Agnoletti vengono fucilati dai militari tedeschi nei boschi di Cercina, vicino a Firenze, il 12 giugno 1944. Ballario è all'ospedale di Careggi

The Institute of Physics played its part in the activity of the resistance against the Nazis and Fascists (Casalbuoni, 2021). Della Corte did part of his military service, from 1942, at the Cascine School of Air Warfare in Florence, where he met Italian Air Force Captain Italo Piccagli, a staunch anti-fascist. At his request, Della Corte helped hide the instruments of the Meteorology and Air Navigation Laboratories in Arcetri to save them from confiscation by the German troops. In addition, Della Corte and Ballario, again at the suggestion of Captain Piccagli, joined the unit in charge of the clandestine radio station CORA (Radio Commission), which transmitted information to the Allies and the partisan troops. The radio was moved between several locations in the city, including the Institute of Physics. On the evening of 7 June 1944, the radio was broadcasting from no. 12 Piazza d'Azeglio when the Nazis raided the flat, arresting several members of Radio CORA. Luigi Morandi, a young engineering student, was killed in the confrontation. Piccagli was among those arrested and, together with four Allied army paratroopers, a Czechoslovakian partisan and Anna Maria Enriquez Agnoletti, was shot by German soldiers in the Cercina woods, near Florence, on 12 June 1944. Ballario was in Careggi hospital, where his wife was receiving treatment, while Della Corte was in Siena, where he had moved his wife and daughter. Both were saved thanks to the silence of Piccagli who was tortured before being murdered.

The post-war reconstruction of Italian physics was mainly the result of an initiative by Amaldi and Bernardini who, in 1951, with the support of Colonnetti, President of the CNR, founded the National Institute of Nuclear Physics, with the first four Sections in Rome, Padua, Milan

dove sua moglie è ricoverata, mentre Della Corte è a Siena dove ha trasferito la moglie e la figlia. Così entrambi si salvano grazie al silenzio di Piccagli che viene torturato prima di essere assassinato.

La ricostruzione della fisica italiana nel dopoguerra avviene principalmente a seguito di una iniziativa di Amaldi e Bernardini che, nel 1951, con il supporto di Colonnetti, Presidente del CNR, danno vita all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, con le prime quattro Sezioni a Roma, Padova, Milano e Torino. A Firenze, nel 1952, viene creato un sottogruppo INFN, aggregato alla Sezione di Roma che, successivamente diviene Sottosezione, diretta da Franchetti, poi da Renato Angelo Ricci e da Mandò.

Tieri rimane Direttore dell'Istituto di Fisica fino al 1949 e a lui subentra Simone Franchetti, che lo dirige sino al 1977.

I primi gruppi di ricerca che si costituiscono all'indomani della guerra sono il gruppo nucleare e il gruppo che ha origine dalle ricerche sui raggi cosmici, denominato il "gruppo lastre".

Manlio Mandò all'inizio del 1950 riesce a costituire un gruppo sperimentale di Fisica Nucleare che, negli anni successivi, diventerà di importanza internazionale, grazie anche ai suoi contatti con centri di eccellenza per la fisica del nucleo negli Stati Uniti, in Giappone e soprattutto in Germania. Fanno parte di questo gruppo oltre a Mandò, Tito Fazzini, Piergiorgio Bizzeti, Anna Maria Bizzeti Sona, Mario Bocciolini, Giuliano Di Caporiacco (che passa poi alle ricerche del gruppo lastre) e, dagli anni '62-'63, i neo-laureati: Pietro Sona, Paolo Maurenzig, Nello Taccetti e Paolo Blasi.

and Turin. An INFN subgroup was created in Florence in 1952. Initially an attachment of the Rome Section, it later became a Subsection, directed by Franchetti, then Renato Angelo Ricci and Mandò.

Tieri remained Director of the Institute of Physics until 1949 and was succeeded by Simone Franchetti, who directed it until 1977.

The first research groups to be set up in the aftermath of the war were the nuclear group and the group that originated from research on cosmic rays, known as the "gruppo lastre" (the "plates group").

At the beginning of 1950, Manlio Mandò succeeded in setting up an experimental Nuclear Physics group which would go on, in the years that followed, to become of international importance, thanks partly to its contacts with centres of excellence of core physics in the United States, Japan and particularly Germany. In addition to Mandò, this group included Tito Fazzini, Piergiorgio Bizzeti, Anna Maria Bizzeti Sona, Mario Bocciolini, Giuliano Di Caporiacco (who then moved on to perform research in the plate group) and, from 1962 to 1963, the new graduates: Pietro Sona, Paolo Maurenzig, Nello Taccetti and Paolo Blasi.

In the early 1960s, the group turned to accelerator physics, using a 4kV Van de Graaff, model PN 400. In 1965, Franchetti and Mandò called Renato Angelo Ricci and began a lengthy collaboration with the INFN Laboratory in Legnaro. The group also worked with other laboratories, such as those in Saclay, Heidelberg and Munich. At the end of the 1960s, the PN 400 was replaced by another Van de Graaff, a 3MV, the KN3000.

Nei primi anni '60 il gruppo si converte alla fisica con acceleratori, utilizzando un Van de Graaff, modello PN 400, da 4kV. Nel 1965 Franchetti e Mandò chiamano Renato Angelo Ricci ed inizia una lunga collaborazione con il Laboratorio INFN di Legnaro. Il gruppo collabora anche con altri laboratori, come quelli di Saclay, Heidelberg e Monaco. Alla fine degli anni '60 il PN 400 viene sostituito da un altro Van de Graaff, di 3MV, il KN3000.

L'altra attività che nasce in quegli anni ha origine dalla ricerca sui raggi cosmici svolta in precedenza da Della Corte che, nel 1950, con una borsa CNR seguita da una della Fondazione Della Riccia, si reca a Parigi da Louis Leprince Ringuet, all'avanguardia tecnica nel settore delle emulsioni nucleari. Al suo ritorno, inizia ad utilizzare questa tecnica, dando vita al "gruppo lastre". Il gruppo si compone di Della Corte, Anna Maria Cartacci, Grazia Dagliana, Letizia Tocci e Pier Giorgio Bizzeti (poi passato al gruppo Nucleare) insieme a un certo numero di osservatori allenati alla 'scansione' di eventi al microscopio. Nel 1964, il gruppo abbandona le emulsioni nucleari per passare all'analisi di fotogrammi in camera a bolle prodotti negli esperimenti al CERN. Entrano nel gruppo Giuliano Di Caporiacco e poco più tardi Giuliano Parrini. Alla fine degli anni '60, Della Corte passa alla medicina nucleare, abbandonando le ricerche di particelle elementari. In quel periodo il gruppo collaborava con Milano, Bologna e Oxford per l'analisi di esperimenti effettuati al CERN,

Il gruppo di Fisica Teorica si costituisce invece molto più tardi, alla fine degli anni '50. Dopo la partenza di Persico nel 1930, la cattedra di Fisica Teorica rimane vacante sino al 1958, quando viene chiamato Giacomo Morpurgo. Il corso di Fisica Teorica è stato tenuto dal 1944 da Franchetti. Con Morpurgo nasce ad

The other activity that was launched at that time originated from the research into cosmic rays conducted previously by Della Corte who, initially using a CNR grant and then another one from the Della Riccia Foundation, travelled to Paris in 1950 to work with Louis Leprince Ringuet, who was at the forefront of technology in the field of nuclear emulsions. When he returned, he began using this technique, creating the "plate group". The members of the group were Della Corte, Anna Maria Cartacci, Grazia Dagliana, Letizia Tocci and Pier Giorgio Bizzeti (who later joined the Nuclear group), together with a number of observers trained to 'scan' events under the microscope. In 1964, the group abandoned nuclear emulsions to move on to the analysis of bubble chamber photographs produced in experiments at the CERN. Giuliano Di Caporiacco joined the group, followed shortly afterwards by Giuliano Parrini. At the end of the 1960s, Della Corte switched to nuclear medicine, abandoning elementary particle research. At that time, the group was working with Milan, Bologna and Oxford on the analysis of experiments conducted at the CERN.

The Theoretical Physics group was formed much later, at the end of the 1950s. Following Persico's departure in 1930, the chair of Theoretical Physics remained vacant until 1958, when Giacomo Morpurgo was appointed. The Theoretical Physics course had been held by Franchetti since 1944. It was under Morpurgo that the Institute of Theoretical Physics was founded at Arcetri. Upon his arrival in Florence, Morpurgo found Marco Ademollo and Giorgio Longhi. Claudio Chiuderi, Emilio Borchini, Silvio De Gennaro, Giovanni Martucci and Mario Poli also graduated with him. Morpurgo moved to Genoa in 1963 and Raoul Gatto took over the chair.

Arcetri l'Istituto di Fisica Teorica. Al suo arrivo a Firenze, Morpurgo trova Marco Ademollo e Giorgio Longhi. Poi con lui si laureano Claudio Chiuderi, Emilio Borchi, Silvio De Gennaro, Giovanni Martucci e Mario Poli. Nel 1963 Morpurgo si trasferisce a Genova e su quella cattedra arriva Raoul Gatto.

Dopo la laurea Gatto passa qualche anno a Berkeley dove fiorisce l'applicazione delle simmetrie alle particelle elementari. Rientrato in Italia, nel 1960 vince la cattedra a Cagliari e quando, nel 1963, passa da Cagliari a Firenze, porta con sé Enrico Celeghini e Guido Altarelli e Franco Buccella, due giovani romani che stavano svolgendo la tesi con lui ai Laboratori di Frascati, della cui Divisione Teorica era Direttore. Attirati dalle sue ricerche arrivano altri giovani romani: Angelica Borgese, Marcello Colocci, Giovanni Gallavotti, Luciano Maiani, Giuliano Preparata ed altri, come Enrico Giusti, poi passato a Matematica. Si costituisce così il gruppo dei "gattini". Molti di questi hanno rivestito ruoli importanti nella fisica delle particelle e non solo. In quel periodo si laurea con Gatto Gabriele Veneziano, il padre della teoria delle stringhe. Nel 1966, visto che molti dei gattini sono in partenza per altre destinazioni di ricerca, Gatto fa un'opera di reclutamento tra gli studenti del terzo anno: questa è stata l'eredità che ha lasciato ad Arcetri dopo il suo trasferimento a Padova nel 1968/69.

Per terminare, occorre ricordare un'altra attività di fisica, nel campo delle onde elettromagnetiche, nata attorno alle figure di Nello Carrara, arrivato come Professore Straordinario a Firenze nel 1955, e di Giuliano Toraldo di Francia nei laboratori del Centro Microonde del CNR e di quello che sarebbe diventato l'Istituto di Fisica Superiore dell'Università di Firenze.

After graduating, Gatto spent several years at Berkeley, where the application of symmetries to elementary particles flourished. After returning to Italy in 1960, he won the chair in Cagliari and when he moved from Cagliari to Florence in 1963, he took Enrico Celeghini with him, along with Guido Altarelli and Franco Buccella, two young Romans who were working on their theses with him at the Frascati Laboratories, where he was Director of the Theoretical Division. His research attracted other young Romans: Angelica Borgese, Marcello Colocci, Giovanni Gallavotti, Luciano Maiani, Giuliano Preparata and others, such as Enrico Giusti, who then moved to Mathematics. This resulted in the formation of a group known as the "gattini" (*gatto* being the Italian for cat and *gattini* kittens). Many of its members played important roles in particle physics and other fields. It was during this period that Gabriele Veneziano, the father of string theory, graduated with Gatto. In 1966, as many of the "kittens" were leaving for other research destinations, Gatto recruited several third-year students: this was the legacy he left at Arcetri after transferring to Padua in 1968/69.

In conclusion, we ought to mention another area of physics, in the field of electromagnetic waves, which originated around the figures of Nello Carrara, who arrived in Florence as a Professor in 1955, and Giuliano Toraldo di Francia in the laboratories of the CNR Microwave Centre and what was to become the Istituto di Fisica Superiore of the University of Florence.

Note

¹ Per una rassegna degli avvenimenti che hanno portato alla nascita dell'Università di Firenze, vedi (Leonardi 1986) e (Schettino 2004).

² La Facoltà di Scienze si articolava in cinque corsi di laurea: Chimica, Fisica, Matematica, Fisica e Matematica, Scienze Naturali.

Bibliografia

- Casalbuoni R., Dominici D., Mazzoni M. (2021), *Lo spirito di Arcetri, FUP*, Firenze.
 Leonardi C. (1986), *Dallo Studium Generale all'Istituto di Studi Superiori cento anni dopo*, Parretti Grafiche.
 Rossi B. (1987), *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli.
 Schettino V. (2004), *L'Università degli Studi di Firenze 1924-2004*, Olschki, Firenze.

Roberto Casalbuoni è Professore emerito di Fisica Teorica dell'Università di Firenze. Ha svolto numerosi incarichi di direzione nell'INFN e nella Università di Firenze. La sua attività di ricerca è nel campo della Fisica delle Particelle Elementari.

Notes

¹ For an overview of the events that led to the birth of the University of Florence, see (Leonardi 1986) and (Schettino 2004).

² The Faculty of Science was divided into five degree courses: Chemistry, Physics, Mathematics, Physics and Mathematics, Natural Sciences.

References

- Casalbuoni R., Dominici D., Mazzoni M. (2021), *Lo spirito di Arcetri, FUP*, Florence.
 Leonardi C. (1986), *Dallo Studium Generale all'Istituto di Studi Superiori cento anni dopo*, Parretti Grafiche.
 Rossi B. (1987), *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli.
 Schettino V. (2004), *L'Università degli Studi di Firenze 1924-2004*, Olschki, Florence.

Roberto Casalbuoni is Professor Emeritus of Theoretical Physics at the University of Florence. He has held numerous leading positions at the INFN and the University of Florence. His research activity is in the field of Elementary Particle Physics.

Duccio Fanelli

La ricerca al Dipartimento di Fisica e Astronomia

Research at the Department of Physics and Astronomy

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze

Riassunto. Questo breve contributo intende offrire una descrizione sintetica delle principali direzioni di ricerca portate oggi avanti presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. Nell'illustrare i vari contributi, e senza la pretesa di essere esaustivi nel poco spazio a disposizione, seguiremo un percorso narrativo che attraversa le quattro macro-aree disciplinari che fanno capo al Dipartimento (la Fisica Teorica, la Struttura della Materia, la Fisica Nucleare e Subnucleare e l'Astrofisica).

Parole chiave. Dipartimento Fisica e Astronomia, attività di ricerca.

Nel 2001, il Dipartimento di Fisica, oggi Dipartimento di Fisica e Astronomia, si è trasferito dai locali storici in Arcetri alla nuova sede del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino. L'edificio Garbasso è tuttora parte integrante del Dipartimento, ed ospita una parte consistente di colleghi che svolgono la loro attività di ricerca in ambito astrofisico. Ad oggi il personale del Dipartimento consta di 74 unità di personale, fra ricercatori e docenti strutturati, a cui si aggiungono un congruo numero di dottorandi, assegnisti, collaboratori scientifici, tecnici e amministrativi. Presso il Dipartimento opera inoltre una nutrita compagine di colleghi afferenti agli Enti di ricerca, principalmente INFN, CNR, INAF ed INRIM, che contri-

Abstract. The purpose of this brief contribution is to provide a concise description of the main directions of research currently being pursued at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence. In illustrating the various contributions, and without claiming to cover everything in the limited space available, we will follow a narrative path that covers the Department's four macro-disciplinary areas (Theoretical Physics, Structure of Matter, Nuclear and Subnuclear Physics and Astrophysics).

Keywords: Department of Physics and Astronomy, research activity.

In 2001, the Department of Physics, now the Department of Physics and Astronomy, moved from its historical premises in Arcetri to its new location at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino. The Garbasso building is still an integral part of the Department and hosts a large number of colleagues who carry out their research activities in astrophysics. The



buiscono a dar vita ad un contesto florido e variegato, dalla spiccata vocazione multidisciplinare declinata su un ampio spettro di attività di ricerca, riconosciute nel panorama nazionale e internazionale. Come esempio della fattiva collaborazione fra Università ed Enti di ricerca, nella fattispecie l'INFN, citiamo il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per i Beni Culturali) che realizza studi non distruttivi dei materiali utilizzati nei manufatti artistici, ai fini di datazione e conservazione. A ripercorrere la storia del LABEC, oltre che a tracciarne il percorso in proiezione futura, è interamente dedicato un contributo indipendente, parte integrante di questo stesso volume. Il Dipartimento di Fisica e Astronomia è inoltre riferimento amministrativo dell'Osservatorio Polifunzionale del Chianti, una struttura scientifica dedicata a ricerca, didattica e divulgazione. Fa poi capo al Dipartimento il Centro Interdipartimentale per lo Studio delle Dinamiche Complesse (CSDC), un centro dell'Ateneo Fiorentino (a cui al momento afferiscono nove Dipartimenti) che si propone l'obiettivo di far germogliare attività di ricerca multidisciplinari, per contaminazione di domini curriculari distinti.

La ricerca del Dipartimento di Fisica e Astronomia si sviluppa su diversi filoni, caratterizzati da un forte grado di interazione trasversale, ma che, per comodità descrittiva, potremmo convenientemente tracciare con riferimento quattro macro-settori disciplinari. Nello specifico, la Fisica Teorica, la Struttura della Materia, la Fisica Nucleare e Subnucleare e l'Astrofisica, ambiti di ricerca ai quali faremo riferimento, seguendo questo stesso ordinamento, nella restante parte del contributo.

Il gruppo di teoria delle interazioni fondamentali a Firenze si occupa prevalentemente di studiare aspetti fondazionali della fisica teorica, dall'infinitamente

Department currently employs seventy-four members of staff, including researchers and full professors, plus a large number of PhD students, fellows, scientific, technical and administrative staff. The Department also has a large number of colleagues from research organisations, mainly the INFN, CNR, INAF and INRIM, who help create a thriving and varied environment, with a strong multidisciplinary vocation covering a wide range of research activities, recognised both nationally and internationally. As an example of the fruitful collaboration between the University and research institutes, in this case the INFN, we would like to mention the LABEC (Laboratory of Nuclear Techniques for Cultural Heritage), which carries out non-destructive studies of the materials used in artistic objects for dating and conservation purposes. The history of the LABEC and its future prospects are thoroughly described in an independent contribution, which is an integral part of this volume. The Department of Physics and Astronomy is also the administrative reference point for the Polyfunctional Observatory of Chianti, a scientific structure dedicated to research, teaching and communication. The Department also includes the Interdepartmental Centre for the Study of Complex Dynamics (CSDC), a centre of the University of Florence (currently comprising nine Departments), which aims to trigger multidisciplinary research activities by contaminating different curricular segments.

