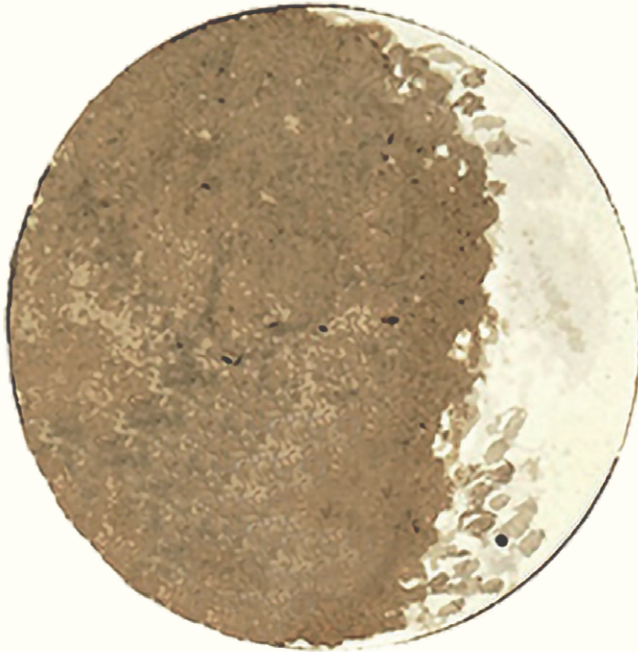


Volume 10

IL COLLE
di GALILEO

2 · 2021

IL COLLE di GALILEO



ISSN
2281-7727



Il Colle di Galileo

Volume 10, 2, 2021



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

© 2021 Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
Firenze University Press
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy
www.fupress.com/
Printed in Italy



Il Colle di
Galileo

Sommario

Table of contents

PILLOLE DI STORIA / HISTORICAL PILLS

- 5 Come fu che l'Osservatorio Astronomico di Arcetri divenne Astrofisico
How the Arcetri Astronomical Observatory became Astrophysical
Simone Bianchi
- 21 Arcetri, 1934: una nuova via per le Scienze
Arcetri, 1934: A new road for the Sciences
Massimo Mazzoni

RAPPORTI DI ATTIVITÀ / ACTIVITY REPORTS

- 43 INO Annual Symposium 2020. *Quantum for Renaissance*
Giacomo Roati

IN EVIDENZA / HIGHLIGHTS

- 45 La fase supersolida della materia
The supersolid phase of matter
Giovanni Modugno
- 55 Stelle massicce svelano l'origine del gigantesco anello di gas nel Leone
Massive stars unveil the origin of the giant H I ring in Leo
Edvige Corbelli
- 61 A caccia di galassie nane all'alba dell'Universo
Hunting for dwarf galaxies at cosmic dawn
Viola Gelli, Stefania Salvadori
- 67 Teorie alternative della gravità e stelle di neutroni
Alternative theories of gravity and neutron stars
Jacopo Soldateschi, Niccolò Bucciantini
- 73 Nuove prospettive per l'adroterapia con gli acceleratori laser-plasma
New perspectives for hadron therapy with laser-plasma accelerators
Giada Petringa, Giuliana Milluzzo, Pablo Cirrone, Dario Giove, Luca Labate, Leonida A. Gizzi

Simone Bianchi

Come fu che l'Osservatorio Astronomico di Arcetri divenne Astrofisico

*How the Arcetri Astronomical Observatory became
Astrophysical*

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Abstract. Cento anni fa, il 12 maggio 1921, un regio decreto mutò la denominazione dell'Osservatorio di Arcetri da astronomico ad astrofisico. Si riassumono qui le tappe di questo passaggio, evidenziando il ruolo del direttore Antonio Abetti.

Parole chiave. Antonio Abetti, Giorgio Abetti, Antonio Garbasso, Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Torre Solare.

Introduzione

L'Osservatorio di Arcetri vanta ben due inaugurazioni: una nel 1869, quando venne mostrata al pubblico la postazione provvisoria del telescopio Amici; l'altra nel 1872, al completamento dell'edificio principale¹. Nonostante il suo fondatore, Giovanni Battista Donati (1821-1873), sia annoverato fra i pionieri dell'applicazione della spettroscopia agli studi astronomici, e quindi dell'astrofisica, l'Os-

Abstract. One hundred years ago, on 12 May 1921, a Royal Decree changed the name of the Arcetri Observatory from "Astronomical" to "Astrophysical". Here we recount the stages of this transformation, highlighting the role played by Director Antonio Abetti.

Keywords. Antonio Abetti, Giorgio Abetti, Antonio Garbasso, Arcetri Astrophysical Observatory, Solar Tower.

Introduction

The Arcetri Observatory boasts two inaugurations: the first in 1869, when the provisional positioning of the Amici telescope was unveiled to the public, and the second in 1872, upon completion of the main building.¹ In spite of the fact that Giovanni Battista Donati (1821-1873), Arcetri's founder, is included among the pioneers in the application of spectroscopy to research



servatorio nacque astronomico e indirizzato agli studi di astronomia classica, quella di posizione².

Fu solo mezzo secolo dopo che l'Osservatorio divenne astrofisico, su impulso dello spostamento ad Arcetri dell'Istituto di Fisica e con la costruzione della Torre Solare. Mentre i ruoli avuti in questi eventi da Antonio Garbasso (1871-1933) e Giorgio Abetti (1882-1982) sono stati debitamente approfonditi³, ci si dedica qui a mettere in luce quello meno noto di Antonio Abetti (1846-1928), direttore dell'Osservatorio: Antonio agì con l'obiettivo di indirizzare Arcetri su ricerche scientifiche all'avanguardia, promuovendo allo stesso tempo la carriera del figlio Giorgio.

Un americano ad Arcetri

Nominato direttore dell'Osservatorio di Arcetri alla fine del 1893, Antonio Abetti vantava già una lunga esperienza nel campo dell'astronomia di posizione, maturata all'Osservatorio di Padova sotto la guida di Giuseppe Lorenzoni (1843-1914). Pur non dedicandosi agli studi astrofisici, non doveva però esserne digiuno, per la frequentazione con Lorenzoni, uno dei primi spettroscopisti italiani, e per aver lui stesso fatto osservazioni spettroscopiche del passaggio di Venere sul Sole, nel 1874 in India. Durante tutto il 1894, Abetti si trattenne spesso a Padova, per avere consigli da Lorenzoni sulle operazioni da intraprendere ad Arcetri, e per coordinare i lavori di ripristino della strumentazione astronomica presso l'officina dell'Osservatorio padovano.

in astronomy – and therefore in astrophysics – the Observatory began as an astronomical one focusing on studies in classical, positional, astronomy.²

Only half a century later did the Observatory become astrophysical. The impulse was given by the transfer of the Physics Institute to Arcetri and the construction of the Solar Tower. While the roles played in these events by Antonio Garbasso (1871-1933) and Giorgio Abetti (1882-1982) have been well researched,³ our aim here is to foreground the less known contribution of Antonio Abetti (1846-1928), who was director of the Observatory. Antonio aimed to channel efforts at Arcetri toward avant-garde scientific research while at the same time promoting the career of his son Giorgio.

An American in Arcetri

Nominated director of the Arcetri Observatory at the end of 1893, Antonio Abetti had already gained long experience in the field of positional astronomy at the Observatory of Padua under the guidance of Giuseppe Lorenzoni (1843-1914). Although he did not directly study astrophysics, he certainly had familiarity with the field from his contact with Lorenzoni, one of the first Italian spectroscopists. Indeed, Abetti himself made spectroscopic observations of the transit of Venus across the Sun in India in 1874. Throughout 1894, Abetti was often in Padua to receive advice from Lorenzoni on measures to take at Arcetri and to coordinate refurbishing operations on the astronomical equipment at the workshop of the Paduan Observatory.

Nella primavera del 1894, Abetti e Lorenzoni accolsero a Padova l'intraprendente astrofisico statunitense George Ellery Hale (1868-1938). Grande estimatore delle *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, la prima rivista di astrofisica in assoluto, Hale incontrò in Italia i membri della *Società* per promuovere il progetto del suo *The Astrophysical Journal*, rivista che avrebbe iniziato le pubblicazioni l'anno successivo (Chinnici 1997). Il 29 aprile Hale si recò all'Osservatorio di Arcetri, insieme al presidente della *Società* (e curatore delle *Memorie*) Pietro Tacchini (1838-1905). Durante la visita Abetti mostrò agli ospiti un telescopio minore dell'Osservatorio, un rifrattore Fraunhofer di 11 cm di apertura che Donati aveva installato in un cupolino davanti all'Osservatorio (Fig. 1), ed i tre discussero della possibilità di usarlo per ottenere immagini monocromatiche del Sole, utilizzandolo insieme ad uno spettroeliografo – strumento fotografico inventato da Hale pochi anni prima. Abetti era quindi ben disposto ad accogliere studi di astrofisica ad Arcetri, e confidava che Tacchini lo aiutasse a trovare fondi per l'attrezzatura ed il personale, ma il progetto non andò in porto.