The research of the Department of Physics and Astronomy develops along different lines, characterised by a strong degree of transversal interaction, but which, for descriptive convenience, we could conveniently divide into four disciplinary macro-sectors. These are Theoretical

piccolo (i costituenti della materia, le forze fondamentali e loro mediatori, i nuovi stati della materia) all'infinitamente grande (la materia oscura, l'energia oscura, le transizioni di fase primordiali, i buchi neri e le onde gravitazionali). Come sappiamo, i collisori rappresentano il microscopio più potente che abbiamo oggi a disposizione per indagare la materia a piccolissima scala, alla ricerca di segnali di nuova fisica oltre il cosiddetto modello standard, l'attuale schema di riferimento per la visione integrata e sistemica delle forze fondamentali. Nonostante la sua indubbia capacità predittiva, il modello standard presenta alcuni tratti di incompletezza che motivano la ricerca verso possibili estensioni dello stesso. In particolare, il modello standard non comprende l'interazione gravitazionale, per la quale non esiste ad oggi una teoria quantistica coerente. D'altra parte, lo studio dell'Universo su grande scala offre una via d'accesso complementare ai misteri della natura. La materia oscura, della quale abbiamo contezza indiretta sulla scorta di osservazioni astrofisiche, si stima che sia cinque volte più abbondante della materia ordinaria (o barionica), ma ancora non sappiamo da cosa sia composta. L'energia oscura è, se possibile, ancora più elusiva, e rappresenta un grado di complicazione ulteriore nel processo che dovrebbe portare ad elaborare un quadro descrittivo consistente del mondo che ci circonda. Lo studio delle onde gravitazionali ha poi di fatto aperto una nuova finestra sul cosmo, consentendoci di acquisire informazioni fino a poco tempo fa inaccessibili e (in larga misura) insperate sulla natura di oggetti super-massivi (i buchi neri) in mutua (e violenta!) interazione. In questo panorama generale, uno degli obiettivi del gruppo fiorentino è quello di sviluppare la teoria olografica (Bigazzi, 2021), un ponte ideale tra

Physics, the Structure of Matter, Nuclear and Subnuclear Physics and Astrophysics, research areas to which we will refer in this same order in the rest of the paper.

The fundamental interaction theory group in Florence focuses mainly on the fundamental aspects of theoretical physics, from the infinitely small (the constituents of matter, fundamental forces and their mediators, new states of matter) to the infinitely large (dark matter, dark energy, primordial phase transitions, black holes and gravitational waves). As we know, colliders represent the most powerful microscope available today for investigating matter on a very small scale, looking for signs of new physics beyond the so-called standard model, the current reference for the integrated and systemic view of fundamental forces. Despite its unquestionable predictive capacity, the standard model has some incomplete features that motivate research into possible extensions. For instance, the standard model does not include gravitational interaction, for which no coherent quantum theory exists to date. This said, the large-scale study of the Universe offers complementary access to the mysteries of nature. Dark matter, of which we have indirect knowledge based on astrophysical observations, is estimated to be five times more abundant than ordinary (or baryonic) matter, but we have yet to discover what it is made of. Dark energy is, if possible, even more elusive, and represents a further degree of complication in the process that should lead to the development of a consistent descriptive picture of the world around us. The study of gravitational waves has opened a new window onto the cosmos, allowing us to acquire hitherto inaccessible and (largely) un hoped-for information on the nature of mutually (and violently!) interacting super-massive objects (black holes). In this

le teorie quantistiche dei campi, che descrivono la fisica delle particelle elementari e della materia condensata, e le teorie di gravità quantistica (Nastase, 2015). Secondo questa chiave di lettura, che trova la sua naturale declinazione nel contesto della teoria delle stringhe, la gravità non sarebbe una forza fondamentale, così come abbiamo imparato a conoscerla sui banchi di scuola, ma piuttosto una proprietà emergente dal comportamento statistico dei gradi di libertà microscopici codificati su uno schema olografico. Un altro argomento di ricerca sul quale il Dipartimento è particolarmente attivo riguarda la descrizione teorica della materia in condizioni estreme di temperatura e densità, quando gli effetti relativistici e quantistici giocano un ruolo fondamentale. Tra le applicazioni fenomenologiche di rilievo troviamo le collisioni nucleari di altissima energia, il plasma di quark e gluoni, l'astrofisica delle alte energie, la cosmologia e, in generale, ogni altro contesto fisico dove la materia raggiunge l'equilibrio termodinamico locale nel regime relativistico. Il gruppo di Firenze ha in particolare stimato la polarizzazione delle particelle emesse nel processo di adronizzazione del plasma di quark e gluoni (Becattini, 2013). La stima quantitativa ottenuta dai ricercatori fiorentini è stata poi verificata dalla collaborazione STAR, con una prova sperimentale che si è guadagnata la copertina della prestigiosa rivista *Nature* (Adamczyk, 2017). Questi risultati, per i quali Firenze ha svolto (e sta svolgendo) un ruolo di sicuro traino, hanno dato vita ad un fertile campo di ricerca in rapida espansione.

Presso il dipartimento di Fisica e Astronomia è inoltre attivo un gruppo relativamente nutrito che si occupa di meccanica statistica e sistemi complessi. In generale, l'obiettivo del gruppo è quello di fornire una chiave di lettura rigoro-

general panorama, one of the goals of the Florentine group is to develop a holographic theory (Bigazzi, 2021), an ideal bridge between quantum field theories, which describe the physics of elementary particles and condensed matter, and quantum gravity theories (Nastase, 2015). This interpretation, which finds its natural application in the context of string theory, suggests that gravity is not a fundamental force, as we were taught at school, but a property that emerges from the statistical behaviour of microscopic degrees of freedom encoded in a holographic scheme. Another research topic on which the Department is particularly active concerns the theoretical description of matter under extreme conditions of temperature and density, in which relativistic and quantum effects play a crucial role. Significant phenomenological applications include ultra-high energy nuclear collisions, quark and gluon plasma, high energy astrophysics, cosmology and, in general, any other physical context where matter reaches local thermodynamic equilibrium in the relativistic regime. The Florence group specifically estimated the polarisation of particles emitted in the hadronization of quark-gluon plasma (Becattini, 2013). The quantitative estimate obtained by the Florentine researchers was then verified by the STAR collaboration, in an experiment that earned the cover of the prestigious journal *Nature* (Adamczyk, 2017). These results, towards which Florence played (and continues to play) a leading role, initiated a fertile and rapidly expanding field of research.

The Department of Physics and Astronomy also has a relatively large group dedicated to statistical mechanics and complex systems. In general, the aim of the group is to provide a rigorous modelling and computational framework for a wide range of multidisciplinary phenom-

sa, in termini modellistici e computazionali, per una vasta pletera di fenomeni multidisciplinari, dalla biologia alla chimica, passando per le neuroscienze e le scienze sociali. Il denominatore comune è quello di avere a che far con sistemi formati da un vasto numero di entità fondamentali (o microscopiche) in mutua interazione, che generano comportamenti globali (o macroscopici) complessi, difficilmente prognosticabili a partire dall'analisi dettagliata delle singole unità, isolate dal contesto di riferimento. Fra i fenomeni oggetto di studio del gruppo di Firenze sottolineiamo il ruolo giocato dal rumore, le fluttuazioni stocastiche ineludibili che sono di norma etichettate come una sorgente di disturbo al sistema in esame. In molti casi, il rumore agisce invece come stimolo per l'insorgenza di dinamiche collettive auto-organizzate, secondo un paradigma generale che può apparire controintuitivo. A titolo di esempio citiamo un recente lavoro (Arbel-Goren, 2021), svolto in collaborazione con il Weizmann Institute in Israele, nel quale si è potuto mostrare che il meccanismo genetico che sottende all'adattamento al ciclo giorno notte (ciclo circadiano) per una specifica classe di cianobatteri, è reso robusto ed affidabile da una componente intrinseca di rumore associata al numero finito e limitato di proteine direttamente coinvolte nel funzionamento dell'*orologio biologico*.

La ricerca trasversale fra Fisica e Biologia rappresenta un asset importante per il Dipartimento di Fisica e Astronomia. Numerose sono ad esempio le applicazioni sviluppate dai ricercatori del Dipartimento che sfruttano tecniche di intelligenza artificiale e machine learning (Biancalani, 2021; Silvestri, 2021), declinato nelle sue accezioni classiche e quantistiche (con implicazioni teoriche fondamentali

ena, from biology to chemistry via neuroscience and social sciences. The common denominator is that we are dealing with systems made up of a vast number of fundamental (or microscopic) entities that interact with one another, generating complex global (or macroscopic) behaviours that are hard to predict on the basis of a detailed analysis of the individual units, isolated from the reference context. Among the phenomena studied by the Florence group, the role played by noise, the inescapable stochastic fluctuations that are usually labelled as a source of disturbance to the system under investigation, is of particular relevance. In many cases, noise actually acts as a stimulus for the emergence of self-organised collective dynamics, according to a general paradigm that may seem counterintuitive. An example is a recent work (Arbel-Goren, 2021) carried out in conjunction with the Weizmann Institute in Israel, which showed that the genetic mechanism governing the adaptation to the day-night cycle (circadian cycle) of a specific class of cyanobacteria is strengthened and made reliable by an intrinsic component of noise associated with the finite and limited number of proteins directly involved in the workings of the *biological clock*.

Transversal research between Physics and Biology is an important asset for the Department of Physics and Astronomy. For example, the Department's researchers have developed numerous applications that exploit artificial intelligence and machine learning techniques (Biancalani, 2021; Silvestri, 2021), in its conventional and quantum versions (with fundamental theoretical implications on quantum information and computing (Pirandola, 2017)), to support data analysis in biomedicine and life sciences in general. As regards the development of ex-

su quantum information e computing (Pirandola, 2017)), per supportare l'analisi di dati in ambito biomedico e di scienze della vita in generale. Sul fronte dello sviluppo di tecniche sperimentali per applicazioni in biologia, una menzione speciale spetta certamente all'unità di Biofotonica, parte integrante del gruppo di struttura della materia sperimentale, che sviluppa da anni metodi *cutting edge* di imaging per studiare in vivo la risposta neurologica di cavie murine, soggette a diverse tipologie di stimoli (Silvestri, 2013). Fra le varie soluzioni sperimentate, menzioniamo l'imaging dell'intera corteccia di topo con microscopia a campo largo, l'imaging profondo ad alta risoluzione con microscopia a due e tre fotoni e la stimolazione ottica dell'attività elettrica con optogenetica. Innovativi nel panorama internazionale anche gli studi portati avanti in seno al gruppo di biofisica di singola molecola sulla meccano-trasduzione, il processo secondo il quale la regolazione genica nelle cellule potrebbe essere mediata da segnali di tipo meccanico (piuttosto che chimico) che i ricercatori cercano di evidenziare con tecniche di imaging in fluorescenza (Arbore, 2019).

Il gruppo di struttura della materia sperimentale è il più grande del Dipartimento e le ricerche abbracciano un ampio spettro di temi che sarebbe impossibile coprire in modo esaustivo in questa sede. Da una parte, lo studio della materia e della sua interazione con la radiazione elettromagnetica e con le particelle, dal livello macroscopico fino alla scala delle singole molecole. Le ricerche includono la crescita e la caratterizzazione di nuovi semiconduttori (Biccari, 2021), lo sviluppo di sensori di radiazione ionizzante e di emettitori di luce sia classica che quantistica, l'analisi di micro e nanostrutture per applicazioni in fotonica, lo sviluppo di

perimental techniques for applications in biology, the Biophotonics unit, an integral part of the experimental group that works on the structure of matter, which has been developing innovative imaging methods to study in vivo the neurological response of laboratory mice subject to different types of stimuli for several years now (Silvestri, 2013), deserves a special mention. The various solutions tested include the imaging of the entire mouse cortex with wide-field microscopy, high-resolution deep imaging with two- and three-photon microscopy and optical stimulation of electrical activity with optogenetics. The studies carried out by the single-molecule biophysics group on mechanotransduction, the process according to which gene regulation in cells might be mediated by mechanical (rather than chemical) signals that researchers seek to highlight with fluorescence imaging techniques (Arbore, 2019), are also innovative on an international scale.

The group that carries out experimental work on the structure of matter is the largest in the Department and research spans a broad spectrum of topics that it would be impossible to cover thoroughly here. One such topic is the study of matter and its interaction with electromagnetic radiation and particles, from macroscopic level to the scale of individual molecules. Research includes the growth and characterisation of new semiconductors (Biccari, 2021), the development of ionising radiation sensors and both conventional and quantum light emitters, the analysis of micro and nanostructures for applications in photonics, the development of ultrafast and neutron microscopy and spectroscopy techniques for applications in soft matter, the characterisation of magnetic molecules or nanoparticles to optimise their properties and

tecniche di microscopia e spettroscopia ultra-veloce e neutronica per applicazioni in soft matter, la caratterizzazione di molecole o nanoparticelle magnetiche per ottimizzarne le proprietà e per il controllo degli spin elettronici (spintronica). In sintesi, le applicazioni dell'area di ricerca Fisica dei Materiali spaziano dal fotovoltaico agli emettitori di luce, dalla sensoristica alle applicazioni nelle Quantum Information Technologies, dall'ambito biomedico alla micro-robotica (Bunea, 2021), fino alla fisica delle alte energie. Di contro, nei laboratori dei colleghi che si occupano di studi in Fisica Atomica vengono utilizzati laser e campi magnetici per produrre le temperature più basse dell'Universo (qualche milionesimo di grado sopra lo zero assoluto!). A queste temperature, gli atomi sono sostanzialmente fermi e possono essere manipolati per una varietà di studi e applicazioni fondamentali. Gli atomi ultra-freddi possono ad esempio essere utilizzati come sensori ad altissima precisione per sondare forze estremamente deboli, come ad esempio la gravità, oppure per elaborare approcci innovativi alla computazione quantistica o per implementare nuove tecnologie quantistiche (Barfknecht, 2021). Fra i risultati da segnalare la prima dimostrazione sperimentale di un super-solido (Tanzi, 2021), una fase quantistica fondamentale della materia che combina proprietà di cristalli e superfluidi, prevista più di 50 anni fa (Legget, 1970), cercata a lungo in molti sistemi fisici ma mai osservata fino all'esperimento nel 2019 ad opera dei ricercatori del Dipartimento nel contesto di una collaborazione con il CNR e l'Università di Pisa.

Il gruppo di Fisica Subnucleare e Nucleare coordina un vasto programma di ricerca, in stretta sinergia con l'INFN, che si articola su diversi ambiti. I colleghi

for the control of electron spin (spintronics). In short, the applications of the Physics of Materials research area range from photovoltaics to light emitters, from sensors to applications in Quantum Information Technologies, from the biomedical field to micro-robotics (Bunea, 2021), and high-energy physics. And in the laboratories of colleagues who study Atomic Physics, lasers and magnetic fields are used to produce the lowest temperatures in the Universe (a few billionths of a degree above absolute zero!). At these temperatures, atoms are essentially stationary and can be manipulated to perform a variety of fundamental studies and applications. Ultra-cold atoms can, for example, be used as ultra-high-precision sensors to probe extremely weak forces, such as gravity, to devise novel approaches to quantum computation or to implement new quantum technologies (Barfknecht, 2021). The results to be reported include the first experimental demonstration of a super-solid (Tanzi, 2021), a fundamental quantum phase of matter that combines properties of crystals and superfluids, predicted more than 50 years ago (Legget, 1970), sought extensively in numerous physical systems but never observed until the experiment in 2019 by researchers of the Department within the context of a collaboration with the CNR and the University of Pisa.

The Subnuclear and Nuclear Physics group coordinates a vast research programme, in close cooperation with the INFN, which covers several areas. The members of the Department are involved in major international collaborations in Accelerator Physics. These include the "Compact Muon Solenoid" (CMS) an experiment of the "Large Hadron Collider" (LHC) at the CERN in Geneva, which led to the discovery and measurement of the properties of the Higgs boson

del Dipartimento sono impegnati nelle grandi collaborazioni internazionali di Fisica degli Acceleratori. Fra questi citiamo il “Compact Muon Solenoid” (CMS) un esperimento del “Large Hadron Collider” (LHC) del CERN di Ginevra, che ha portato alla scoperta e alla misura delle proprietà del bosone di Higgs (ATLAS and CMS Collaborations, 2015), oltre che alla ricerca di nuova fisica nelle collisioni p-p. Il gruppo di Firenze è coinvolto con ruoli di assoluto rilievo sia nell’analisi dei dati raccolti nell’esperimento, che nella progettazione e manutenzione dei rivelatori. L’esperimento LHCb, è invece dedicato allo studio di adroni contenenti quark “pesanti”, i cui decadimenti permettono di testare la validità del Modello Standard. Vengono in particolare analizzate le piccole asimmetrie fra i decadimenti di materia e antimateria (un fenomeno che va sotto il nome di violazione di CP), che potrebbero aiutarci a rivelare particelle ancora sconosciute. Le camere multifili per il rivelatore di muoni sono state progettate e realizzate nei laboratori di Sesto Fiorentino. L’esperimento LHC-forward (LHCf) consente di misurare sezioni d’urto a piccolissimo angolo ad LHC ed è importante per calibrare la simulazione degli sciami atmosferici dei raggi cosmici di altissima energia. Infine l’esperimento NA62 ha come obiettivo lo studio dei decadimenti ultra-rari dei mesoni K presso l’acceleratore SPS del CERN. Più recente è la collaborazione con il consorzio Virgo per lo sviluppo di nuove tecniche interferometriche per la rilevazione di onde gravitazionali. Un’altra tematica di assoluta rilevanza è quella dello studio delle astroparticelle e dei raggi cosmici, un filone di ricerca storico per il gruppo fiorentino. I colleghi sono impegnati in tre esperimenti internazionali: Calet (Adriani, 2017), installato sulla ISS e in funzione dal 2015, per la misura del

(ATLAS and CMS Collaborations, 2015), and to the new physics research into p-p collisions. The Florence group is involved, in key roles, in the analysis of the data collected in the experiment and in the design and maintenance of the detectors. The LHCb experiment, on the other hand, is dedicated to the study of hadrons containing “heavy” quarks, the decay of which makes it possible to test the validity of the Standard Model. In particular, small asymmetries between the decay of matter and antimatter (a phenomenon known as CP violation) are analysed, and this could help us reveal as yet unknown particles. The multiwire chambers for the muon detector were designed and built at the Sesto Fiorentino laboratories. The LHC-forward (LHCf) experiment allows the measurement of very small angle cross sections at the LHC and is important for calibrating the simulation of very high energy cosmic ray air showers. Lastly, the NA62 experiment aims to study ultra-rare decay of K mesons at the CERN SPS accelerator complex. The collaboration with the Virgo consortium for the development of new interferometric techniques for detecting gravitational waves is more recent. Another key topic is the study of astroparticle physics and cosmic rays, a historic area of research for the Florentine group. The members of the group are working on three international experiments: Calet (Adriani, 2017), installed on the ISS and in operation since 2015, for the measurement of the flux and anisotropy of electrons and nuclei up to 10 TeV; HERD, which will be installed on the Chinese space station, for the measurement of cosmic and gamma rays up to energies of Pev; GAPS for the indirect search for dark matter using an innovative technique for the detection of low energy antinuclei in cosmic rays. Nuclear physics research focuses on collisions of ions at intermediate or low energy, benefiting from

flusso e dell'anisotropia di elettroni e nuclei fino a 10 TeV; HERD, che sarà installato sulla stazione spaziale cinese, per la misura di raggi cosmici e gamma fino ad energie del Pev; GAPS per la ricerca indiretta di materia oscura con una tecnica innovativa di rilevazione degli antinuclei di bassa energia nei raggi cosmici. Le attività di ricerca in Fisica nucleare si focalizzano sulle collisioni di ioni a energia intermedia o bassa, beneficiando di una rete di laboratori che include i LNL, Laboratori Nazionali di Legnaro (Pd) e i LNS, Laboratori Nazionali del Sud (Ct), in Italia, il CERN (Ginevra, CH) e GANIL (Caen, FR) in Europa. I ricercatori fiorentini lavorano alla caratterizzazione di nuclei esotici, all'analisi della dinamica delle reazioni nucleari ed, in prospettiva, allo studio dei livelli eccitati popolati tramite reazioni di fusione-evaporazione, attraverso misure di spettroscopia gamma e di elettroni di conversione. Omettiamo infine ogni riferimento esplicito alle attività di natura più applicativa, in particolare quelle declinate in ambito beni culturali, alle quali è dedicato un contributo a parte di questa stessa raccolta.