Se il Fraunhofer non fu usato per l'astrofisica, servì almeno, una volta restaurato e collocato nel cupolino est dell'Osservatorio, a coltivare gli interessi nell'astronomia del giovane Giorgio Abetti. Ancora studente liceale, Giorgio scriveva a Lorenzoni a proposito dell'uso di un micrometro per quel telescopio, ed il padre Antonio confidava al collega di Padova la speranza di vederlo intraprendere una carriera nei filoni più moderni della scienza, nella “corsa vertiginosa dell'elettricità, della fotografia, della spettroscopia” (Bianchi & Gasperini 2017).

In the spring of 1894, Abetti and Lorenzoni greeted the enterprising American astrophysicist George Ellery Hale (1868-1938) in Padua. Hale greatly admired the *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, the world's first astrophysics journal. In Italy, he met members of the *Società* to promote the project of his own *The Astrophysical Journal*, a publication which would release its first issues the following year (Chinnici 1997). On April 29, Hale came to the Arcetri Observatory, together with Pietro Tacchini (1838-1905), president of the *Società* and editor of the *Memorie*. During their visit, Abetti showed them the Observatory's minor telescope, a Fraunhofer refractor with an 11 cm aperture, which Donati had installed in a small dome in front of the Observatory (Fig. 1). The three men discussed the possibility of using it – together with a spectroheliograph, a photographic instrument invented by Hale a few years before – to obtain monochromatic images of the Sun. Abetti was therefore quite open to the idea of initiating studies in astrophysics at Arcetri; he indeed approached Tacchini to help him find funding for equipment and personnel. But the project did not get off the ground.

Although the Fraunhofer telescope was not used for astrophysics, it did serve to pique the interest of the young Giorgio Abetti once it was restored and set in the East dome above the Observatory building. At the time, Giorgio was still a high school student; he wrote to Lorenzoni about using a micrometer for that telescope. Indeed his father Antonio confided to his colleague in Padua his wish to see his son undertake a career in the most modern scientific fields and to participate in the “dizzying race in electricity, photography and spectroscopy” (Bianchi & Gasperini 2017).

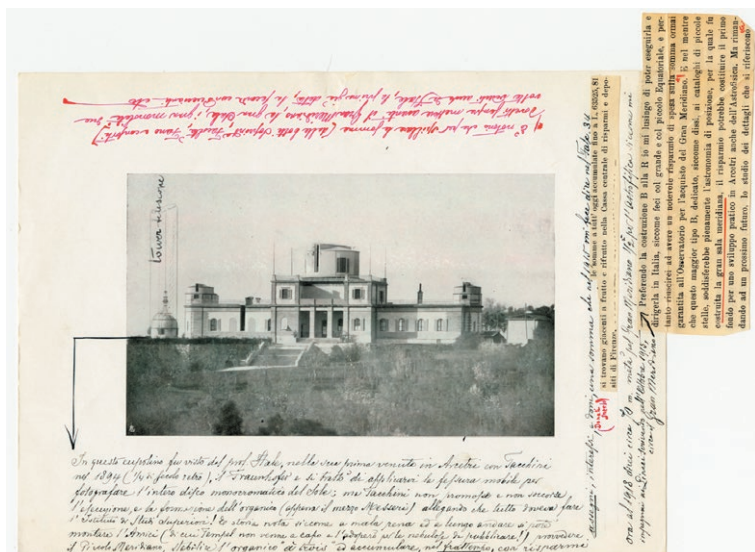


Figura 1. L'Osservatorio di Arcetri nei primi anni del XX secolo. Il testo manoscritto descrive la visita di Hale nel 1894 e i successivi sforzi di Antonio Abetti per introdurre studi astrofisici ad Arcetri. Redatto nel 1918, vi si riconosce la calligrafia di Antonio, mentre la nota “Tower telescope” accanto allo schizzo sopra il cupolino è di mano del figlio Giorgio (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

Figure 1. The Arcetri Observatory in the first years of the 20th century. The handwritten text describes Hale's visit in 1894 and the later efforts of Antonio Abetti to introduce research in astrophysics at Arcetri. The document was written in 1918. Antonio's handwriting is recognizable, while the note “Tower telescope” next to the sketch above the small dome is in his son Giorgio's hand (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

After taking his degree in physics in Padua in 1904, Giorgio first went to Germany and then to the U.S. in 1908-1909. Of particular importance was his visit to the Mount Wilson Observatory in California, of which Hale was director. Here Giorgio witnessed a tower telescope, a vertical instrument with a long focal length used together with the spectroheliograph to observe the Sun. It was during this visit that Giorgio conceived the project of constructing a solar tower in Italy as well (this is how he referred to Hale's “tower telescope”). Given his enthusiasm for international collaboration, Hale took the project to heart, returning to Arcetri in summer 1909. Together with Antonio Abetti, he identified a possible position for the tower, namely the area in front of the Observatory, on the top of the hill in place of the old small dome (Figs. 1 and 2).⁴

The new Physics building

The arrival in Florence of the physicist Antonio Garbasso heralded new possibilities for installing facilities for astrophysical studies. A first indication was given by the transfer of the Physics Institute in proximity to the Observatory, an operation guided by Garbasso which received official approval in 1914. In August of that year, Giorgio Abetti wrote to Hale: “In Florence, I have recent new [sic], that Garbasso, who was called there from Genova, is building a new Institute for Physics near Arcetri and it seems that Astrophysics will take an important place.”⁵

Similar changes could be seen in the acts of the director of the Observatory. Until then, Antonio Abetti had sought funds sufficient to purchase a large meridian circle, the principal

Dopo la laurea in fisica a Padova nel 1904, Giorgio si recò prima in Germania e poi, a cavallo fra 1908 e 1909, negli Stati Uniti. Particolarmente significativa fu la visita all'Osservatorio di Mount Wilson in California, diretto da Hale, dove Giorgio Abetti vide in azione il telescopio a torre, un telescopio verticale di grande focale utilizzato insieme allo spettroeliografo per l'osservazione del Sole. Fu durante questa visita negli USA che Giorgio concepì il progetto di costruire anche in Italia una torre solare (così chiamava il *tower telescope* di Hale). Hale, forte fautore della collaborazione internazionale, prese a cuore il progetto: nell'estate del 1909, l'astrofisico americano tornò ad Arcetri, ed insieme ad Antonio Abetti individuò una possibile collocazione per la Torre, il piazzale davanti all'Osservatorio, sulla cima della collina al posto del vecchio cupolino (Fig. 1 e 2)⁴.

La Fisica Nuova

Nuove possibilità per l'impianto di studi astrofisici ad Arcetri vennero con l'arrivo a Firenze del fisico Antonio Garbasso, e con lo spostamento dell'Istituto di Fisica da lui diretto nelle immediate vicinanze dell'Osservatorio, approvato nel 1914. "In Florence, I have recent news, that Garbasso, who was called there from Genova, is building a new Institute for Physics near Arcetri and it seems that Astrophysics will take an important place", scrisse Giorgio Abetti a Hale nell'agosto 1914⁵.

Analoghi cambiamenti si videro anche negli atti del direttore dell'Osservatorio. Fino ad allora Antonio Abetti aveva sempre cercato di ottenere fondi sufficienti ad

instrument for positional astronomy. In a publication dated October 1915, however, he made changes to his plan which would allow the instrument to be obtained at a lower cost; indeed his note concluded that "... the savings could help us create the first fund for the practical development of astrophysics at Arcetri as well" (Abetti 1915; inset in Fig. 1).

That the two directors saw eye to eye on the question is also demonstrated by words spoken by Garbasso in his speech inaugurating the 1916-17 academic year:

Together with the creation of the great laboratory for experimental physics at Arcetri we have already constructed a space for research in terrestrial physics. It is my hope – and this is also the intention of my esteemed colleague, Prof. Abetti – that we are approaching the time when the old, glorious Amici and Donati observatory will be able to dedicate at least part of its activities to astrophysics (Garbasso 1916).

While the War inevitably delayed the project for the Tower, it did allow Giorgio Abetti to cultivate closer relationships with American astrophysicists. In 1917, Giorgio, who had been made lieutenant of the Battalion of Airship Pilots, was sent to the U.S. as member of an inter-allied scientific commission. In May 1919, shortly before his return to Italy, Abetti sent several documents to Hale that his father had mailed to him in Washington. These were intended to refresh Hale's memory of the layout of Arcetri and of the location envisioned for the tower (see the documents in Figs. 1 and 2). They further included the project for the "Sedes Scientiarum" at Arcetri, of which two buildings had already been constructed: one for the Physics