Chiudiamo infine menzionando l'attività di ricerca del nutrito gruppo di astrofisica, che ha nell'edificio Garbasso la principale sede operativa. La ricerca dei colleghi astrofisici copre scale diverse, dalla caratterizzazione del nostro sistema solare fino allo studio degli oggetti cosmici che popolano l'Universo lontano, come i quasar e i buchi neri. Il gruppo di Firenze è coinvolto con ruoli di responsabilità in numerose missioni spaziali, basti pensare al Solar Orbiter, con il coronografo Metis (Antonucci, 2020), attualmente in volo verso il Sole, o Ariel per lo studio degli esopianeti, con lancio previsto nel 2028. Fondamentale anche il contributo allo sviluppo delle grandi attrezzature per l'osservazione dello spazio

a network of laboratories including the LNL, Laboratori Nazionali di Legnaro (Pd) and LNS, Laboratori Nazionali del Sud (Ct), in Italy, the CERN (Geneva, CH) and the GANIL (Caen, FR) in Europe. The Florentine researchers are working on the characterisation of exotic nuclei, the dynamics of nuclear reactions and, in perspective, on the study of excited levels populated by fusion-evaporation reactions, via gamma and electron conversion spectroscopy measurements. Lastly, no explicit reference is made to activities of a more applied nature, particularly those in the field of cultural heritage, to which a separate paper is devoted.

In conclusion, we would like to mention the research activities of the large astrophysics group which has its main operational headquarters in the Garbasso building. The research carried out by our astrophysics colleagues covers different scales, from the characterisation of our solar system to the study of cosmic objects that populate the remote Universe, such as quasars and black holes. The Florence group is involved, with positions of responsibility, in numerous space missions, such as the Solar Orbiter, with the Metis coronagraph (Antonucci, 2020), currently in flight towards the Sun, or Ariel for the study of exoplanets, scheduled for launch in 2028. The contribution to the development of large equipment for observing space from Earth, such as the HIRES spectrograph, which is going to be housed at ELT, the world's largest telescope, is also fundamental. An independent thematic contribution, comprised in this same collection, is dedicated to these topics, as well as other contributions ranging from plasma physics to the study of the first stars and galaxies, via the use of quasars as standard candles to test the limits of current cosmological theories (Risaliti, 2019).

da Terra, come lo spettrografo HIRES che verrà ospitato presso ELT il più imponente telescopio a mondo. A questi temi, così come ad altri contributi che vanno dalla fisica dei plasmi, fino allo studio delle prime stelle e delle prime galassie, passando dall'utilizzo dei quasar come candele standard per testare i limiti delle attuali teorie cosmologiche (Risaliti, 2019) è dedicato un contributo tematico indipendente, in questa stessa raccolta.

In conclusione, il Dipartimento di Fisica e Astronomia che ha oggi la sua sede principale presso il Polo Scientifico di Sesto Fiorentino rappresenta un vitale e variegato crocevia di interessi scientifici multidisciplinari, l'eredità multiforme di quel progetto visionario inaugurato da pochi pionieri 100 anni fa e sostenuto negli anni dalla dedizione e dall'impegno dei numerosi colleghi che hanno operato sulla collina di Arcetri, nei locali dell'edificio Garbasso, che celebriamo in questo volume.

Referenze

- H. Nastase, 2015, *Introduction to the AdS/CFT Correspondence*, Cambridge University Press.
- F. Bigazzi, A. Caddeo, A.L. Cotrone, A. Paredes, 2021, *Journal of High Energy Physics* **4**.
- F. Becattini, V. Chandra, L. Del Zanna, and E. Grossi, 2013, *Annals Phys.* **338**, 32.
- L. Adamczyk et al. (STAR), 2017, *Nature* **548**, 62.

Summing up, the Department of Physics and Astronomy, which now has its headquarters at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino, is a vital and varied crossroads of multidisciplinary scientific interests, the multifaceted legacy of that visionary project inaugurated by a few pioneers one hundred years ago and sustained over the years by the dedication and commitment of the many colleagues who have worked on Arcetri hills, in the Garbasso building, which we celebrate in this volume.

References

- H. Nastase, 2015, *Introduction to the AdS/CFT Correspondence*, Cambridge University Press.
- F. Bigazzi, A. Caddeo, A.L. Cotrone, A. Paredes, 2021, *Journal of High Energy Physics* **4**.
- F. Becattini, V. Chandra, L. Del Zanna, and E. Grossi, 2013, *Annals Phys.* **338**, 32.
- L. Adamczyk et al. (STAR), 2017, *Nature* **548**, 62.
- R. Arbel-Goren et. al., 2021 *Elife* **10**.
- T. Biancalani et al., 2021, *Nature Methods* **18** (2021).
- L. Silvestri et al, 2021, *Nature Methods* **18**.
- S. Pirandola, R. Laurenza, C. Ottaviani, L. Banchi, 2017, *Nature Communications* **8**.
- L. Silvestri, A.L. Allegra Mascaro, J. Lorri, L. Sacconi, F.S. Pavone, 2013, *Journal of Innovative Optical Health Sciences* **6**.
- C. Arbore, L.Perego, M. Sergides, M. Capitanio, 2019, *Biophysical Reviews* **11**.

- R. Arbel-Goren et. al., 2021 *Elife* **10**.
 T. Biancalani et al., 2021, *Nature Methods* **18** (2021).
 L. Silvestri et al, 2021, *Nature Methods* **18**.
 S. Pirandola, R. Laurenza, C. Ottaviani, L. Bianchi, 2017, *Nature Communications* **8**.
 L. Silvestri, A.L. Allegra Mascaro, J. Lorri, L. Sacconi, F.S. Pavone, 2013, *Journal of Innovative Optical Health Sciences* **6**.
 C. Arbore, L. Perego, M. Sergides, M. Capitano, 2019, *Biophysical Reviews* **11**.
 F. Biccari et. al., 2021, *Defects in functional materials*.
 A.I. Bunea et. Al, 2021, *Advanced Intelligent Systems* **3**.
 R.E. Barfknecht, T. Mendes-Santos, L Fallani, 2021, *Physical Review Research* **3**.
 G.M. Tino, 2021, *Quantum Science and Technology* **6**.
 L Tanzi et. al., 2021, *Physical Review Letters* **122**.
 A.J. Legget, 1970, *Physical Review Letters* **25** .
 ATLAS and CMS Collaborations, 2015, *Physical Review Letters* **114**.
 O. Adriani *et al.* (CALET Collaboration), 2017, *Physical Review Letters*. **119**.
 E. Antonucci, 2020, *Astronomy and Astrophysics* **642**.
 G. Risaliti, E Lusso, 2019, *Nature Astronomy* **3**.

Duccio Fanelli si è laureato in Fisica presso l'Università di Firenze e ha conseguito il Dottorato di Ricerca al Politecnico (KTH) di Stoccolma. È stato Ricercatore all'Istituto Karolinska di Stoccolma, Lecturer all'Università di Manchester, oltre che Professore invitato presso la Scuola Normale di Lione e l'Università di

- F. Biccari et. al., 2021, *Defects in functional materials*.
 A.I. Bunea et. Al, 2021, *Advanced Intelligent Systems* **3**.
 R.E. Barfknecht, T. Mendes-Santos, L Fallani, 2021, *Physical Review Research* **3**.
 G.M. Tino, 2021, *Quantum Science and Technology* **6**.
 L Tanzi et. al., 2021, *Physical Review Letters* **122**.
 A.J. Legget, 1970, *Physical Review Letters* **25** .
 ATLAS and CMS Collaborations, 2015, *Physical Review Letters* **114**.
 O. Adriani *et al.* (CALET Collaboration), 2017, *Physical Review Letters*. **119**.
 E. Antonucci, 2020, *Astronomy and Astrophysics* **642**.
 G. Risaliti, E Lusso, 2019, *Nature Astronomy* **3**.

Duccio Fanelli graduated in Physics from the University of Florence and attained a PhD from Stockholm Polytechnic (KTH). He has been a Researcher at the Karolinska Institute in Stockholm, a Lecturer at the University of Manchester, as well as Visiting Professor at the Ecole Normale in Lyon and the University of Orleans, and Visiting Researcher at the CNRS in Marseille. He is currently Professor in the Physics of Matter at the University of Florence and Director of the Department of Physics and Astronomy. His research is in the field of physics of complex systems.

Orleans e ricercatore invitato presso il CNRS di Marsiglia. Attualmente è Professore in Fisica della materia presso l'Università di Firenze e Direttore del Dipartimento di Fisica e Astronomia. La sua ricerca si colloca nell'ambito della fisica dei sistemi complessi.

Mariaelena Fedi¹, Pier Andrea Mandò^{1,2}

Il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali)

The LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali - Laboratory of Nuclear Techniques for the Environment and Cultural Heritage)

¹ INFN Sezione di Firenze

² Dipartimento di Fisica e Astronomia Università di Firenze

Riassunto. Sono presentate la storia e le attività del LABEC, dai primi lavori svolti all'acceleratore KN3000 presso il Garbasso, al trasferimento nella nuova sede di Sesto Fiorentino con l'installazione del nuovo acceleratore, fino ad oggi.

Parole chiave. Tecniche nucleari, beni culturali, ambiente.

Le origini

A Firenze, attività di fisica nucleare applicata sono iniziate a metà degli anni Ottanta. Per introdurle “storicamente” occorre però tornare agli anni Cinquanta, quando ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN si progettò e costruì il primo acceleratore installato in Italia: un elettrosincrotrone, che richiedeva un

Abstract. The history and activities of the LABEC are presented, from the first work carried out on the KN3000 accelerator at the Garbasso building, to the move to the new site in Sesto Fiorentino with the installation of the new accelerator, to the present day.

Keywords. Nuclear techniques, cultural heritage, environment.

The origins

Applied nuclear physics activities began in Florence in the mid-1980s. To introduce them “historically”, however, we have to go back to the 1950s, when the INFN's National Laboratories in Frascati designed and built the first accelerator installed in Italy: an electrosynchrotron, which required a 3 MV Van de Graaff injector. The electrosynchrotron was decommissioned towards the end of the 1960s, and the Florentine nuclear scientists succeeded in having the



Van de Graaff da 3 MV come iniettore. L'elettrosincrotrone fu poi dismesso verso la fine degli anni Sessanta, e i nucleari fiorentini riuscirono a far trasferire il Van de Graaff al Garbasso, utilizzandolo per misure di spettroscopia nucleare dopo averlo convertito, con un lungo e radicale lavoro di trasformazione, in un “nuovo” acceleratore di ioni positivi (KN3000). Successivamente, il KN3000 fu potenziato per effettuare un importante esperimento di fisica delle interazioni fondamentali (ricerca di violazioni di parità nei nuclei per indagare l'effetto delle correnti deboli neutre nelle interazioni adroniche).

Verso la metà degli anni Ottanta, il KN3000, pur in ottima forma anche grazie alle migliorie apportate per condurre gli esperimenti accennati, iniziava però ad essere obsoleto per misure di fisica nucleare di base. E qui cominciò l'avventura che poi sfocerà nella creazione del Labec (Mandò, 2013; Mandò, 2014).

Il Van de Graaff fu fatto rinascere infatti a una “terza vita” utilizzandolo per attività di ricerca applicata. Anche in altri laboratori nel mondo, con macchine simili, stavano affermandosi le tecniche di *analisi con fasci di ioni* (IBA, Ion Beam Analysis), con le quali si poteva ottenere la composizione di materiali, in maniera completa e non distruttiva, rivelando raggi X, gamma o particelle, di energia caratteristica, emesse irraggiandoli coi fasci accelerati. In particolare, fra le IBA, la tecnica più utilizzata era, come ancora oggi, la PIXE (Particle Induced X-ray Emission). Le nostre prime applicazioni riguardarono l'analisi di composizione del particolato atmosferico (il ben noto PM), di cui non basta misurare la quantità totale, come facevano e fanno le famose “centraline”; è essenziale determinarne anche la composizione, soprattutto per risalire alle sorgenti dell'inquinamento

Van de Graaff transferred to the Garbasso building, where it was used for nuclear spectroscopy measurements, after lengthy and radical conversion into a “new” positive ion accelerator (KN3000). The KN3000 was subsequently upgraded to perform an important experiment in the physics of fundamental interactions (the search for parity violations in nuclei to investigate the effect of weak neutral currents in hadronic interactions).

Towards the middle of the 1980s, despite being in excellent condition thanks to the improvements made to conduct the experiments mentioned above, the KN3000 was starting to become obsolete for the performance of basic nuclear physics measurements. And here began the adventure that would later lead to the creation of the Labec (Mandò, 2013; Mandò, 2014).

The Van de Graaff was revived for a “third life” and used for applied research. In other laboratories around the world, with similar machines, ion beam analysis techniques (IBA, Ion Beam Analysis) were also gaining ground, making it possible to obtain the complete and non-destructive composition of materials by detecting X-rays, gamma rays or particles of characteristic energy, emitted by irradiating them with accelerated beams. Among the IBAs, PIXE (Particle Induced X-ray Emission) was the most widely used technique, as it is today. Our first applications concerned the analysis of the composition of atmospheric particulate (commonly known as PM). Measuring the total quantity of PM, as the famous “pollution monitoring stations” did and still do, was not sufficient; it was also essential to determine its composition, particularly in order to trace the sources of atmospheric pollution, each of which is characterised by a different compositional pattern.

atmosferico, caratterizzate ciascuna da un diverso pattern compositazionale.

Ma essendo a Firenze, il nostro interesse non poteva non indirizzarsi anche alle analisi di materiali nel campo dei beni culturali. Scoprire i materiali utilizzati per la produzione delle opere è importante per la conoscenza storica di quanto era disponibile e delle "tecnologie di produzione" nel passato, fino a fornire in certi casi anche elementi utili per la loro attribuzione. Ed è forse di ancor maggiore importanza come conoscenza preliminare agli interventi conservativi: l'informazione su quali materiali originali si andrà ad operare è fondamentale per le scelte operative di tecniche e materiali da utilizzare oggi nell'intervento.

E poiché nel campo dei beni culturali un requisito fondamentale delle tecniche di analisi è quello della non invasività e non distruttività, le tecniche IBA, che lavorando nelle giuste condizioni di misura hanno queste caratteristiche, si presentavano come ideali. Ovviamente occorre operare in queste condizioni di sicurezza. Noi ad esempio iniziammo subito a utilizzare fasci "esterni", cioè estratti dalle linee di vuoto dell'acceleratore, mantenendo così in atmosfera l'opera da analizzare.

Dopo aver fatto numerosi rassicuranti test su dipinti o altri tipi di opere possedute personalmente, progressivamente, nel corso degli anni Ottanta, acquisimmo la fiducia di un numero sempre maggiore di "clienti". Fra i primi, colleghi codicologi che studiavano manoscritti medievali e rinascimentali, insieme ai quali furono analizzati inchiostri e tempere di miniature di codici della Biblioteca Vaticana, della Laurenziana e di altre collezioni.

In seguito, in collaborazione con l'Istituto e Museo di Storia della Scienza

But being in Florence, our interest was obviously focused on the analysis of materials in the field of cultural heritage. Discovering the materials used in the creation of this heritage is important to the historical knowledge of what was available and of the "production technologies" used in the past. In some cases, it even provides elements useful for the attribution of a work. And it is perhaps even more important as preliminary knowledge for conservative interventions: information on which original materials had been used is crucial to the operational choices of techniques and materials to be used today.

And as an essential requirement of analysis techniques in the field of cultural heritage is non-invasiveness and non-destructiveness, IBA techniques, which have these characteristics when working under the right measurement conditions, were ideal. Obviously, it was necessary to operate under these safe conditions. We immediately started to use "external" beams, extracted from the vacuum lines of the accelerator, maintaining the work to be analysed in air.

Having carried out numerous reassuring tests on paintings or other works owned by us, we gradually gained the trust of an increasing number of "clients" during the 1980s. The first included codicologists studying medieval and Renaissance manuscripts, with whom we analysed inks and temperas in illuminated manuscripts from the Vatican Library, the Laurentian Library and other collections.

Subsequently, in collaboration with the Istituto e Museo di Storia della Scienza (now the Museo Galileo), an extensive campaign was undertaken to analyse Galileo's notes on the problems of "natural motion", kept at the Biblioteca Nazionale in Florence. We were able to

(oggi Museo Galileo), fu svolta una estesa campagna di analisi degli appunti di Galileo sui problemi del “moto naturale”, conservati alla Biblioteca Nazionale di Firenze, riuscendo a ricostruire l’ordine cronologico di alcuni degli appunti non datati grazie al confronto della composizione degli inchiostri con quella di altri scritti di Galileo di data certa (ad es. lettere).

Un incontro determinante per consolidare la nostra buona reputazione anche a livello internazionale nel campo delle analisi di materiali per i beni culturali fu poi negli anni Novanta quello con gli storici dell’arte e i restauratori dell’Opificio delle Pietre Dure, con i quali la collaborazione è tuttora molto intensa. Grazie all’OPD, già nel periodo in cui lavoravamo col KN3000 al Garbasso furono analizzate opere di grande importanza, tra cui un dipinto di Leonardo, terrecotte invetriate robbiane, disegni e altre opere di famosi artisti rinascimentali.

I risultati ottenuti in questi anni ebbero vasta risonanza, e per potenziare queste attività l’INFN finanziò nel 2000 l’acquisto di un più moderno acceleratore da installare al Polo di Sesto Fiorentino, dove l’Università stava costruendo un ampio edificio dedicato proprio ad ospitare strumentazione per applicazioni di tecniche nucleari.

Il KN3000 cessò quindi definitivamente di lavorare nel 2003, ed è rimasto qui, nei vecchi locali. Ma tra poco avrà una “quarta vita”: grazie a un generoso contributo della Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, a finanziamenti dell’Università e dell’INFN, e all’instancabile lavoro di regista di Giacomo Poggi, i locali saranno restaurati e riadattati e l’acceleratore diventerà una installazione “museale-didattica” del futuro parco scientifico di Arcetri.

reconstruct the chronological order of some of the undated notes by comparing the composition of the inks with that of other writings by Galileo of a known date (letters, for example).