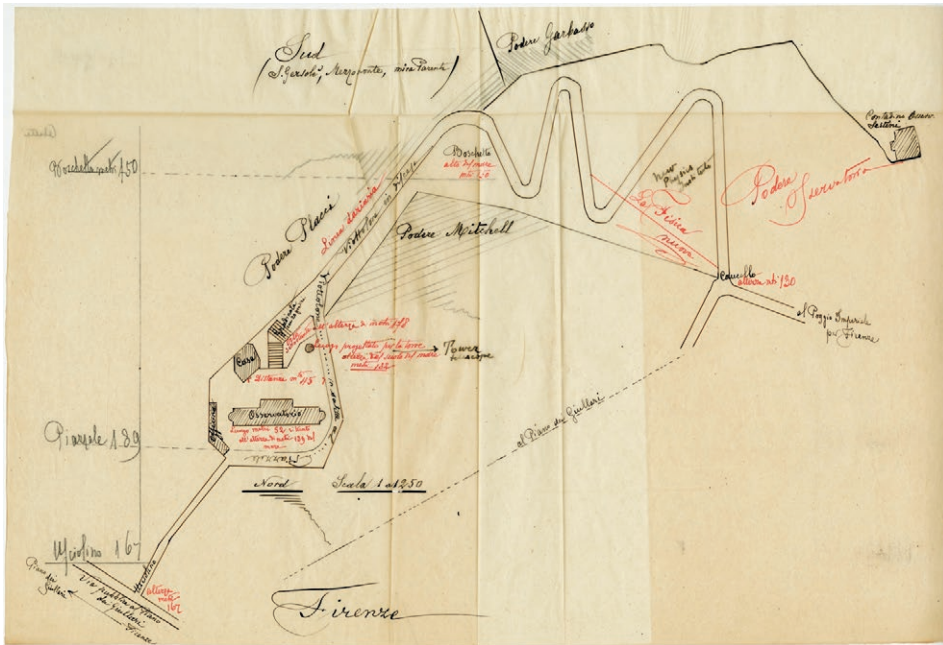


Figura 2. Pianta dell'Osservatorio con il primo luogo pensato per la torre, il Boschetto e la Fisica Nuova. Caligrafia di Antonio Abetti, con l'eccezione delle due scritte in inglese, di mano di Giorgio (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

Figure 2. Plan of the Observatory with the original location for the tower, the "Boschetto" and the "Fisica Nuova." The handwriting is Antonio Abetti's, with the exception of two writings in English by Giorgio (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

Institute ("La Fisica Nuova" of Fig. 2) and the other for Terrestrial Physics, the first nucleus of today's Optics Institute.⁶

The Tower, finally

By early summer 1919, Giorgio Abetti was able to inform Hale of the positive developments regarding the project for the Solar Tower: "In Florence ... I spoke with my Father and Garbasso and the construction of a 60-foot tower telescope in Arcetri is almost decided by this time", he wrote at the end of June. Already by mid-July he could add, "I'm glad to tell you now that the construction [...] has been decided. [...] in account of the small space at disposal on the top of the hill, [the location] will be a little lower in a good position protected from the north wind which is the strongest in that region."⁷ The definitive positioning of the Tower in the "Boschetto" had, then, been decided (Fig. 2; see also note 4).

In July 1919, Antonio Abetti sent a memorandum on the construction of the Tower to the superintendent of the Institute for Higher Education. Having rechanneled the funds that had been earmarked for the great meridian circle, whose construction would have required too much time, to the building of the Tower, the director of the Observatory stated:

And if, as I have said, the "momentum" does not elude me, I hope to construct it [the Tower] and make it operative before stepping down from my position. My colleague Garbasso is of

acquistare per l'Osservatorio un grande cerchio meridiano, strumento principe per l'astronomia di posizione; in una memoria datata ottobre 1915, invece, presentò alcune modifiche che avrebbero permesso di ottenere lo strumento ad un costo più basso concludendo che "... il risparmio potrebbe costituire il primo fondo per uno sviluppo pratico in Arcetri anche dell'astrofisica" (Abetti 1915; ritaglio in Fig. 1).

Che i due direttori agissero all'unisono è evidente anche dalle parole pronunciate da Garbasso nel discorso inaugurale dell'anno accademico 1916-17:

Col laboratorio grande della Fisica sperimentale si è costruito già in Arcetri un padiglione espressamente dedicato alle ricerche della Fisica terrestre; ed io mi auguro vicino al momento in cui, come è nelle intenzioni del mio ottimo collega, il professor Abetti, il vecchio osservatorio glorioso dell'Amici e del Donati potrà rivolgere almeno in parte la sua attività agli studi dell'Astrofisica (Garbasso 1916).

Se la Guerra portò inevitabili ritardi al progetto della Torre, almeno permise a Giorgio Abetti di stringere rapporti più stretti con gli astrofisici americani. Nel 1917 Giorgio, tenente del Battaglione Dirigibilisti, fu infatti inviato negli USA come membro di una commissione scientifica interalleata. Poco prima del ritorno in Italia, nel maggio 1919, Abetti inviò ad Hale alcuni documenti speditigli dal padre a Washington, per ricordargli la località di Arcetri e la collocazione prevista per la torre (i documenti in Fig. 1 e 2). Oltre a questi c'era anche il progetto della "Sedes Scientiarium" ad Arcetri, del quale era stato già realizzato l'edificio dell'Istituto di Fisica (*La Fisica Nuova* di Fig. 2) e l'altro della Fisica Terrestre, primo nucleo dell'attuale Istituto di Ottica⁶.

the same opinion; I must acknowledge here that he has been the first and most powerful mover of my current enthusiasm for the project. This enthusiasm gives me the hope that I – against all expectations – will still be able to lay the cornerstone for the practical launch of Astrophysics in Florence, that science which in a certain sense was born here with the experiences made by Amici and Donati regarding the dispersion of solar light through a prism [...].⁸

While waiting for "stepping down", that is, to reach the age of retirement, Antonio Abetti was preparing the way for his son. Acting on an agenda item presented by Garbasso, on 29 July the Board of the Department of Sciences approved the request to apply for Giorgio Abetti's transfer, who at the time was with the Collegio Romano Observatory in Rome. The motivation provided for bringing him to Arcetri was to help his father with the installation and use of the Tower, in light of the fact that he had direct experience in the matter and was in contact with Hale. During the same meeting, authorization was given to begin work, which started the next month. Giorgio Abetti would arrive in Arcetri in the first days of March 1920.

As is known, the severe inflation of the postwar years quickly brought about an increase in costs, and the construction of the Tower was delayed (Gasperini et al. 2004; Foderà Serio 2005). Having recourse to a strategy that had already been attempted in 1909, the promoters of the project sought to obtain fresh funding from the committee for the public subscription made nearly 40 years earlier to realize a "scientific monument" to Father Angelo Secchi (1823-1873), another Italian pioneer in stellar astrophysics and solar physics. In the course of a long – and inconclusive – episode, the committee formed to pay tribute to Secchi managed

Finalmente la Torre

All'inizio dell'estate 1919 Giorgio Abetti poté comunicare ad Hale i nuovi positivi sviluppi del progetto per la Torre Solare: "In Florence ... I spoke with my Father and Garbasso and the construction of a 60-foot tower telescope in Arcetri is almost decided by this time", scrisse alla fine di giugno; e già a metà luglio aggiunse "I'm glad to tell you now that the construction [...] has been decided. [...] in account of the small space at disposal on the top of the hill, [the location] will be a little lower in a good position protected from the north wind which is the strongest in that region."⁷ La definitiva collocazione nel Boschetto era stata quindi scelta (Fig. 2; si veda anche la nota 4).

Nel luglio 1919 Antonio Abetti presentò alla Soprintendenza dell'Istituto di Studi Superiori un memoriale sulla costruzione della Torre. Dopo aver rinunciato ad usare i fondi fino ad allora accumulati per il grande cerchio meridiano, che avrebbe avuto un tempo di realizzazione troppo lungo, ed averli dirottati sulla Torre, il direttore dell'Osservatorio dichiarava:

E se, come dissi, il "momento fisico" non mi sfugge spererei di erigerla [la Torre] ed avviarla ad attività prima di scendere di seggio, e nello stesso parere concorda il collega Garbasso che qui devo riconoscere quale primo e potente motore della mia animazione attuale. Animazione che mi porta insperatamente ancora in tempo a posare la prima pietra per la riattivazione pratica in Firenze di quella scienza che oggi è l'Astrofisica, che fu qui quasi nascita con esperienze sulla luce solare attraverso il prisma per opera dell'Amici e del Donati [...]⁸

to put together a significant sum (153,000 lire in 1921), whose effective value, however, was also contracting considerable as a result of the inflation (Bònoli & Mandrino 2021).

Garbasso wrote to the committee, asking for 100,000 lire and citing the reasons for financing the Solar Tower. While the funds from the Secchi subscription alone would not be sufficient to finance the construction of an institute for solar physics, together with the sum that Abetti had already collected they could be put to good use for Arcetri. Indeed, "the astrophysics installation at Arcetri would be complemented by an [existing] Observatory and a Physics Laboratory. On the strength of its innovative facilities and potential for development, Arcetri boasts more favorable conditions than any other venue in Italy." In addition, Giorgio Abetti, "the only figure in Italy able to oversee research in astrophysics with certainty of success from the start" was already at work in Arcetri. Garbasso further made reference to Galileo and to Il Gioiello: "It would be a gesture of no small significance for Angiolo Secchi, who revived astrophysics studies in the last century, to have his monument in the solar tower near the villa of he who first described sunspots."⁹ But once again the funds for the Secchi subscription would not be granted (indeed they would never be used: Bònoli & Mandrino 2021).