Meeting in the 1990s the art historians and restorers of the Opificio delle Pietre Dure, with whom we still collaborate intensively, was decisive in consolidating our international reputation in the field of analysing cultural heritage materials. Thanks to the OPD, since when we were working with the KN3000 at the Garbasso building, works of outstanding importance, including a painting by Leonardo, works in glazed terracotta by the Della Robbia’s, drawings and other works by famous Renaissance artists, were analysed.

The results obtained resonated on a vast scale and, to strengthen the activities, in 2000 the INFN financed the purchase of a more modern accelerator to be installed at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino, where the University was building a large construction to house instrumentation for nuclear applications.

The KN3000 was decommissioned in 2003 and remained here, at the old premises. However, it is soon to have a “fourth life”. Thanks to a generous contribution from the Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, funding from the University and the INFN, and the tireless direction of Giacomo Poggi, the premises are going to be restored and refurbished, and the accelerator will become an “educational museum” installation in the future Arcetri science park.

Le attività dai primi anni 2000 ad oggi

Il LABEC, come è configurato oggi (Chiari, 2021 e referenze incluse), nasce formalmente proprio col trasferimento del gruppo di fisica nucleare applicata dal Garbasso alla nuova sede di Sesto e con l'installazione del nuovo acceleratore che, per le sue caratteristiche, permetteva sia di dare continuità alle attività già avviate al KN3000 sia di ampliarle con altre tecniche nucleari.

Il nuovo acceleratore (Figura 1), la cui installazione fu completata nel 2004, è un acceleratore elettrostatico di tipo tandem, con una tensione massima di terminale di 3 MV. Sono presenti tre sorgenti di ioni: due del tipo a sputtering, che permettono di estrarre ioni dagli atomi di praticamente qualunque materiale in forma solida, una di tipo "duoplasmatron", che sfrutta elementi in forma gassosa e consente in particolare di avere sul target fasci di protoni o particelle alfa.

Ad oggi, 6 sono i canali di misura installati, con la possibilità di utilizzare set-up sperimentali ognuno specificamente pensato per applicazioni differenti.

Un canale è dedicato alle misure di Accelerator Mass Spectrometry (AMS), tecnica che consente di misurare l'abbondanza relativa di isotopi rari con altissima sensibilità selettiva in campioni di massa al più di qualche milligrammo. Al LABEC, la principale applicazione della AMS è la misura della concentrazione di ^{14}C (radiocarbonio) in campioni organici e inorganici. Tali misure trovano applicazione sia per la datazione di reperti nel campo dei beni culturali, dell'archeologia e delle scienze della terra, sia per lo studio delle diverse sorgenti di emissione della componente carboniosa del particolato (PM) in problematiche ambientali.

Activities from the early 2000s to the present day

LABEC, as configured today (Chiari, 2021 and references included), was formally established with the transferral of the applied nuclear physics group from the Garbasso building to the new site in Sesto and with the installation of the new accelerator, the characteristics of which allowed both continuity of the activities already begun with the KN3000 and their expansion with other nuclear techniques.

The installation of the new accelerator (Figure 1) was completed in 2004. This is a tandem electrostatic accelerator with a maximum terminal voltage of 3 MV. There are three ion sources: two sputtering sources, which make it possible to extract ions from the atoms of practically any solid material, and one "duoplasmatron" source, which uses elements in gaseous form and permits the irradiation of the target with beams of protons or alpha particles.

Six measurement channels have been installed to date, with the possibility of using experimental set-ups, each specifically designed for different applications.

One channel is dedicated to Accelerator Mass Spectrometry (AMS) measurements, a technique that allows the measurement of the relative abundance of rare isotopes with very high selective sensitivity in samples with masses of a few milligrams at the most. At the LABEC, the main application of AMS is the measurement of the concentration of ^{14}C (radiocarbon) in organic and inorganic samples. These measurements are used both for dating artefacts in the field of cultural heritage, archaeology and earth sciences, and for studying the various emis-



Figura 1. Sala sperimentale (35x15 m²) che ospita l'acceleratore tandem del LABEC. In primo piano la sezione a bassa energia con le sorgenti di ioni.

Figure 1. Experimental room (35x15 m²) housing the LABEC's tandem accelerator, with the low-energy section with the ion sources in the close-up.

sion sources of the carbonaceous component of particulate matter (PM) in environmental issues.

Four channels are dedicated to IBA measurements, each with a different channel set-up, optimised for specific activities:

- multipurpose vacuum chamber;
- external beam for cultural heritage measurements;
- external beam for PM measurements;
- external microbeam, generated by strong focusing, with a beam size on the target that can be reduced to about ten microns.

A last measurement channel uses an accelerated beam deflection system to generate a pulsed beam, used mainly for detector testing, material science applications and implantation.

Ancillary laboratories that were essential to the accelerator's activities were set up since the beginning, upgrading them constantly. These laboratories are mechanical and electronic laboratories, a laboratory for the management of PM samplers and the compositional characterisation of its carbonaceous components, and one for the preparation of samples for ¹⁴C measurements.

The intense R&D activity has also contributed not only to improving the experimental set-ups of the accelerator – for example with the integration of several detectors, each for the various “products” of the beam-target interactions, on the cultural heritage channel, and with the optimisation for high counting rates of the set-up for PM measurements – but also to developing innovative instrumentation to overcome some of the limitations of the technologies used on

Quattro canali sono dedicati a misure IBA, ognuno con un set-up di fondo canale diverso, ottimizzato per specifiche attività:

- camera “multipurpose” in vuoto;
- fascio esterno per misure su beni culturali;
- fascio esterno per misure sul PM;
- microfascio esterno, prodotto tramite focheggiamento forte, con dimensioni sul bersaglio riducibili a una decina di micron.

Un altro canale di misura, infine, grazie a un sistema di deflessione del fascio accelerato produce un fascio pulsato, utilizzato soprattutto per test di rivelatori, per applicazioni di scienza dei materiali e per impiantazioni.

Al LABEC sono stati allestiti fin da subito laboratori ancillari fondamentali per le attività dell'acceleratore, nel seguito costantemente aggiornati: laboratori di meccanica ed elettronica, un laboratorio per la gestione dei campionatori del PM e la caratterizzazione composizionale delle sue componenti carboniose, e uno di preparazione campioni per misure di ^{14}C .

L'intensa attività di R&D ha poi contribuito non solo a migliorare sempre di più i set-up sperimentali dell'acceleratore – ad esempio, l'integrazione di più rivelatori, ognuno per i vari “prodotti” delle interazioni fascio-bersaglio al canale per i beni culturali, e l'ottimizzazione per alti ritmi di conteggio del set-up per misure sul PM – ma anche a sviluppare strumentazione innovativa per superare alcuni limiti delle tecnologie sfruttate all'acceleratore. Possiamo qui citare MACHINA (Movable Accelerator for Cultural Heritage In-situ Non destructive Analysis), un progetto finanziato dal MUR nell'ambito del programma FISIR, in collaborazio-

the accelerator. We can mention MACHINA (Movable Accelerator for Cultural Heritage In-situ Non-destructive Analysis), a project funded by the MUR as part of the FISIR programme, in collaboration with KT CERN and Opificio delle Pietre Dure, which is building an innovative 2 MeV transportable proton accelerator. The main limitation of IBA techniques, especially when dealing with cultural heritage, is currently represented by the immobility of the accelerator, which makes it necessary to bring any material to be analysed to the laboratory. By exploiting acceleration through resonant cavities, MACHINA will be portable, making it suitable for use in museums and restoration centres.

Again, with a view to the portability of the analysis instrument, the LABEC has developed equipment that exploits X-ray Fluorescence (XRF), which makes it possible to study the elemental composition of materials thanks to the detection of X-rays, as in PIXE; in XRF, the ionisation followed by X-emission is induced by primary electromagnetic radiation through the photoelectric effect, rather than by the interactions of ions. Portable XRF instruments have been developed over the years, with very good sensitivity even to low-Z elements ($Z \geq 11$), which also allow the acquisition, by scanning, of element distribution maps with a spatial resolution as low as ~2-300 μm . The latest generation of XRF scanners has also been designed and manufactured with a rangefinder that continuously measures the distance between the measuring head and the object being scanned to keep it constant when scanning large areas. These scanners are extremely versatile and are widely used, especially when it is necessary to work on-site. Examples of use are the numerous XRF campaigns on works – some of which large – restored at

ne con KT CERN e Opificio delle Pietre Dure, che sta realizzando un innovativo acceleratore di protoni da 2 MeV trasportabile. Il principale limite delle tecniche IBA, soprattutto quando si parla di patrimonio culturale, è infatti attualmente rappresentato dalla inamovibilità dell'acceleratore, che rende necessario portare in laboratorio qualunque materiale da analizzare. Sfruttando l'accelerazione tramite cavità risonanti, MACHINA avrà caratteristiche tali da poter essere portato e utilizzato nei musei e nei centri di restauro.

Sempre nell'ottica della portabilità dello strumento di analisi, al LABEC si sono realizzati apparati che sfruttano la X-ray Fluorescence (XRF), che permette di studiare la composizione elementale dei materiali grazie alla rivelazione dei raggi X, come la PIXE; nella XRF la ionizzazione a cui segue l'emissione X è indotta da radiazione elettromagnetica primaria per effetto fotoelettrico, anziché dalle interazioni con ioni. Negli anni, sono stati sviluppati strumenti XRF portatili, con un'ottima sensibilità anche agli elementi di basso Z ($Z \geq 11$), che permettono tramite scansione anche di acquisire mappe di distribuzione degli elementi con una risoluzione spaziale anche solo di $\sim 2\text{-}300 \mu\text{m}$. L'ultima generazione di scanner XRF è stata progettata e realizzata anche con un telemetro che rileva continuamente la distanza fra la testa di misura e l'oggetto analizzato per mantenerla costante durante la scansione di superfici estese. Questi scanner sono estremamente versatili e trovano ampia applicazione soprattutto quando è necessario operare in-situ. Ne sono esempio le numerose campagne XRF su opere – anche di grandi dimensioni – in restauro presso l'OPD, fra cui l'Adorazione dei Magi di Leonardo, oppure su strutture murarie e architettoniche come gli scavi di Pompei.

the OPD, including Leonardo's Adoration of the Magi, or on masonry and architectural structures such as the excavations in Pompeii.

Again, with regard to R&D, we can mention the constant developments made in radiocarbon measurements, such as the new set-up for the measurement of ultra-small samples (around 50 μg of carbon) or the studies on new processes for the extraction of the datable component in complex matrix materials such as mortar.

Intense technological research and development work has always naturally accompanied the applications. In the environmental field, there have been numerous campaigns to measure the composition of PM collected on thousands of daily filters and even with hourly resolution, both in urban contexts (not only in Italy, but also in Spain, Portugal, the UK, Poland, India, China and Japan) and in remote contexts such as Ny-Alesund, in the Svalbard Islands, and Antarctica. As far as applications to Cultural Heritage are concerned, in addition to that said above about XRF, there are also the IBA analyses on the Trivulzio Portrait by Antonello da Messina, on works by Mantegna, Giorgio Vasari, Raphael, and the hundreds of datings of both works of art and archaeological finds.

The "production" of such a large amount of data has also contributed to the development of the need to think of new ways of storing, managing and reusing such data, stimulating research in the digital field. LABEC researchers have taken part in major European initiatives such as EOSC_Pillar and Ariadne+, projects that study how to make data available to the archaeological community according to FAIR principles (Findable, Accessible, Interoperable

Sempre a proposito di R&D si possono infine citare i costanti sviluppi che sono portati avanti per le misure di radiocarbonio, come il nuovo set-up di preparazione per la misura di campioni di piccolissima massa (dell'ordine di 50 µg di carbonio) oppure gli studi su nuovi processi di estrazione della componente databile in materiali di matrice complessa come le malte.

L'intenso lavoro di ricerca e sviluppo tecnologici si è sempre poi naturalmente affiancato alle applicazioni. Ricordiamo, in campo ambientale, le moltissime campagne di misura della composizione del PM raccolto su migliaia di filtri giornalieri oppure anche con risoluzione oraria sia in contesti urbani (oltre che in Italia, in Spagna, Portogallo, Regno Unito, Polonia, India, Cina, Giappone) sia in contesti remoti come Ny-Alesund, alle Isole Svalbard, o in Antartide. Per quanto riguarda le applicazioni ai Beni Culturali, oltre a quanto detto sopra per l'XRF, citiamo le analisi IBA sul Ritratto Trivulzio di Antonello da Messina, su opere di Mantegna, Giorgio Vasari, Raffaello, e le centinaia di datazioni sia di opere d'arte che di reperti archeologici.

La "produzione" di una grande mole di dati ha contribuito anche a far nascere l'esigenza di pensare a nuovi modi di *storing*, gestione e riuso di tali dati, stimolando quindi la ricerca in campo digitale con la partecipazione dei ricercatori del LABEC a iniziative importanti nel panorama europeo come EOSC_Pillar e Ariadne+, progetti che studiano proprio come rendere disponibili alle comunità per esempio degli archeologi i dati secondo i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable e Re-usable). Oltre alla partecipazione ai due progetti sopra indicati, a livello europeo l'INFN col LABEC è capofila di 4CH, che ha il fine di

and Re-usable). In addition to its participation in the two above-mentioned projects, at European level the INFN, with the LABEC, is the leader of 4CH, which aims to organise, design and implement a Centre of Expertise for the preservation and conservation of sites and monuments using the most advanced ITC technologies. Other European projects focus on transnational access, offering researchers from other countries highly qualified services for analysing the composition of materials, i.e., IBA techniques (Radiate project), or techniques for ¹⁴C dating (IPERION HS project).

It is also worth mentioning national initiatives within the FISR, PRIN, PNRA and BRIC programmes, projects financed by the Region of Tuscany, and by the national scientific commissions of the INFN, witness to the great vitality and topicality of applied nuclear physics for the environment, cultural heritage and the science of materials, which are evident also in consideration of the strong interconnection with other important national and international research centres. For example, the LABEC promoted the birth of CHNet (Cultural Heritage Network), the national network of INFN laboratories where cultural heritage research is carried out. Moreover, the LABEC with CHNet is part of E-RIHS.it, the national node of E-RIHS, the European research infrastructure on the ESFRI roadmap for cultural heritage. As far as the environment is concerned, the LABEC is part of Actris, the European research infrastructure, also on the ESFRI roadmap, which coordinates observations and scientific research on aerosol, clouds and trace gases in the atmosphere; the Elemental Mass Calibration Centre (EMC2), in particular, is located in Florence.

organizzare, progettare e realizzare un Centro di Competenza per la preservazione e conservazione di siti e monumenti utilizzando le più avanzate tecnologie ITC. Altri progetti europei sono centrati sull'accesso transnazionale, cioè sulla possibilità di offrire a ricercatori di altri paesi servizi di alta qualificazione per l'analisi di composizione dei materiali, quindi tecniche IBA (progetto Radiate), oppure per la datazione con ^{14}C (progetto IPERION HS).

Vanno anche menzionate iniziative nazionali nell'ambito dei programmi FIRSR, PRIN, PNRA, BRIC, progetti finanziati dalla Regione Toscana, nonché dalle commissioni scientifiche nazionali dell'INFN, a testimonianza delle grandi vitalità e attualità della fisica nucleare applicata per ambiente, beni culturali e scienza dei materiali, che sono evidenti anche considerando la forte interconnessione con altri importanti centri di ricerca sia nazionali che internazionali. Per esempio, è stato proprio il LABEC a promuovere negli anni passati la nascita di CHNet, Cultural Heritage Network, la rete nazionale dei laboratori INFN in cui si fa ricerca per il patrimonio culturale. Inoltre, il LABEC con CHNet fa parte di E-RIHS.it, il nodo nazionale di E-RIHS, l'infrastruttura di ricerca europea in roadmap ESFRI per i beni culturali. Per quanto riguarda l'ambiente, il LABEC fa parte di Actris, l'infrastruttura di ricerca europea, anch'essa in roadmap ESFRI, che coordina le osservazioni e la ricerca scientifica su aerosol, nubi e gas in traccia in atmosfera; in particolare, proprio a Firenze è ospitato l'Elemental Mass Calibration Centre (EMC2).

Un'ultima cosa ci preme sottolineare: l'attività si è sempre svolta, fin dai tempi del Garbasso, coniugando applicazioni, sviluppo di strumentazione innovati-

There is one last thing that we would like to emphasise: since the days of the Garbasso, the activity has always been carried out by combining applications, the development of innovative instrumentation and the optimisation of analytical techniques with a constant focus on dialogue with students from the physics, chemistry and cultural heritage science degree courses. Because ultimately, people are what make a laboratory alive and successful!

References

- Mandò P.A. (2013), *Il Colle di Galileo*, Vol.2, 2, 27-42.
 Mandò P.A. (2014), *Il Colle di Galileo*, Vol.3, 1, 15-29.
 Chiari M. et al. (2021), *EPJ Plus* vol. 136, 472-499.

Mariaelena Fedi, "primo tecnologo" at the INFN section in Florence, is currently responsible for AMS research activities at LABEC and national co-responsible for the INFN-Kids dissemination initiative, which tells children about science.

Pier Andrea Mandò, former full professor of Applied Physics at the University of Florence, and now retired, initiated the accelerator activities that led to the establishment of the LABEC.

va e ottimizzazione di tecniche analitiche con una costante attenzione al dialogo con studenti e studentesse dei corsi di laurea di fisica, chimica e scienze dei beni culturali. Perché in definitiva sono le persone che rendono viva ed efficace l'attività di un laboratorio!

Bibliografia

Mandò P.A. (2013), Il Colle di Galileo, Vol.2, 2, 27-42.

Mandò P.A. (2014), Il Colle di Galileo, Vol.3, 1, 15-29.

Chiari M. et al. (2021), EPJ Plus vol. 136, 472-499.

Mariaelena Fedi, primo tecnologo presso la sezione INFN di Firenze, è attualmente responsabile delle attività di ricerca AMS al LABEC e co-responsabile nazionale dell'iniziativa di divulgazione INFN Kids che racconta la scienza ai bambini.

Pier Andrea Mandò, già ordinario di Fisica Applicata nell'Università di Firenze, attualmente in pensione, è stato l'iniziatore delle attività con l'acceleratore che hanno poi portato alla costituzione del LABEC.

Elisabetta Cerbai¹, Vincenzo Schettino²

Storia e struttura del LENS

History and structure of the LENS

¹ LENS, Università di Firenze

² Accademia Nazionale dei Lincei, Università di Firenze

Riassunto. L'articolo riporta la storia delle origini del LENS come struttura internazionale aperta per lo svolgimento di ricerche avanzate sul laser e sulle sue applicazioni in fisica, chimica, biologia, medicina. Viene descritta la situazione attuale del laboratorio con accenni alle cose realizzate finora e vengono indicate le prospettive di sviluppi futuri.

Parole chiave. Laser, spettroscopia, fisica della materia, quantistica.