The Astrophysical Observatory

In his letter to the committee, Garbasso noted that of the eleven existing Observatories in Italy in 1920, not one was dedicated to astrophysics. There was an "Astrophysical Observa-

In previsione di “scendere di seggio”, ovvero di raggiungere l'età del pensionamento, Antonio Abetti spianava così la strada al figlio. In seguito ad un ordine del giorno promosso da Garbasso, il 29 luglio il Consiglio della Facoltà di Scienze approvava la richiesta di chiedere il trasferimento ad Arcetri di Giorgio Abetti, al momento in forze all'Osservatorio del Collegio Romano a Roma, per aiutare il padre nell'installazione e nell'uso della Torre, avendone lui esperienza diretta ed essendo in contatto con Hale. Nella stessa seduta veniva data l'autorizzazione ad iniziare i lavori, che partirono il mese successivo. Giorgio Abetti arrivò ad Arcetri nei primi giorni di marzo 1920.

Come è noto, la forte inflazione postbellica causò un rapido aumento dei costi e la costruzione della Torre subì dei ritardi (Gasperini et al. 2004; Foderà Serio 2005). Ripercorrendo una strada già tentata nel 1909, si pensò allora di ottenere nuovi fondi chiedendoli agli amministratori della sottoscrizione pubblica nata quasi 40 anni prima per realizzare un “monumento scientifico” a Padre Angelo Secchi (1823-1873), un altro fra i pionieri italiani dell'astrofisica stellare e della fisica solare. Nel corso della sua lunga – e inconcludente – storia, il Comitato per le onoranze ad Angelo Secchi aveva raccolto una somma considerevole (153000 lire nel 1921) il cui valore effettivo, però, stava anch'esso diminuendo fortemente per l'inflazione (Bònoli & Mandrino 2021).

Fu Garbasso a scrivere al Comitato, chiedendo 100000 lire ed elencando tutte le motivazioni a favore del finanziamento per la Torre Solare. Mentre i fondi della sottoscrizione Secchi non sarebbero più stati sufficienti da soli per costruire un nuovo istituto dedicato alla fisica solare, ad Arcetri sarebbero stati messi a frutto

tory” in Catania, though for years it had channeled most of its resources to the *Carte du ciel*, the international project to realize photographic plates of the skies, which represented an initiative more within the sphere of positional astronomy. By contrast, the construction of the Solar Tower and the acquisition of other instruments for spectroscopy would herald the first true observatory for astrophysics at Arcetri.

The proposal to change the name was approved by the faculty of the Department of Sciences on 29 April 1920, after the report of a special commission was read. A handwritten document by Antonio Abetti, which has come down to us, is perhaps the text of the report. After briefly summarizing the history of Arcetri and the Tower, the text concludes:

[Prof. Antonio Abetti] and the Faculty of Sciences have agreed on the need to make known – by means of its name as well – the proposed new direction in physics which the said Observatory will be assuming with the installation of the aforementioned Tower [...]. For this reason, it was thought to make that change which in effect only regards the second syllable [sic] of the name astro-nomical, modified to astro-physical. And even more so now that the new Institute of General Physics has been established on the hill of Arcetri, directed by Prof. Garbasso, with whom Antonio Abetti is in perfect agreement regarding those celestial and terrestrial observations and experiences at the base of the many questions of the two sciences which they are devoted to, Astronomy and Physics.¹⁰

A brief justification for the change in name was given to the Ministry of Education:

grazie alla somma già raccolta da Abetti. E questo anche perché “Ad Arcetri l’installazione astrofisica avrebbe l’ausilio di un Osservatorio e di un Laboratorio di Fisica, che per la novità dell’impianto e la possibilità di sviluppo è in condizioni più favorevoli di ogni altro in Italia.” Inoltre ad Arcetri già c’era Giorgio Abetti, “il solo in Italia che sia in grado di attendere a questi studi astrofisici, con la certezza del successo, fin da principio.” Non poteva poi mancare un riferimento a Galileo e a Il Gioiello: “Che Angiolo Secchi, il rinnovatore dell’astrofisica nel secolo scorso, avesse nella torre solare il suo monumento, presso la villa di colui che descrisse per primo le macchie del sole, non sarebbe senza un profondo significato.”⁹ Ma anche questa volta, i fondi della sottoscrizione Secchi non vennero concessi (e non furono poi mai utilizzati; Bònoli & Mandrino 2021).

L’Osservatorio astrofisico

Fra gli undici Osservatori italiani esistenti nel 1920, notava Garbasso nella sua lettera al Comitato, nessuno si dedicava all’astrofisica. Esisteva sì un “Osservatorio astrofisico”, quello di Catania, ma questo da anni dedicava la maggior parte delle sue risorse al progetto internazionale della carta fotografica del cielo, la *Carte du ciel*, un’attività di carattere astrometrico riconducibile al filone dell’astronomia di posizione. Con la Torre Solare in costruzione e con l’acquisto in corso di altri strumenti per la spettroscopia, era ora il tempo per Arcetri di diventare “Osservatorio astrofisico”.