1. La nascita del Lens

L'avventura del LENS, Laboratorio Europeo di Spettroscopia Non-lineare, inizia alla metà degli anni 1980 quando Salvatore Califano, dopo avere per alcuni anni diretto il Département de Recherches Physiques della Université Pierre et Marie Curie in Parigi, rientra a Firenze con il progetto di creare un laboratorio, una facility, deputato allo svolgimento di ricerche avanzate basate sull'uso del laser.

I primi laser ottici avevano visto la luce nel 1960, il laser a rubino ad opera di Maiman e il laser a He-Ne ad opera di Javan. Townes che aveva stabilito le condizioni per il funzionamento del laser a rubino lo aveva definito “la soluzione in cerca del problema”, considerandolo come una curiosità di laboratorio ma si era

Abstract. The article tells the story of the origins of the LENS as an open international facility for the performance of advanced research on lasers and their applications in physics, chemistry, biology and medicine. The laboratory's current situation is described, with references to what has been achieved so far and indications of future prospects.

Keywords. Laser, spectroscopy, physics of matter, quantum physics.

1. The birth of the LENS

The adventure of the LENS, the European Laboratory for Non-linear Spectroscopy, began in the mid-1980s when Salvatore Califano, after directing the Département de Recherches Physiques of the Université Pierre et Marie Curie in Paris, returned to Florence with a plan to create a laboratory, a facility, for advanced research based on the use of lasers.



cautelato facendo firmare da uno studente il quaderno di laboratorio per registrarlo in previsione di un successivo brevetto. In una poesia celebrativa del laser a He-Ne troviamo già la previsione del futuro del laser:

Per spettri e laser una nuova era ha visto l'alba.
Dalla bioscienza all'astronomia.

Lo sviluppo di sempre nuovi laser e di ricerche e applicazioni basate sul laser è stato straordinario. Senza andare in dettagli lo possiamo vedere dalla successione di premi Nobel assegnati per ricerche sul laser e sulle sue applicazioni:

- 1971 – Denis Gabor, per l'olografia.
- 1981 – Nicolaas Bloembergen e Arthur L. Schawlow
spettroscopia laser ed effetti ottici non lineari: (comunicazioni in fibre ottiche, calcolo quantistico)
- 1989 – Norman S. Ramsey,
maser a idrogeno, orologio atomico a Cs
- 1997 – S. Chu, C. Cohen-Tannoudji e W. D Philips
laser cooling: raffreddamento e intrappolamento di atomi con luce laser.
- 1999 – Ahmed Zewail
emtochimica, reazioni chimiche con impulsi laser ultracorti
- 2001 – Eric A. Cornell, W. Ketterle e Carl E. Wieman
condensazione di Bose-Einstein; freddare atomi fino a 1 micro-kelvin senza condensarli in liquido o solido

The first optical lasers, the ruby laser by Maiman and the He-Ne laser by Javan, had seen the light in 1960. Townes, who had established the conditions for the operation of the ruby laser, called it 'the solution in search of the problem'. He considered it a laboratory curiosity but protected himself by having a student sign the laboratory notebook to register it with a view to filing a subsequent patent. In a poem celebrating the He-Ne laser, we find a prediction of the future of lasers:

For spectra and lasers, a new era has seen the dawn.
From bioscience to astronomy.

The development of ever new lasers and laser-based research and applications has been extraordinary. Without going into detail, we can see this from the succession of Nobel Prizes awarded for research into lasers and their applications:

- 1971 – Denis Gabor, for holography.
- 1981 – Nicolaas Bloembergen and Arthur L. Schawlow
Laser spectroscopy and non-linear optical effects: (fibre optic communications, quantum computing).
- 1989 – Norman S. Ramsey,
hydrogen maser, Cs atomic clock
- 1997 – S. Chu, C. Cohen-Tannoudji and W. D Philips
laser cooling: cooling and trapping of atoms with laser light.

2005 – John L. Hall e Theodor W. Hansch
spettroscopia di precisione, frequency comb

Continuando fin ai nostri giorni, a tal punto che in occasione del cinquantesimo anniversario della creazione del primo laser ottico Barak Obama, Presidente degli Stati Uniti, USA ha affermato che:

Il laser ha cambiato il nostro modo di vivere.

È in questo contesto che negli anni '80 era sorta l'esigenza di una struttura aperta, liberamente accessibile ai ricercatori per svolgere ricerche basate sul laser. Già a Parigi Califano aveva stabilito contatti preliminari con colleghi stranieri (Robert Pick di Parigi VI, Derek Long dell'Università di Bradford ed altri) per elaborare un progetto sovranazionale. Naturalmente, un problema base era stabilire una sede e trovare il necessario finanziamento per creare una tale struttura.

Continuando questi contatti, Califano porta e discute il progetto a Firenze, trovando subito l'adesione di Ruggero Querzoli, con il suo tradizionale entusiasmo, e subito quello di Tito Arcchi, allora direttore dell'Istituto Nazionale di Ottica, riallacciandosi così alla grande tradizione fiorentina nell'ottica. Il punto di svolta sarà l'adesione al progetto di Paolo Blasi, allora direttore del Dipartimento di Fisica.

Mentre continuano i contatti con i corrispondenti stranieri, vengono alla fine rotti gli indugi e una delegazione fiorentina guidata da Blasi e costituita da Califano, Querzoli, Arcchi, Schettino e Colocci si reca a Roma per sottoporre il

- 1999 – Ahmed Zewail
femtochemistry, chemical reactions with ultrashort laser pulses
- 2001 – Eric A. Cornell, W. Ketterle and Carl E. Wieman
Bose-Einstein condensation; cooling atoms down to 1 micro-kelvin without condensing them into liquid or solid
- 2005 – John L. Hall and Theodor W. Hansch
precision spectroscopy, frequency comb

continuing through to the present day, to the point that, on the 50th anniversary of the creation of the first optical laser, US President Barak Obama, stated that:

The laser has changed the way we live.

It was in this context that the need for an open, freely accessible facility for researchers to carry out laser-based research arose in the 1980s. In Paris, Califano had already made preliminary contacts with foreign colleagues (Robert Pick of Paris VI, Derek Long of the University of Bradford and others) to develop a supranational project. Of course, a basic problem regarded choosing the location and finding the necessary funding to set up such a structure.

Following up on these contacts, Califano brought the project to Florence, immediately gaining the support of Ruggero Querzoli, with his traditional enthusiasm, and Tito Arcchi, then director

progetto al Ministero dell'Università. L'accoglienza è favorevole, oltre le più rosee aspettative della delegazione con la prospettiva di un finanziamento significativo per la costruzione di un edificio pro tempore, l'acquisto delle attrezzature e la gestione della nuova struttura. Da questo momento in poi la storia si accelera: costruito il nuovo edificio in Arcetri e acquisite le attrezzature di base inizia una intensa attività di ricerca che viene poi ancora intensificata con la chiamata a Firenze di Massimo Inguscio e di Theodor Hansch, che svolgerà nel LENS parte dell'attività di ricerca che gli varrà il premio Nobel per la fisica nel 2005.

Quali lezioni possiamo imparare da questa che abbiamo chiamato avventura del LENS. La prima considerazione che possiamo fare è che quando c'è una concordanza di intenti tra gruppi di ricercatori, le autorità accademiche locali e nazionali è anche possibile realizzare strutture di ricerca di notevole importanza in tempi relativamente brevi per le nostre abitudini. A questo proposito bisogna ricordare la disponibilità dimostrata da Comune e Provincia di Firenze e dalla Regione Toscana per ottenere il permesso di costruzione della prima sede del LENS in Arcetri.

Il secondo punto importante è il carattere interdisciplinare che il Laboratorio assume fin dalla sua nascita e in base al suo statuto: è un luogo di ricerca per chimico-fisici e strutturisti della materia che poi si allarga all'ambito biologico. Si può in complesso dire che, anche se lo statuto indica indirizzi di ricerca del tutto generali, le reali linee di ricerca sono definite dai ricercatori che chiedono di operare nel Laboratorio. Il LENS nasce e si sviluppa quindi come una facility aperta di carattere internazionale: non ha personale fisso proprio, eccetto che per

of the National Institute of Optics, linking up to the great Florentine tradition in optics. The turning point came when Paolo Blasi, then director of the Physics Department, joined the project.

While the contacts with foreign correspondents continued, they finally reached an agreement and a Florentine delegation led by Blasi and comprising Califano, Querzoli, Arcetri, Schettino and Colocci went to Rome to submit the project to the Ministry of University. The reception was favourable, beyond the delegation's wildest expectations, offering prospects for significant funding for the construction of a pro tempore building, the purchase of equipment and the management of the new structure. From this point onwards, the story accelerated: the new construction in Arcetri was built and, after purchasing the basic equipment, intense research activity began. This was intensified further with the arrival in Florence of Massimo Inguscio and Theodor Hansch, who carried out part of the research at the LENS that was to win him the Nobel Prize for physics in 2005.

What lessons can we learn from this so-called LENS adventure? The first consideration we can make is that when there is a consensus of intent between groups of researchers and local and national academic authorities, it is also possible to set up research facilities of outstanding importance in a relatively short space of time. With this in mind, we must remember the willingness shown by the Municipal and Provincial authorities of Florence and the Region of Tuscany to obtain permission to build the first LENS site in Arcetri.

The second important point is the interdisciplinary character that the Laboratory has had since its foundation and on the basis of its statute: it is a place of research for chemical-physi-

quanto riguarda la parte tecnica e amministrativa. Ha un consiglio di amministrazione internazionale che elegge il Direttore e che approva i progetti di ricerca proposti. I visitatori stranieri sono stati numerosissimi e questo ha contribuito a creare un ambiente particolarmente stimolante per i giovani. Del resto, fin dagli inizi il Laboratorio è stato sede di un corso di dottorato di ricerca.

Possiamo forse concludere questa breve illustrazione delle origini del LENS chiedendoci quale sia la *mission* di un laboratorio come il LENS. La finalità del LENS consiste nel mettere a disposizione dei ricercatori una complessa e sofisticata strumentazione per vedere l'invisibile, cioè per osservare direttamente oggetti microscopici per studiarne la struttura, le interazioni con quello che hanno intorno e la loro dinamica. Non solo: con la complessa strumentazione laser è possibile manipolare singoli atomi, molecole o cellule per rivelarne le funzionalità. Nel dedicare il suo grande poema a Memmio, Lucrezio lo mette sull'avviso scrivendo:

Forse però tu con credi pienamente alle mie parole
perché gli atomi non sono visibili all'occhio;

Se avesse potuto immaginare che sarebbero esistiti laboratori come il LENS forse Lucrezio avrebbe cancellato questi versi.

2. La strada fatta e quella da percorrere

La domanda pressante è: quale presente e soprattutto quale futuro vediamo dentro e fuori dal LENS. In un paese in cui le regole che governano la ricerca mutano,

cists and structuralists of matter, which then extended to the biological sphere. On the whole, it can be said that, although the statutes indicate very general lines of research, the actual lines of research are defined by the researchers who apply to work at the Laboratory. The LENS was set up and developed as an open international facility: it has no permanent staff of its own, except for those that handle technical and administrative matters. It has an international board of directors which elects the Director and approves the research projects proposed. There have been many foreign visitors, and this has helped to create a particularly stimulating environment for young people. After all, the Laboratory has been home to a PhD course right from the start.

We can perhaps conclude this brief account of the origins of the LENS by asking what the *mission* of a laboratory like the LENS is. The purpose of LENS is to provide researchers with complex and sophisticated instrumentation to see the invisible, to observe microscopic objects directly in order to study their structure, their interactions with their surroundings and their dynamics. And that's not all: with complex laser instrumentation it is possible to manipulate individual atoms, molecules or cells to reveal their functions. In dedicating his great poem to Memmius, Lucretius warns him by writing:

But perhaps you do not fully believe my words
because atoms are not visible to the eye;

Had he been able to imagine that laboratories such as the LENS would have come to exist, Lucretius might have deleted these lines.

spesso, anche per gli enti per così dire tradizionalmente e normativamente definiti, le sfide e le difficoltà sono molte e a volte sembrano insormontabili. Eppure, anche a un osservatore meno documentato di coloro che ne hanno promosso la fondazione e crescita, il LENS è una di quelle imbarcazioni che sembra siano sempre facili prede della tempesta eppure navigano ovunque. La sua forza è nella sua leggerezza:

*Per correr miglior acque alza le vele
omai la navicella del mio ingegno...*
(Dante PG 1,2)

Queste caratteristiche volute fin dalla creazione del LENS, come sopra descritto, hanno fatto sì che mantenesse intatta negli anni, pur nella fedeltà alla sua specifica missione, la continua sperimentazione di temi di frontiera, la rapida evoluzione degli ambiti di ricerca, l'apertura *interdisciplinare*. Scommettere sulle possibilità che la ricerca su e con i laser aprisse nuove strade alla multidisciplinarietà è stata una precisa volontà pionieristica dei fondatori del LENS che è stata rispettata e ampliata coinvolgendo tutti gli ambiti del sapere: scientifico, medico, biologico, ma anche umanistico, artistico, sociale.

Altra impronta unica è quella *interistituzionale*: il LENS è *istituito* presso l'Università di Firenze ma contiguo al CNR in primis, connesso a INRIM, INFN, Scuola Normale Superiore di Pisa e altri atenei ed enti pubblici con specifiche convenzioni.

È *internazionale*: non solo nei consigli direttivo e scientifico dove siedono ricercatori italiani ed europei da Germania, Francia, Olanda, Gran Bretagna, ma anche nella scuola di dottorato con molti giovani da altri paesi.

2. The road travelled and the road ahead

The burning question is: which present and, above all, which future do we see inside and outside the LENS? In a country where the rules governing research change frequently, even for traditionally and legislatively defined institutions, the challenges and difficulties are many and sometimes seem insurmountable. Yet, even to a less well-informed observer than those who promoted its foundation and growth, the LENS is one of those vessels which always seem to be easy prey to the storm and yet manage to sail every sea. Its strength lies in its lightness:

*To run o'er better water hoists her sails
the little vessel of my genius now,*
(Dante Purgatory 1, 2)

These characteristics, looked-for since the foundation of the LENS, as described above, have ensured that it has remained faithful to its specific mission over the years, experimenting continually with frontier topics, the rapid evolution of the spheres of research areas and being open to *interdisciplinary* approaches. Foreseeing the possibility that research into and with lasers could open up new avenues to multidisciplinary: this visionary idea of the founders of the LENS, which has been respected and extended, progressively involved all areas of knowledge: scientific, medical, biological, but also humanistic, artistic and social.

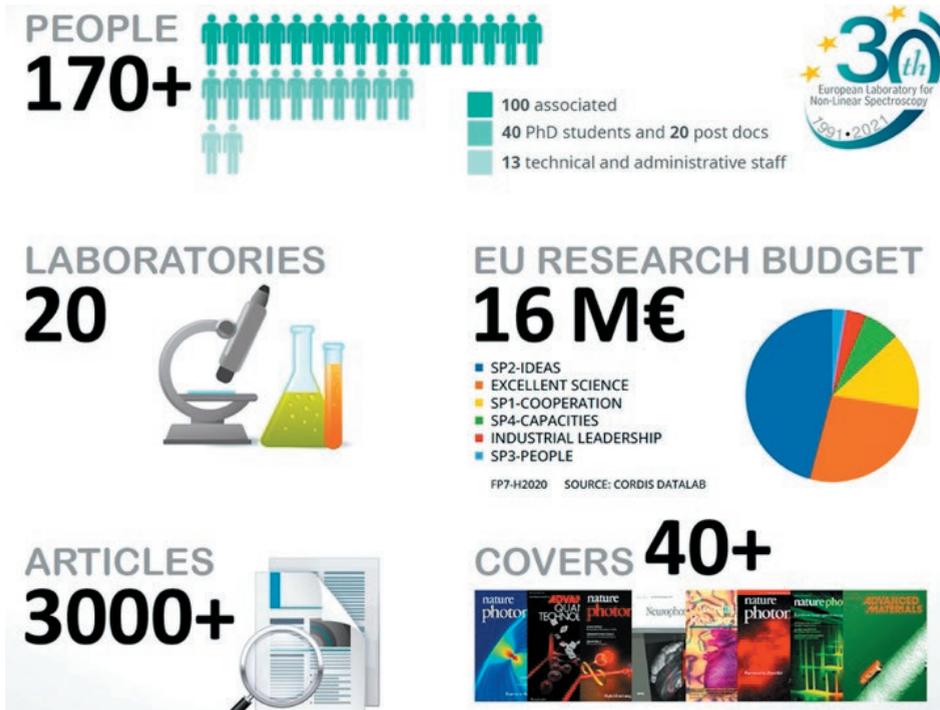


Figura 1. I traguardi scientifici del LENS a trent'anni dall'istituzione: persone, progetti e pubblicazioni.
Figure 1. The scientific achievements of LENS thirty years on: people, projects and publications.

Another unique feature is its *inter-institutional* nature: the LENS is based at the University of Florence, but is linked to the CNR primarily, and to INRIM, INFN, Scuola Normale Superiore di Pisa and other universities and public bodies by means of specific agreements.

It is *international*: not only in its management and scientific councils, where there are Italian and European researchers from Germany, France, Holland and Great Britain, but also in the PhD school with many young people from other countries.

Over the past ten years, the LENS has supported over 70 PhD scholarships at the University of Florence, numerous research grants at the university and at the CNR, and funded researchers on fixed-term contracts. Indeed, this is the mission of a laboratory: preparing people for independent research, creating opportunities and supporting plans for the future. Many young people have come and gone through the LENS: some are now part of the departments and institutes that celebrate this day. The quality of the research, always in collaboration with the co-founders, has been repeatedly certified by the VQR exercises in which the LENS has voluntarily participated since its first edition.

The LENS will be 30 years old in 2021, an age by which young people have made most of the important decisions about their future. It is natural, therefore, to wonder what the LENS can and wants to be, not only with regard to itself but also with regard to its founding disciplines: physics, the 100th anniversary of which we celebrated in Florence, as well as chemistry, biology, the three areas of atomic physics, photonic materials and biophotonics. We are not going to mention the winners of ERC projects, but it is worth noting that some, from abroad,

Negli ultimi 10 anni il LENS ha sostenuto oltre 70 borse di dottorato presso l'università di Firenze, numerosissimi assegni di ricerca in ateneo e nel CNR, finanziato ricercatori a tempo determinato. Perché questo fa un laboratorio: prepara alla ricerca indipendente, crea opportunità, pianifica il futuro. Quindi, tanti giovani sono passati e sono presenti al LENS: alcuni oggi fanno parte dei dipartimenti e degli istituti che celebrano questa giornata. La qualità della ricerca, sempre in collaborazione con gli enti promotori, è certificata dagli esercizi VQR a cui volontariamente ha sempre partecipato.

Nel 2021 il LENS ha compiuto trent'anni: per una ragazza o un ragazzo è l'età a cui le scelte di vita sono ormai in gran parte fatte. È naturale quindi chiedersi cosa il LENS può e vuole essere per sé stesso e per le discipline fondative: fisica, di cui abbiamo festeggiato i 100 anni a Firenze, ma anche chimica, biologia, ambiti in cui si muove a livelli eccellenti, le tre aree di fisica atomica, materiali fotonici e biofotonica. Non citiamo i vincitori di progetti ERC ma crediamo sia significativo che alcuni scelgano di venire e rimanere al LENS per svolgere i loro progetti: come ha detto uno di loro "c'è meno spazio, ma ci sono persone interessanti".

Quindi cos'è a trent'anni il LENS: un ente di ricerca, giuridicamente autonomo, con alcune prerogative accademiche come la possibilità di bandire assegni di ricerca, caratterizzato come infrastruttura di ricerca internazionale. Questo è un punto di grande rilevanza in un Paese in cui l'assenza di infrastrutture rappresenta un limite alla ricerca fondamentale e applicata. Il modello con cui è nato LaserLab ha rappresentato un esempio organizzativo su cui si sono sviluppate le successive infrastrutture europee, comprese quelle più recenti di cui è parte.

chose the LENS to carry out their project: as one of them said, "there is less space, but there are some interesting people".

So, what is the LENS at 30 years of age? A self-governing research institution, with definite academic prerogatives such as the possibility of awarding research grants, characterised as an international infrastructure. This is an important point in a country where the lack of infrastructures poses limits to fundamental and applied research. The model on which the LaserLab was founded was a paradigm for subsequent European infrastructures, including the most recent ones, of which it is a part. The vision of an *open access*, in its multifaceted implications, was a challenge in the past but is going to be essential tomorrow: access for a few days, for targeted experiments on European funding, or for long-standing projects in a multidisciplinary environment, empowering researchers with state-of-the-art and (not to forget) *public* technologies.

In the latest National Plan for Research Infrastructures, the LENS is in the bracket of the so-called high priority European infrastructures, both in the digital field with quantum technologies and in healthcare with EuroBioimaging and eBrains.

An infrastructure is at the service of the research community. It is both a gateway and an exit, and we have Physics, along with Chemistry, to thank for this strategic vision. We must also be grateful to those who continue to support it – researchers, technicians, administrators, subsequent rectors, those who want to come and work here, and those who take other paths too. Everyone leaves an indelible mark. To add a personal note: you have to be involved in it-

Fondamentale è stato e sarà ancor più la possibilità di *accesso*, comunque inteso: da pochi giorni, per esperimenti mirati su finanziamenti europei, o per sviluppare un progetto di più ampio respiro in un ambiente multidisciplinare, con tecnologie abilitanti e – non dimentichiamolo – pubblico.

Nell'ultimo Piano nazionale delle Infrastrutture di Ricerca, il LENS è nella fascia di quelle Europee cosiddette ad alta priorità, sia nell'ambito Digitale con le tecnologie quantistiche, sia in quello della salute con EuroBioimaging e eBrains.

Un'infrastruttura è a servizio della comunità dei ricercatori, è insieme una porta di ingresso e di uscita e per questa capacità di visione strategica dobbiamo essere grati alla Fisica che insieme alla Chimica l'ha voluta, grati a chi continua a sostenerla – i ricercatori, i tecnici, gli amministrativi, i rettori che si sono succeduti, a chi vorrà venire a lavorare e anche a chi prenderà altre strade. Ognuno lascia un'impronta indelebile. Per aggiungere una nota personale: bisogna starci dentro – specie venendo da fuori – per intuire il ruolo che il LENS ha avuto e che sperabilmente avrà in futuro, interprete *ante litteram* dello spirito di una *Next Generation EU*.

Elisabetta Cerbai è professore ordinario di Farmacologia e direttrice pro-tempore del LENS. I suoi interessi di ricerca riguardano in particolare i meccanismi aritmogeni nelle cardiomiopatie e la farmacoterapia nelle malattie cardiovascolari.

Vincenzo Schettino è professore emerito di chimica nell'Università di Firenze e socio nazionale dell'Accademia dei Lincei. Interessi scientifici: spettroscopia molecolare, stato solido, chimica computazionale, chimica ad altissime pressioni, relazioni della scienza con arte e letteratura.

especially if you come from outside – to understand the role that the LENS has played and will hopefully play in the future, as an *ante litteram* interpreter of the spirit of a *Next Generation EU*.

Elisabetta Cerbai is Full Professor of Pharmacology and pro-tempore Director of the LENS. Its research interests include arrhythmogenic mechanisms in cardiomyopathies and pharmacotherapy in cardiovascular diseases.

Vincenzo Schettino is Professor Emeritus of Chemistry at the University of Florence and National Member of the Accademia dei Lincei. Scientific interests: molecular spectroscopy, solid state, computational chemistry, ultra-high pressure chemistry, relations of science with art and literature.

Stefania De Curtis

Il “Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics” di Arcetri

The Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics in Arcetri

INFN Sezione di Firenze e Centro Nazionale di Studi Avanzati GGI

Riassunto. Sulla collina di Arcetri nasce nel 2005 il “Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics” (GGI), il primo Istituto Europeo dedicato a programmi di formazione e ricerca su argomenti di punta della fisica teorica. Ospitato nei locali dell’edificio “Garbasso”, ex-sede storica dell’Istituto di Fisica di Firenze, il GGI è un punto di riferimento per la comunità scientifica internazionale.

Parole chiave. Fisica teorica, attività di ricerca e formazione, scuole internazionali di dottorato.

Il GGI (*Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics*), nasce del 2005 da un accordo tra INFN e Università degli Studi di Firenze come primo Istituto Europeo dedicato a programmi di ricerca (*workshop*) di lunga durata su argomenti di punta della fisica teorica, ed è ospitato nello storico edificio “Garbasso” dell’Università degli Studi di Firenze, ex-sede dell’Istituto di Fisica, sulla collina di Arcetri (Fig. 1).

La nascita del GGI è dovuta alla volontà del gruppo teorico fiorentino, affiancato da grandi scienziati a livello internazionale, e all’impegno dell’INFN.

Il primo *workshop* su “New Directions Beyond the Standard Model in Field and String Theories” (2 Maggio - 30 Giugno 2006) ha mostrato fino da subito il ruolo internazionale del GGI che si è consolidato nel tempo.

Abstract. The “Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics” (GGI), the first European Institute dedicated to training and research in leading topics in theoretical physics, was founded on Arcetri hill in 2005. Housed in the “Garbasso” building, the former headquarters of the Institute of Physics in Florence, the GGI is a point of reference for the international scientific community.

Keywords. Theoretical physics, research and training activities, international PhD schools.

The GGI (*Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics*), was established in 2005 on the basis of an agreement between the INFN and the University of Florence as the first European Institute dedicated to long-term research programmes (workshops) on leading topics in theoretical physics, and is housed in the “Garbasso” building of the University of Florence, formerly the headquarters of the Institute of Physics, on Arcetri hill (Fig. 1).



Oltre alla presenza di competenze ed alla sinergia tra le strutture di ricerca e formazione coinvolte, il successo del GGI, si deve al particolare formato dei programmi di ricerca, che lascia ampio spazio alle discussioni e alle collaborazioni tra i partecipanti, ed al contesto stimolante ed informale in cui i ricercatori si trovano immersi.

Tutto ciò richiama e mantiene in vita la tradizione del sito storico dove l'Istituto è ubicato, più volte richiamata nei contributi a questo numero della Rivista, nota come "spirito di Arcetri".

Ad oggi si sono tenuti 44 *workshop* al GGI con un numero sempre crescente di partecipanti fino a superare i 500 negli ultimi anni (Fig. 2). Le aree di ricerca su cui si concentra l'attività del GGI spaziano su tutta la fisica teorica di interesse INFN; dalla teoria di stringa alla fenomenologia delle interazioni fondamentali, dalle teorie cosmologiche alla meccanica statistica, favorendo le interconnessioni tra i vari temi e quindi l'interazione scientifica di ricercatori con competenze diverse. Particolarmente incoraggiati sono poi i contatti con la ricerca sperimentale associata all'argomento del programma. Vengono infatti organizzate sessioni dedicate allo scambio di informazioni e di idee favorendo la sinergia tra la comunità teorica e sperimentale e molti *workshop* hanno avuto teorici e sperimentali affiancati nella organizzazione.

Il GGI è il luogo ideale per la "contaminazione" tra le varie aree di ricerca. Basta consultare l'elenco dei programmi per averne una prova (<https://www.ggi.infn.it/workshops.html>). Un esempio è dato dal futuro *workshop* su *Machine Learning*, un importante strumento per la fisica teorica e sperimentale che permette appli-

The GGI was established thanks to the efforts of the Florentine theoretical group, supported by leading international scientists, and to the commitment of the INFN.

The first workshop on "New Directions Beyond the Standard Model in Field and String Theories" (2 May - 30 June 2006) immediately demonstrated the international role of the GGI, which has been consolidated over time.

In addition to the presence of expertise and the synergy between the research and training structures involved, the success of the GGI is due to the particular format of the research programmes, which leaves ample room for discussion and collaboration among the participants, and to the stimulating and informal context in which the researchers find themselves.

All this evokes and upholds the tradition of the historical site where the Institute is located, which is repeatedly referred to in the contributions to this issue of the Journal, known as the "spirit of Arcetri".

To date, forty-four workshops have been held at the GGI, with an ever-increasing number of participants, reaching over five hundred in recent years (Fig. 2). The research on which the GGI concentrates covers all the areas of theoretical physics that are of interest to the INFN; from string theory to the phenomenology of fundamental interactions, from cosmological theories to statistical mechanics, encouraging links between the various topics and consequently the scientific interaction of researchers with different skills. Contacts with experimental research associated with the subject of the programme are particularly encouraged. Sessions dedicated to the exchange of information and ideas are organised, fostering the synergy between the



Figura 1. Il GGI è ospitato in una parte dell'edificio "Garbasso", attuale sede distaccata del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze.

Figure 1. The GGI is housed in part of the "Garbasso" building, currently a detached section of the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence.

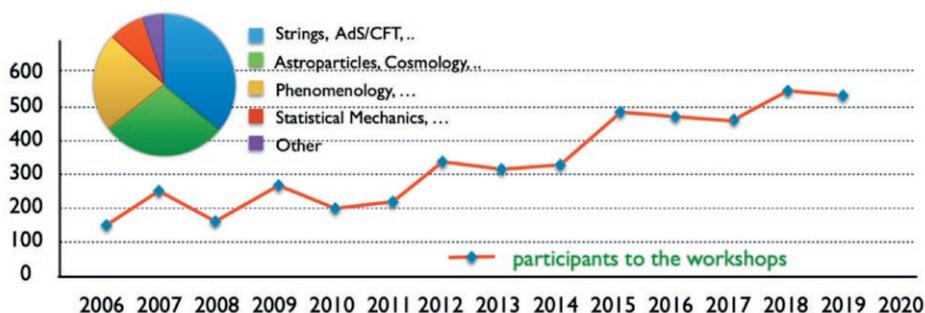


Figura 2. Numero di partecipanti per anno ai programmi GGI e aree di ricerca.

Figure 2. Number of participants per year in GGI programmes and research areas.

theoretical and experimental communities, and numerous workshops have been jointly organised by theorists and experimentalists.

The GGI is the ideal place for "contamination" between the various areas of research. You only have to look at the list of programmes to see (<https://www.ggi.infn.it/workshops.html>). One example is the forthcoming workshop on Machine Learning, a valuable tool for theoretical and experimental physics that allows application to a wide variety of topics and is successfully used in high energy physics, astrophysics, cosmology, condensed matter and statistical physics.

Since 2014, this research activity has been complemented by higher education. The GGI organises five international schools for PhD students every year. These include advanced lectures in field and string theory, fundamental interaction theory, statistical field theory, nuclear and hadronic physics and astro-particle physics. With the participation of about three hundred students a year from all over the world, the GGI in Florence is a reference point for the training of future researchers in theoretical physics. Anyone who has served on a committee for the selection of post-doctoral positions, in Italy and abroad, has found that attendance of one or more GGI schools is a recurring element in applicants' CVs.

Roughly sixty students are selected for each school (approximately 40% foreigners). This is the optimum number to allow active participation in lectures and discussions. The schools are organised over 2-3 weeks of full immersion. In addition to lectures at the blackboard, guided and spontaneous discussions are stimulated in the various areas offered by the GGI. Lunch is another opportunity for exchange. The atmosphere is very relaxed, with

cazioni su una grande varietà di argomenti e viene utilizzato con successo in fisica delle alte energie, astrofisica, cosmologia, materia condensata e fisica statistica.

A questa attività di ricerca, a partire dal 2014, viene affiancata quella di alta formazione. Il GGI organizza infatti ogni anno 5 scuole di livello internazionale per studenti di dottorato. Queste comprendono lezioni avanzate di teoria dei campi e di stringa, teoria delle interazioni fondamentali, teoria statistica dei campi, fisica nucleare e adronica e fisica astro-particellare. Con la partecipazione circa 300 studenti ogni anno, provenienti da tutto il mondo, il GGI di Firenze è un punto di riferimento per la formazione dei futuri ricercatori in fisica teorica. Chiunque abbia fatto parte di una commissione per la selezione di posizioni post-dottorato, in Italia e all'estero, ha potuto riscontrare che la partecipazione ad una o più scuole del GGI è un dato ricorrente nei curricula dei candidati.

Vengono selezionati circa 60 studenti per ogni scuola (circa il 40% stranieri), questo è il numero ottimale che consente una partecipazione attiva alle lezioni e alle discussioni. Le scuole sono organizzate su 2-3 settimane di immersione totale. Oltre alle lezioni alla lavagna, vengono infatti stimulate discussioni, sia guidate che spontanee, nelle varie aree disponibili al GGI. Anche il pranzo è occasione di scambio. L'ambiente è infatti molto informale; lo scienziato famoso a livello internazionale è seduto accanto agli studenti e condivide con loro la propria esperienza alimentando i loro interessi e stimolando le loro curiosità. Da non sottovalutare poi lo scambio culturale e scientifico tra studenti che provengono da Università e paesi diversi, che viene reso possibile al GGI e che spesso rappresenta una fonte di contatti per la loro futura carriera.

internationally acclaimed scientists sitting next to the students and sharing their experiences with them, fuelling their interests and stimulating their curiosity. Cultural and scientific exchange between students from different universities and countries is made possible at GGI and often represents a source of contacts for their future careers and this is something not to be underestimated.

A fundamentally important aspect of the schools at GGI is the video-recording of lectures. The GGI has a dedicated channel on YouTube, where videos of all the lectures of the five schools have been collected since their foundation. An archive of absolute value, not only for young researchers, but for all those who want to approach a new subject and be guided by pedagogical lectures delivered by leading experts in the field.

The role and success of the GGI as a training and research institute have been recognised by the INFN, which promoted it to the status of National Centre for Advanced Studies in 2018.

In addition, as further proof of its value, the GGI was assigned the prestigious SIMONS Foundation grant to support attendance of the programmes by eminent scientists. The high level of research is also backed up by the substantial number of scientific publications generated at the GGI from ideas and discussions and by the valuable collaboration between communities of physicists from different backgrounds.

At the same time that the GGI – National Centre for Advanced Studies was set up, the INFN created the “Galileo Galilei Medal”, an award in honour of the founding father of the scientific method and of modern physics. This prestigious medal is awarded every two years

Un aspetto di fondamentale importanza delle scuole al GGI è dato dalla video-registrazione delle lezioni. Il GGI ha un canale dedicato su YouTube dove sono collezionati i video di tutte le lezioni delle 5 scuole fino dalla loro nascita. Un archivio di assoluto valore, non solo per i giovani ricercatori, ma per tutti coloro che vogliono avvicinarsi ad un nuovo argomento ed essere guidati da lezioni pedagogiche tenute dai massimi esperti del settore.

Il ruolo ed il successo del GGI come istituto di formazione e ricerca sono stati riconosciuti dall'INFN che lo ha promosso a Centro Nazionale di Studi Avanzati nel 2018.

Inoltre, ad ulteriore testimonianza del suo valore, il GGI è risultato vincitore del prestigioso *grant* della *SIMONS Foundation* per supportare la partecipazione ai programmi di eminenti scienziati. L'alto livello della ricerca è poi testimoniato dal grande numero di pubblicazioni scientifiche nate al GGI da idee e discussioni e dalla preziosa collaborazione tra comunità di fisici con *background* diversi.

Contestualmente alla formazione del Centro Nazionale di Studi Avanzati – GGI, l'INFN ha istituito un premio, la "Galileo Galilei Medal", in onore del padre fondatore del metodo scientifico e della fisica moderna. Tale prestigioso premio viene consegnato ogni due anni a fisici che hanno dato, nei precedenti 25 anni, contributi rilevanti nel campo della fisica teorica.

La prima Medaglia Galileo Galilei è stata assegnata nel 2019 a Juan Martin Maldacena per le sue idee innovative in fisica teorica, in particolare per la scoperta della dualità tra gravità e teoria dei campi con implicazioni di vasta portata. La Cerimonia di premiazione si è tenuta il 2 Maggio 2019 alla Villa Galileo in Arce-

to physicists who have made significant contributions to the field of theoretical physics over the previous 25 years.

The first Galileo Galilei Medal was awarded in 2019 to Juan Martin Maldacena, for his innovative ideas in theoretical physics, particularly for the discovery of the duality between gravity and field theory, with far-reaching implications. The Award Ceremony was held on 2 May 2019 at Villa Galileo in Arcetri, Galileo's home in the last years of his life, so a very evocative setting, in the presence of the highest authorities of both the UNIFI and the INFN.

The 2021 edition was won by Alessandra Buonanno, Thibault Damour and Frans Pretorius for their fundamental understanding of gravitational radiation sources through analytical and numerical techniques. They provided complementary theoretical predictions used for the analysis of experimental data, which, in 2015, led the LIGO and VIRGO scientific collaborations to observe the first gravitational waves emitted by the collision of two black holes, contributing to the birth of a new era, that of gravitational astronomy (Fig. 3).

The COVID-19 pandemic has had severe consequences on the programming of the GGI. The workshops scheduled for 2020 were rescheduled for 2021, and, due to the continuation of the emergency, took place mainly online. The five 2021 doctoral schools also had to use this new format (Fig. 4). Although this cannot replace face-to-face discussions in the classroom, which are particularly important for theoretical physicists, the organisers and teachers made a significant effort to uphold active participation and stimulate interaction.

tri, la dimora di Galileo negli ultimi anni della sua vita, in uno scenario quindi molto suggestivo, alla presenza delle massime autorità sia di UNIFI che di INFN.

L'edizione del 2021 ha visto vincitori Alessandra Buonanno, Thibault Damour e Frans Pretorius per la loro fondamentale comprensione di sorgenti di radiazione gravitazionale attraverso tecniche analitiche e numeriche. Queste, in modo complementare, hanno infatti fornito previsioni teoriche utilizzate per l'analisi dei dati sperimentali che, nel 2015, ha portato le collaborazioni scientifiche LIGO e VIRGO all'osservazione delle prime onde gravitazionali emesse dalla collisione di due buchi neri, contribuendo quindi alla nascita di una nuova era, quella dell'astronomia gravitazionale (Fig. 3).

La pandemia da COVID-19 ha avuto serie conseguenze sulla programmazione del GGI. Gli *workshop* previsti per il 2020 sono stati riprogrammati per il 2021, e,



Figura 3. I vincitori della Medaglia Galileo Galilei: Juan Martin Maldacena nel 2019; Alessandra Buonanno, Thibault Damour, Frans Pretorius nel 2021.

Figure 3. The winners of the Galileo Galilei Medal: Juan Martin Maldacena in 2019; Alessandra Buonanno, Thibault Damour, Frans Pretorius in 2021.



Figura 4. Scuola on-line durante la pandemia da COVID-19.

Figure 4. School on-line during the COVID-19 pandemic.

a causa del perdurare dell'emergenza, si sono svolti principalmente online. Anche le 5 scuole di dottorato del 2021 hanno dovuto sperimentare questo nuovo formato (Fig. 4). Sebbene ciò non possa sostituire le discussioni in presenza davanti alla lavagna, così importanti per i fisici teorici, gli organizzatori e gli insegnanti hanno fatto un grande sforzo per mantenere attiva la partecipazione e stimolare l'interazione ed hanno ottenuto un ottimo risultato, riuscendo comunque a fornire un prezioso contributo alla formazione.

In questo periodo di forzato isolamento è nata una nuova attività: una serie di seminari on-line, i "GGI Tea Breaks", che hanno visto la partecipazione di centinaia di ricercatori che regolarmente si sono collegati da tutto il mondo. Si tratta di seminari sulla fisica delle interazioni fondamentali che coprono un ampio spettro di argomenti di punta, trattati in modo pedagogico. Lo scopo è quello di offrire una introduzione non specialistica ai problemi "caldi" della fisica fondamentale. Il successo di questa serie di seminari è dovuto al fatto che GGI è conosciuto in tutto il mondo per la qualità del lavoro che ha svolto in tutti questi anni e per il fatto che riesce, con la propria attività, a coprire a 360° le varie aree di ricerca fondamentale.

Come più volte ribadito, e come risulta chiaro dagli altri contributi a questo numero della Rivista, il luogo dove il GGI svolge la propria attività ha una grande tradizione storica e scientifica. Nel breve periodo trascorso qui, Enrico Fermi scrisse uno dei lavori fondamentali sulla teoria quantistica del gas monoatomico, in cui, applicando la teoria di Pauli, dette origine alla statistica di Fermi-Dirac (Fig. 5). Il GGI lavora in modo che questo rappresenti un esempio, una guida, un

During this period of forced isolation, a new activity was born: a series of online seminars, the "GGI Tea Breaks", which were attended by hundreds of researchers who regularly logged on from all over the world. These are seminars on the physics of fundamental interactions, covering a broad spectrum of leading topics, treated pedagogically. The aim is to offer a non-specialist introduction to the "hot" issues of fundamental physics. The success of this series of seminars is due to the fact that the GGI is internationally renowned for the quality of the work it has carried out over all these years and for the fact that it succeeds, with its activity, in covering every aspect of the various areas of fundamental research.

As repeatedly stated, and as is clear from other contributions to this issue of the Journal, the place where the GGI carries out its activities has a great historical and scientific tradition. In the short time he spent here, Enrico Fermi wrote one of the fundamental works on the quantum theory of the monoatomic gas, in which, applying Pauli's theory, he generated the Fermi-Dirac statistics (Fig. 5). The GGI works to make this an example, a guide, a starting point for researchers who have shared their theories here and contributed to the advancement of knowledge.

The GGI website is available at this link: <https://www.ggi.infn.it>

Stefania De Curtis is Head of Research at the Florence Section of the INFN. She graduated in Physics from the University of Florence and obtained a PhD at the SISSA in Trieste. She carries out research in the physics of fundamental interactions and has spent several periods at the Theoretical Division of the University of Geneva and the CERN as a Visiting Scientist. She

punto di partenza per le ricercatrici ed i ricercatori che hanno condiviso qui le loro teorie contribuendo all'avanzamento della conoscenza.

Il sito web del GGI è disponibile a questo link: <https://www.ggi.infn.it>

Stefania De Curtis è Dirigente di Ricerca presso la Sezione INFN di Firenze. Si laurea in Fisica all'Università di Firenze e ottiene il PhD alla SISSA di Trieste. Svolge ricerche in fisica delle interazioni fondamentali. Trascorre vari periodi presso la Divisione Teorica dell'Università di Ginevra e del CERN come Visiting Scientist. È stata coordinatrice del gruppo teorico della Sezione di Firenze. Dal 2017 fa parte del Plenary European Committee for Future Accelerators (ECFA). Ha contribuito alla nascita del GGI e alla sua trasformazione in Centro Nazionale di Studi Avanzati di cui è Direttrice dal 2019. È autrice di più di 150 lavori pubblicati su riviste internazionali.

has been coordinator of the theoretical group of the Florence Section. Since 2017, she has been a member of the Plenary European Committee for Future Accelerators (ECFA). She contributed to the birth of the GGI and its transformation into the National Centre for Advanced Studies, of which she has been Director since 2019. She is the author of more than 150 papers published in international journals.



Figura 5. Passato e presente nel chiostro di Arcetri: a sinistra: Franco Rasetti, Nello Carrara, Enrico Fermi e Rita Brunetti (1925); a destra: partecipanti al Workshop “Next Frontiers in the Search for Dark Matter” (2019).
Figure 5. Past and present in the cloisters of Arcetri: left: Franco Rasetti, Nello Carrara, Enrico Fermi and Rita Brunetti (1925); right: participants in the workshop “Next Frontiers in the Search for Dark Matter” (2019)

Marco Romoli, Stefania Salvadori

Le attività di Astrofisica al Garbasso

Astrophysics at the Garbasso

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze

Riassunto. L'edificio Garbasso ha ospitato per circa 10 anni a partire dal 2002 il Dipartimento di Astronomia e Scienza dello Spazio e ospita tuttora ricercatori e docenti del gruppo astrofisico del Dipartimento di Fisica e Astrofisica che lavorano in vari settori di ricerca dal Sole agli esopianeti, dai plasmi astrofisici alla cosmologia.

Parole chiave. Astrofisica, sole, plasma, galassie, cosmologia, esopianeti.

Il Dipartimento di Astronomia e Scienza dello Spazio (DASS)

Il Dipartimento di Astronomia e Scienza dello Spazio è uno dei dipartimenti dell'Università di Firenze che nasce nel 1988 dal vecchio Istituto di Astronomia sotto la direzione del Prof. Giancarlo Noci a cui succedono, prima il Prof. Massimo Landini e poi il Prof. Claudio Chiuderi. È proprio sotto la guida di Chiuderi che nell'estate del 2002 un nucleo consistente di personale universitario si trasferisce presso il Garbasso (3 professori ordinari, 5 associati, 7 ricercatori e 6 tra personale tecnico e amministrativo), insieme al laboratorio XUVLab e a borsisti, dottorandi e studenti, negli uffici e nei locali lasciati liberi dal Dipartimento di Fisica trasferitosi presso il Polo scientifico di Sesto F.no (Mazzoni, 2014).

Abstract. The Garbasso building was home to the Department of Astronomy and Space Science for about 10 years, from 2002, and still hosts researchers and lecturers from the astrophysics group of the Department of Physics and Astrophysics who work in various areas of research, from the Sun to exoplanets, from astrophysical plasma to cosmology.

Keywords. Astrophysics, sun, plasma, galaxies, cosmology, exoplanets.

The Department of Astronomy and Space Science (DASS)

The Department of Astronomy and Space Science is one of the departments of the University of Florence. It was created in 1988 as successor to the old Astronomy Institute under the direction of Professor Giancarlo Noci, who was succeeded first by Professor Massimo Landini and then by Professor Claudio Chiuderi. It was under Chiuderi's leadership that, in



Con la riforma dei dipartimenti dell'ateneo fiorentino, il DASS non ha la numerosità necessaria per costituire un dipartimento e si fonde dal 1 gennaio 2010 con il Dipartimento di Fisica formando il nuovo dipartimento di Fisica e Astronomia. Ciononostante, esso mantiene un'autonomia di tipo geografico ed è per questo che viene costituita la sezione di Astronomia e Scienza dello Spazio, sotto la responsabilità del Prof. Egidio Landi Degl'Innocenti.

A causa della lenta ma costante riduzione del numero di "astronomi" del dipartimento, la sezione di astronomia non è più giustificata e la sede del Garbasso resta semplicemente una sede "distaccata".

Negli ultimi anni, tuttavia, il numero dei ricercatori astrofisici è di nuovo aumentato fino a 11 unità con numerosi post-doc e assegnisti come è testimoniato dal grafico di Figura 1 che mostra la numerosità del gruppo astrofisico in cinque momenti chiave della sua storia.

Nel corso di questi quasi 20 anni di presenza al Garbasso sono state portate avanti diverse linee di ricerca di ambito astrofisico sia in collaborazione con l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, sia attraverso numerose collaborazioni nazionali e internazionali.

Tra le ricerche non più in corso sono da ricordare la collaborazione all'esperimento sulle onde gravitazionali VIRGO dell'INFN e l'astrobiologia, campo nel quale il Garbasso ospita tuttora il laboratorio di astrobiologia dell'Osservatorio di Arcetri.

the summer of 2002, a substantial group of university staff moved to the Garbasso (three full professors, five associates, seven researchers and six technical and administrative staff), together with the XUVLab and scholarship holders, PhD and other students, to the offices and premises vacated by the Department of Physics, which had moved to the Polo Scientifico in Sesto F.no (Mazzoni, 2014).

With the reform of the departments of the University of Florence, the DASS was not big enough to be considered as a department, so it merged with the Department of Physics on 1 January 2010 to form the new Department of Physics and Astronomy. Nevertheless, it retained geographical autonomy, which is why the Astronomy and Space Science section was set up under the responsibility of Professor Egidio Landi Degl'Innocenti.

Due to the slow but steady reduction in the number of "astronomers" in the department, the astronomy section was no longer justifiable and the Garbasso seat remained merely a "detached" section.

In recent years, however, the number of astrophysics researchers has risen again to eleven, with numerous post-docs and research fellows, as can be seen from the graph in Figure 1 which shows the numerosity of the astrophysics group at five key moments in its history.

Over the almost twenty years at the Garbasso, several different lines of astrophysical research have been carried out both in collaboration with the Astrophysics Observatory in Arcetri, and through numerous national and international collaborations.

Research that is no longer ongoing includes the collaboration on the INFN's VIRGO gravi-



Figura 1. Astrofisica all'Università di Firenze.
Figure 1. Astrophysics at the University of Florence.

Fisica solare dallo spazio e sviluppi tecnologici

La fisica solare è stata per molti decenni il settore più importante della ricerca astrofisica di Arcetri, lo dimostrano ancora la ricerca svolta dal dipartimento

tational wave experiment and astrobiology, a field in which Garbasso still hosts the Arcetri Observatory's astrobiology laboratory.

Solar physics from space and technological developments

Solar physics has been the most important field of astrophysical research at Arcetri for many decades. This is still proven by the department's research in both the observation of the Sun from space and the study of astrophysical plasma.

The development of instrumentation for solar physics from space is rooted in the research conducted by Professor Noci since the 1970s on the techniques and spectroscopic diagnostics of the solar corona, which led to his active participation in the development of the ultraviolet coronagraph spectrometer (UVCS), launched in 1995 on board the ESA SOHO probe¹, which operated until 2012. An experimental group was formed in the wake of this success, and over time it has participated in the definition of several space missions, two of which deserve particular mention: the HERSCHEL and Solar Orbiter missions. The SCORE coronagraph² used in the NASA HERSCHEL suborbital mission, launched for the first time in 2009 and with another flight scheduled for spring 2022, was born as a prototype of the Metis coronagraph on board the Solar Orbiter with the aim of taking pictures of the extended solar corona, up to three solar radii, in the Lyman- α lines of neutral hydrogen (121.6 nm) and of helium, once ionised (30.4 nm), and in linearly polarized light in the visible, to

sia nel settore dell'osservazione del Sole dallo spazio sia in quello dello studio dei plasmi astrofisici.

Lo sviluppo di strumentazione per la fisica solare dallo spazio ha le sue radici nella ricerca condotta dal Prof. Noci sin dagli anni settanta sulle tecniche e la diagnostica spettroscopica della corona solare che ha portato alla partecipazione attiva nello sviluppo del coronografo spettrometro ultravioletto UVCS lanciato a bordo della sonda ESA SOHO¹ nel 1995 e che ha operato fino al 2012. Sull'onda di questo successo si è formato un gruppo sperimentale che nel corso del tempo ha partecipato alla definizione di diverse missioni spaziali, di cui vale la pena ricordare due missioni HERSCHEL e Solar Orbiter. Il coronografo SCORE² della missione suborbitale NASA HERSCHEL, lanciato per la prima volta nel 2009 e con un altro volo in programma nella primavera del 2022, è nato come prototipo del coronografo Metis a bordo di Solar Orbiter con lo scopo di effettuare immagini della corona solare estesa, fino a 3 raggi solari, nelle righe Lyman- α dell'idrogeno neutro (121.6 nm) e dell'elio una volta ionizzato (30.4 nm) e in luce polarizzata linearmente nel visibile, per catturare l'emissione dei tre principali componenti della corona solare: elettroni, idrogeno e elio (Moses, 2020).

Per la missione Solar Orbiter, un consorzio di istituti scientifici che include, oltre all'Università di Firenze, l'INAF, il CNR e altri atenei, in collaborazione con l'industria italiana (OHB Milano e Thales Alenia Space Torino), con il finanziamento dell'Agenzia Spaziale Italiana (PI: Romoli), ha sviluppato e costruito il coronografo Metis (Figura 2), uno strumento che fornisce immagini della corona solare estesa nelle due maggiori componenti: idrogeno e elettroni, allo scopo

capture the emission of the three main components of the solar corona: electrons, hydrogen and helium (Moses, 2020).

The Metis coronagraph (Figure 2) for the Solar Orbiter mission was developed and built by a consortium of scientific institutes including, in addition to the University of Florence, the INAF, CNR and other universities, in collaboration with Italian industry (OHB Milano and Thales Alenia Space Torino), and funded by the Italian Space Agency (PI: Romoli). The instrument delivers pictures of the emission of the two main components of the extended solar corona: hydrogen and electrons, in order to determine the physical parameters and morphology of the corona, including the solar wind speed (Romoli 2021). The Solar Orbiter mission carried out by ESA in collaboration with NASA aims at studying the Sun and its interconnections with the heliospheric environment that pervades the entire solar system. Solar Orbiter was launched in February 2020 and, after cruising for almost two years, has been injected into an orbit around the Sun that will bring it as close as 0.28 ua. For the first time, after a series of gravitational encounters with Venus, Solar Orbiter will observe the region of the solar poles to study the solar dynamo mechanism.

During this time, the XUVLab has developed and characterised sensors in the UV and in the visible light for space and polarimeters in UV light.

di ricavare i parametri fisici e la morfologia della corona, inclusa la velocità del vento solare (Romoli, 2021). La missione Solar Orbiter realizzata da ESA in collaborazione con la NASA ha lo scopo di studiare il Sole e le sue interconnessioni con l'ambiente eliosferico che pervade tutto il sistema solare. Solar Orbiter è stato lanciato a febbraio del 2020 e dopo quasi due anni di crociera è stato inserito in un'orbita attorno al Sole che lo porterà ad avvicinarsi fino a 0.28 ua e, per la prima volta, dopo una serie di incontri gravitazionali con Venere, a osservare la regione dei poli solari per studiare il meccanismo della dinamo solare.

Nel corso di questo periodo il laboratorio XUVLab ha sviluppato e caratterizzato sensori nell'UV e nel visibile per lo spazio e polarimetri nell'UV.

Plasmi Astrofisici

Uno dei gruppi di ricerca che da sempre ha popolato l'edificio del Garbasso è quello dei Plasmi Astrofisici (ASAP: Arcetri Space and Astrophysical Plasma³). Questo gruppo studia la Fisica del Plasma attraverso lo sviluppo di dettagliate simulazioni numeriche magneto-idrodinamiche ed il confronto con le osservazioni. Le applicazioni di questi studi sono molteplici e si distinguono tra quelle relative a plasmi relativistici e non-.

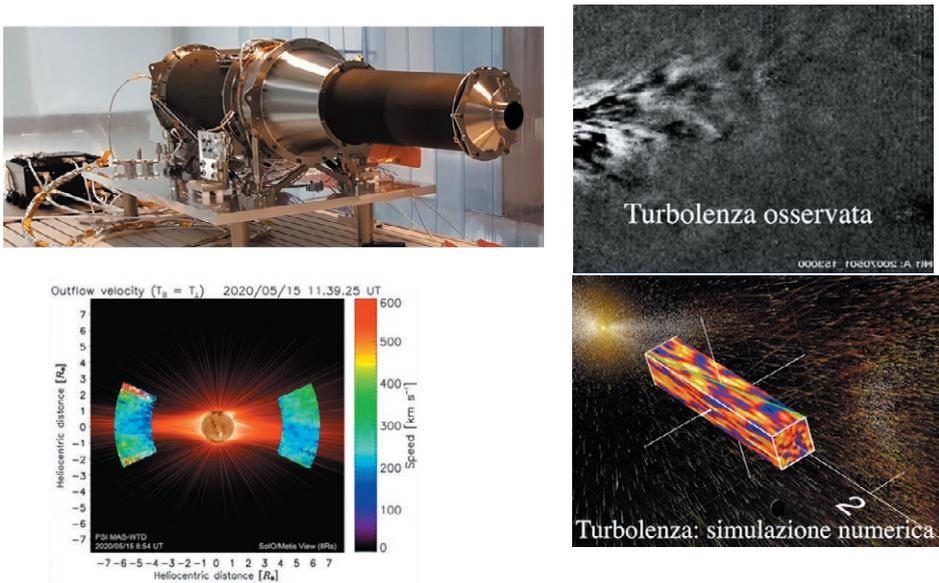


Figura 2. Sinistra: il coronografo Metis durante la fase di calibrazione in laboratorio prima dell'integrazione sulla sonda (in alto) e in basso la prima mappa di velocità del vento solare ottenuta dalle immagini di prima luce (Romoli, 2021). Destra: la turbolenza nel vento solare osservata (riquadro in alto) e simulata (destra in basso).

Figure 2. Left: the Metis coronagraph during the calibration phase in the laboratory before integration onto the probe (top) and below the first solar wind speed map obtained from first light images (Romoli 2021). Right: the turbulence in the solar wind observed (top panel) and simulated (bottom right).

Plasmi non-relativistici: riguardano principalmente lo studio del nostro Sole, la stella più vicina e meglio osservata, ma per la quale esistono ancora molti problemi fondamentali irrisolti. Degli esempi sono il problema del riscaldamento della corona (lo strato più esterno dell'atmosfera solare), la produzione del vento solare e l'instaurarsi della turbolenza (Figura 2).

Plasmi relativistici: riguardano lo studio di oggetti compatti e più "esotici", come le stelle di neutroni, le pulsar e i buchi neri. Simulazioni di plasmi relativistici vengono usate per studiare la coalescenza tra questi oggetti compatti, che dà luogo alla creazione di onde gravitazionali.

Al Garbasso, da oltre 15 anni, il gruppo di Plasmi Astrofisici organizza una conferenza annuale che richiama esperti internazionali ed è diventato un appuntamento di riferimento per il settore.

Cosmologia: dalle prime stelle ai nuclei galattici attivi

Il gruppo di ricerca in astrofisica più numeroso presso l'Università di Firenze è quello che si occupa di Cosmologia: lo studio della formazione e dell'evoluzione del nostro Universo. Lo schema in Fig. 3 riassume le nostre conoscenze attuali: dal Big Bang l'Universo si è espanso raffreddandosi per oltre 13.7 miliardi di anni. Qualche centinaio di anni dopo il Big Bang, da un Universo costituito da solo

Astrophysical Plasma

One of the research groups that has always worked in the Garbasso building is ASAP (Arcetri Space and Astrophysical Plasma³). This group studies the physics of plasma through the development of detailed magneto-hydrodynamic numerical simulations and comparison with observations. The applications of these studies are manifold and distinguish between those related to relativistic and non-relativistic plasmas.

Non-relativistic plasmas: they mainly concern the study of our Sun, the closest and best-observed star, but for which there are still many unsolved radical problems. Examples are the problem of the heating of the corona (the outermost layer of the solar atmosphere), the production of solar wind and the establishment of turbulence (Figure 2).

Relativistic plasmas: they concern the study of compact and more "exotic" objects, such as neutron stars, pulsars and black holes. Simulations of relativistic plasmas are used to study the coalescence between these compact objects, which gives rise to the creation of gravitational waves.

The Astrophysical Plasma group has been organising an annual conference at the Garbasso for over 15 years. The conference attracts international experts and has become a reference event in the field.

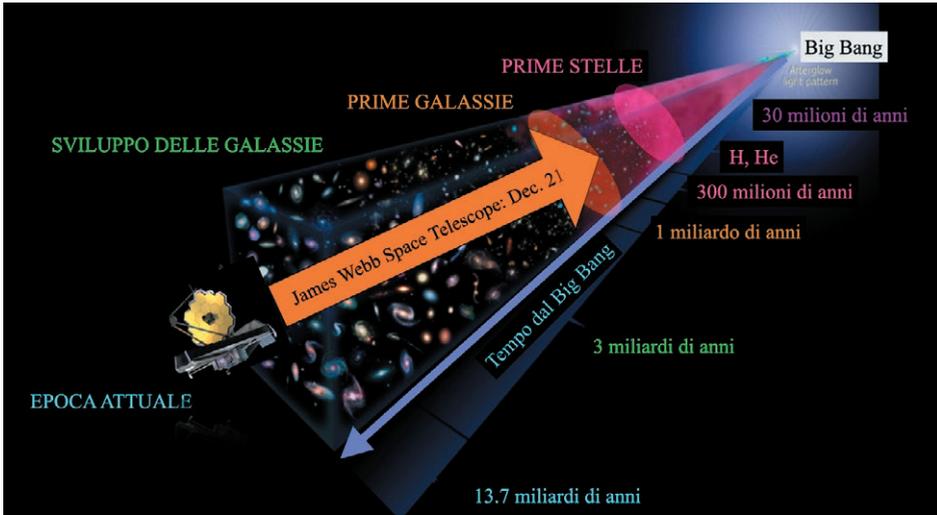


Figura 3. Schema dell'evoluzione dell'Universo: dal Big Bang fino ai giorni nostri.

Figure 3. Diagram of the evolution of the Universe: from the Big Bang to the present day.

idrogeno ed elio, si formarono le *prime stelle*. Gli elementi chimici più pesanti, come il carbonio e l'ossigeno, furono forgiati all'interno di queste prime sorgenti e dispersi nell'ambiente dalle prime esplosioni di supernovae. Le prime stelle produssero anche i fotoni che iniziarono il processo di "reionizzazione" dell'Universo. La formazione delle prime galassie, circa un miliardo di anni dopo il Big

Cosmology: from the first stars to active galactic nuclei

The largest astrophysics research group at the University of Florence studies Cosmology: the formation and evolution of our Universe. Fig. 3 summarises our current knowledge: since the Big Bang, the Universe has expanded and cooled for more than 13.7 billion years. A few hundred years after the Big Bang, a Universe consisting only of hydrogen and helium gave birth to the first stars. Heavier chemical elements, such as carbon and oxygen, were forged inside these early sources and released into the environment by the first supernova explosions. The first stars also produced the photons that began the process of "reionising" the Universe. The formation of the first galaxies, about a billion years after the Big Bang (Figure 3), was greatly influenced by the properties of the first stars, and it can be said that these stars determined the initial conditions for the subsequent development of all galaxies today (e.g.: Salvadori, 2019). So, understanding the properties of the first stars is of fundamental importance.

But how can we observe the Universe during its first few billion years? We exploit the fact that light travels at a finite speed: observing remote galaxies means "seeing" the Universe in the past. As far as we currently know, the most distant galaxies date back more than thirteen billion years. Using today's telescopes, however, we can only observe the brightest galaxies in the remote Universe, those that are most massive, rare and evolved. The JWST⁴ infrared space telescope was successfully launched on 25 December 2021. The JWST is going to rev-

Bang (Figura 3), venne notevolmente influenzata dalle proprietà delle prime stelle e si può dire che quest'ultime determinarono le condizioni iniziali per lo sviluppo successivo di tutte le galassie odierne (e.g. Salvadori, 2019). Capire le proprietà delle prime stelle è quindi un problema fondamentale.

Ma come possiamo osservare l'Universo durante i suoi primi miliardi di vita? Sfruttiamo il fatto che la luce viaggia ad una velocità finita: osservare le galassie lontane significa "vedere" l'Universo nel passato. Ad oggi le galassie più distanti risalgono ad oltre 13 miliardi di anni fa. Con i telescopi attuali, tuttavia, riusciamo ad osservare nel lontano Universo soltanto le galassie più brillanti ovvero quelle più massicce, rare ed evolute. Il 25 dicembre 2021 è stato lanciato con successo il telescopio spaziale infrarosso JWST⁴ che rivoluzionerà le nostre conoscenze attuali, catturando anche la luce delle galassie lontane deboli (e.g. Gelli & Salvadori, 2021).

Tuttavia, anche le distanti galassie più brillanti e rare che abbiamo già osservato hanno rivelato delle proprietà inattese, che hanno aperto nuovi interrogativi. Molte delle galassie risalenti al primo miliardo di vita dell'Universo (*redshift* > 6) sono infatti dei *nuclei galattici attivi*: sono galassie che ospitano buchi neri super-massicci, fino ad un miliardo di volte il sole, che "mangiano" rapidamente il gas circostante emettendo radiazione a lunghezze d'onda diverse (e.g. Marconi, 2019). Capire come si siano potuti formare questi enormi buchi neri in meno di un miliardo di anni è uno dei problemi irrisolti della Cosmologia.

In questo contesto si inserisce la ricerca dei due gruppi di Cosmologia all'Università di Firenze:

olutionise our current knowledge by capturing light from weak remote galaxies (e.g.: Gelli & Salvadori, 2021).

However, even the brightest and rarest remote galaxies we have already observed have revealed unexpected properties that have opened up new questions. Many of the galaxies dating back to the first billion years of the Universe (*redshift* > 6) are actually *active galactic nuclei*, galaxies that host super-massive black holes, up to a billion times the size of the sun, that rapidly "eat" the surrounding gas, emitting radiation at different wavelengths (e.g.: Marconi 2019). Understanding how these massive black holes could have formed in less than a billion years is one of the unsolved problems of Cosmology.

It is in this context that the research of the two Cosmology groups at the University of Florence takes place:

Observational cosmology and remote galaxies: active galactic nuclei

By analysing spectroscopic observations at different wavelengths, this group studies the properties of active galactic nuclei (AGN) in different cosmic epochs. For example, they study how the masses of the black hole and the host galaxy evolve and how they influence each other (feedback). AGNs are also used to construct Hubble diagrams and study the expansion rate of the Universe (e.g.: Risaliti & Lusso, 2015).

Cosmologia osservativa e galassie lontane: nuclei galattici attivi

Tramite l'analisi di osservazioni spettroscopiche a lunghezze d'onda diverse questo gruppo studia quali sono, nelle diverse epoche cosmiche, le proprietà dei nuclei galattici attivi (AGN). Si studia ad esempio come evolve la massa del buco nero e della galassia ospite e come essi si influenzino reciprocamente (*feedback*). Gli AGN vengono anche usati per costruire diagrammi di Hubble e studiare il tasso di espansione dell'Universo (e.g. Risaliti & Lusso 2015).

Cosmologia di campo vicino: prime stelle e prime galassie

Il gruppo NEFERTITI⁵ studia le proprietà delle prime stelle andando a caccia di *fossili stellari*. Queste stelle antiche, formate da gas arricchito dai prodotti nucleo sintetici delle prime stelle, sono così longeve da sopravvivere fino ad oggi: possiamo quindi osservarle e determinare le loro abbondanze chimiche con spettroscopia ad alta risoluzione. Per trovare questi rari fossili stellari, ed inferire dalle loro proprietà le caratteristiche delle prime stelle, è necessaria una forte sinergia tra teoria ed osservazioni. Per questo motivi il gruppo NEFERTITI, che da un anno popola il Garbasso, è costituito sia da astrofisici teorici che osservativi.

La ricerca degli esopianeti e l'Osservatorio Polifunzionale del Chianti (OPC)

Un'altra attività condotta presso il Garbasso riguarda la ricerca e la caratterizzazione dei pianeti extrasolari.

Near-field cosmology: first stars and galaxies

The NEFERTITI group⁵ studies the properties of the first stars, hunting for *stellar fossils*. These ancient stars, made up of gas enriched by the nucleosynthetic products of the first stars, are able to live for so long that they have survived until today. This means that we can observe them and determine their chemical abundances with high-resolution spectroscopy. A strong synergy between theory and observations is needed to find these rare stellar fossils, and to deduce the characteristics of the first stars from their properties. For these reasons, the members of the NEFERTITI group, which has worked at the Garbasso for the last year, are theoretical and observational astrophysicists.

The search for exoplanets and the Polyfunctional Observatory of Chianti (OPC)

Another activity carried out at the Garbasso concerns the research and characterisation of extrasolar planets.

The department plays an active part in the definition of the ESA ARIEL mission⁶, a telescope designed to reveal the chemical composition of exoplanet atmospheres, by observing the infrared spectra produced by the planet's atmosphere during the transit over its parent star.

The search for exoplanets is supported by the Polyfunctional Observatory of Chianti, a facility owned by the municipality of Barberino Tavarnelle (FI), where scientific activity is managed by the University of Florence through the Department of Physics and Astronomy (headed

Il dipartimento svolge una parte attiva nella definizione della missione ESA ARIEL⁶, un telescopio progettato per rivelare la composizione chimica delle atmosfere degli esopianeti, tramite l'osservazione degli spettri infrarossi prodotti dall'atmosfera del pianeta nel corso del transito sulla stella parente.

A supporto nella ricerca degli esopianeti opera l'Osservatorio Polifunzionale del Chianti, una struttura di proprietà del comune di Barberino Tavarnelle (FI), in cui l'attività scientifica è gestita dall'Università di Firenze attraverso il Dipartimento di Fisica e Astronomia (resp. Emanuele Pace), in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra, Laboratorio di Geofisica Sperimentale e il LaMMA.

L'OPC possiede una strumentazione all'avanguardia, fra la quale spicca il telescopio Marcon da 80 cm di diametro, il più grande della Toscana col quale si effettuano osservazioni fotometriche *follow up* di transiti di pianeti extrasolari individuati da osservatori terrestri e spaziali, ma anche di oggetti del sistema solare e di stelle variabili. L'OPC fa inoltre parte del progetto PRISMA⁷, la prima rete nazionale di monitoraggio dei bolidi tramite camera all-sky e per la valutazione del rischio impatto da asteroidi e oggetti cosmici.

L'OPC non è solo una struttura scientifica dedicata alla ricerca, ma si dedica anche alla didattica, alla divulgazione e alla promozione della "terza cultura", ovvero all'integrazione tra cultura scientifica e umanistica.

by Emanuele Pace), in collaboration with the Department of Earth Sciences, Laboratory of Experimental Geophysics and LaMMA.

The OPC has state-of-the-art instrumentation, including the 80 cm diameter Marcon telescope, the largest in Tuscany, which is used to carry out photometric follow-up observations of the transits of extrasolar planets identified by ground and space-based observatories, as well as objects in the solar system and variable stars. The OPC is also part of the PRISMA project⁷, the first national network for all-sky camera monitoring and for assessing the risk of impact from asteroids and cosmic objects.

The OPC is not only a scientific structure dedicated to research, but also to teaching, outreach and the promotion of "third culture", i.e.: the integration of scientific and humanistic culture.

Notes

¹ SOHO: Solar Heliospheric Observatory is a mission of the European Space Agency for the study of the Sun, launched in 1995 and positioned in Lagrange point L1 between the Earth and the Sun. The observatory is still operational.

² SCORE: Sounding CORonagraph Experiment is one of the instruments of the HERSCHEL suborbital mission: HELium Resonant Scattering in the Corona and HELiosphere

Note

¹ SOHO: Solar Heliospheric Observatory, è una missione dell’Agenzia Spaziale Europea per lo studio del Sole lanciata nel 1995 e posta nel punto langrangiano L1 tra la Terra e il Sole. L’osservatorio è ancora operativo.

² SCORE: Sounding CORonagraph Experiment è uno degli strumenti della missione suborbitale HERSCHEL: HELium Resonant Scattering in the Corona and HELiosphere.

³ <http://astro.fisica.unifi.it/asap/>

⁴ <https://www.stsci.edu/jwst/>

⁵ Il progetto NEFERTITI (Near-FiEld cosmology: Re-Tracing Invisible Times) è stato finanziato dall’European Research Council con un ERC-Starting grant (PI: Salvadori, https://stefaniasalvadori.com/?page_id=363).

⁶ ARIEL: Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large survey (Program manager italiano: Pace) il cui lancio è programmato nel 2028.

⁷ PRISMA: Prima Rete per la Sorveglianza sistematica di Meteore e Atmosfera.

Bibliografia

Gelli & Salvadori 2021, *A caccia di galassie nane all'alba dell'Universo*, Il Colle di Galileo, 10(2), 61-66

Mazzoni 2014, *Breve storia dell'anomalo Dipartimento di Astronomia e Scienza dello Spazio*, Il Colle di Galileo, 3 (2), 7-20

Marconi 2019, *I buchi neri*, Il Mulino, ISBN: 9788815283252

Moses et al. 2020, *Global helium abundance measurements in the solar corona*, Nature Astronomy, 4, 1134–1139

Notes

Gelli & Salvadori 2021, *A caccia di galassie nane all'alba dell'Universo*, Il Colle di Galileo, 10(2), 61-66

Mazzoni 2014, *Breve storia dell'anomalo Dipartimento di Astronomia e Scienza dello Spazio*, Il Colle di Galileo, 3 (2), 7-20

Marconi 2019, *I buchi neri*, Il Mulino, ISBN: 9788815283252

Moses et al. 2020, *Global helium abundance measurements in the solar corona*, Nature Astronomy, 4, 1134–1139

Risaliti & Lusso 2015, *A Hubble diagram for quasars*, ApJ, 815, 1

Romoli et al. 2021, *First light observations of the solar wind in the outer corona with the Metis coronagraph*, Astronomy & Astrophysics, 656, 32

Salvadori 2019, *Le prime stelle*, vol. 17 from the *Viaggio nell'Universo* series, edited by Ferrara. Corriere della Sera, Rcs Mediagroup Spa - Quot.tm, ISSN 977182456927190017.

Marco Romoli is Associate Professor of Physics and Astrophysics at the University of Florence, where he arrived as a researcher in 1998. He is Principal Investigator of the Metis coronagraph, funded by ASI for the ESA/NASA Solar Orbiter mission launched in 2020. He coordinates the solar coronagraphy group at the University of Florence.

Risaliti & Lusso 2015, *A Hubble diagram for quasars*, ApJ, 815, 1

Romoli et al. 2021, *First light observations of the solar wind in the outer corona with the Metis coronagraph*, Astronomy & Astrophysics, 656, 32

Salvadori 2019, *Le prime stelle*, vol. 17 della collana *Viaggio nell'Universo*, curatore Ferrara. Corriere della Sera, Rcs Mediagroup Spa - Quot.tm, ISSN 977182456927190017.

Marco Romoli è Professore Associato di Fisica e Astrofisica presso l'Università di Firenze, nella quale è entrato come Ricercatore nel 1998. È *Principal Investigator* del coronografo Metis, finanziato da ASI per la missione solare ESA/NASA Solar Orbiter lanciata nel 2020. Coordina il gruppo di coronografia solare dell'Università di Firenze.

Stefania Salvadori è Professore Associato di Fisica e Astrofisica presso l'Università di Firenze dove è rientrata nel 2017 con una borsa Rita Levi Montalcini. Dal 2018 ha iniziato a formare il suo gruppo di ricerca grazie al progetto NEFERTITI finanziato dalla Comunità Europea con un "ERC-starting". Nel 2019 le è stato conferito il Fiorino d'oro dalla città di Firenze.

Stefania Salvadori is Associate Professor of Physics and Astrophysics at the University of Florence where she returned in 2017 with a Rita Levi Montalcini grant. She began forming her research group in 2018, thanks to the NEFERTITI project, funded by the European Community with an "ERC-starting" grant. She was awarded the Fiorino d'oro by the city of Florence in 2019.

Sommario | Table of contents

Volume 11 – 1 · 2022

Editoriale | *Editorial* 5
DANIELE DOMINICI

PILLOLE DI STORIA / HISTORICAL PILLS

La fisica fiorentina dall'arrivo di Garbasso agli anni '60 | *Florentine physics from the arrival of Garbasso to the 1960s* 9
ROBERTO CASALBUONI

La ricerca al Dipartimento di Fisica e Astronomia | *Research at the Department of Physics and Astronomy* 21
DUCCIO FANELLI

Il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali) | *The LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali - Laboratory of Nuclear Techniques for the Environment and Cultural Heritage)* 33
MARIAELENA FEDI, PIER ANDREA MANDÒ

Storia e struttura del LENS | *History and structure of the LENS* 45
ELISABETTA CERBAI, VINCENZO SCETTINO

Il "Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics" di Arcetri | *The Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics in Arcetri* 55
STEFANIA DE CURTIS

Le attività di Astrofisica al Garbasso | *Astrophysics at the Garbasso* 63
MARCO ROMOLI, STEFANIA SALVADORI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

INAF



ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
OSSERVATORIO ASTROFISICO DI ARCETRI



INO-CNR
ISTITUTO
NAZIONALE DI
OTTICA

Versione elettronica | Online version:

ISSN 2281-9711 (online) <http://www.fupress.com/cdg>

€ 19,00

Poste Italiane spa - Tassa pagata - Piego di libro

Aut. n. 072/DCB/FI1/VF del 31.03.2005