Prof. Antonio Abetti, Director of the Arcetri Astronomical Observatory, has begun the construction of a tower telescope, destined for research in celestial spectroscopy and in particular in solar spectroscopy.

The initiative will provide our Institute with an instrument which is superior to all those now in possession of European observatories; it in effect consecrates the transformation of the Arcetri Astronomical Observatory into the Arcetri Astrophysical Observatory.

Acting out of deference to its colleague and wishing to avoid the risk that a direction will be lacking in the future – a direction which corresponds to the current needs of astronomical science and which revives traditional glories at Arcetri, dating back to Galileo and brilliantly given new life by Giambattista Donati in the last century – the Faculty has cast its votes such that the new activities of the Observatory be officially consecrated with the proposed denomination.

The new name, “Arcetri Astrophysical Observatory”, was finally ratified by a Royal Decree of 12 May 1921 (Fig. 3). Antonio Abetti reached the mandatory retirement age in summer 1921. The direction was entrusted ad interim to Giorgio Abetti, who was confirmed in the position in 1925, the same year in which the Solar Tower was inaugurated. Since then, Arcetri has been completely dedicated “to the current needs of astronomical science,” becoming a point of reference for the rebirth of astrophysics in Italy (Bianchi 2021).

La proposta del cambio di denominazione fu approvata dalla Facoltà di Scienze il 29 aprile 1920, dopo aver letto la relazione di una opportuna commissione. Si conserva un documento manoscritto, per mano di Antonio Abetti, che è forse il testo della relazione; dopo aver tracciato brevemente la storia di Arcetri e della Torre, il testo conclude:

[Il professor Antonio Abetti] ha dovuto convenire colla Facoltà di Scienze sulla necessità di far noto, anche col nome, il proposito del nuovo carattere fisico che l'Osservatorio medesimo va ora assumendo con l'impianto della torre predetta [...], e nacque pertanto il pensiero di quella mutazione che in sostanza riguarda la sola seconda sillaba [sic] del nome astro-nomico mutandolo in astro-fisico. E ciò tanto più in quanto che nella collina di Arcetri è ora sorto il nuovo Istituto di Fisica generale diretto dal prof. Garbasso, con cui l'Antonio Abetti è perfettamente all'unisono in riguardo ad osservazioni ed esperienze celesti e terrestri spettanti a parecchie questioni delle due scienze che loro coltivano, l'Astronomia e la Fisica.¹⁰

Una succinta motivazione fu passata al Ministero dell'Istruzione:

Il Prof. Antonio Abetti, Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Arcetri, ha iniziato la costruzione di un telescopio a torre, destinato allo studio della spettroscopia celeste e più particolarmente della spettroscopia solare.

Questa iniziativa, che doterà il nostro Istituto di un strumento superiore a tutti quelli ora posseduti dagli Osservatori europei, consacra di fatto la trasformazione dell'Osservatorio Astronomico di Arcetri in Astrofisico.

Notes

¹ See Bianchi, Galli & Gasperini (2013). The 150th anniversary of this event was celebrated in 2019 (Randich & Bianchi, 2020).

² On the destination envisioned by Donati for the Observatory, see Bianchi & Gasperini (2021).

³ For the Physics Institute, see, for example, Casalbuoni (2013); for the Solar Tower, see Gasperini, Mazzoni & Righini (2004) and Foderà Serio (2005).

⁴ Antonio added the following note (in Italian) to a letter sent by Giorgio Abetti to Hale, dated 7 January 1920: "[Let's hope] that 1920 will see the construction of the Solar Tower, which was first discussed about a decade ago when we were fortunate enough to have you in Arcetri. [...] Rather than erecting it on the top of the hill, as we had first thought, the site chosen is the 'Boschetto', amid nice, shady trees between the top and the base of the hill, about 200 meters from the Observatory and the new Physics building" (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

⁵ Giorgio Abetti to Hale, 3 August 1914 (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 10, box 148, folder 2).

⁶ G. Abetti's letter to Hale, dated 10 May 1919, is preserved together with the documents shown in Figs. 1 and 2 in George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7. This article does not show the drawing of the "Sedes Scientiarum" at Arcetri, which is identical to the one presented in Fig. 3 of Bianchi (2017).

La Facoltà, e per deferenza al collega, e per ovviare al pericolo che in avvenire possa essere trascurato un indirizzo, il quale corrisponde alle esigenze moderne della scienza astronomica, e rinnova in Arcetri delle tradizioni gloriose, che risalgono a Galileo, e furono riprese brillantemente nel secolo scorso da Giambattista Donati, ha fatto voti e li ripete perché la nuova attività dell'Osservatorio sia consacrata ufficialmente con la denominazione proposta.

Il nuovo nome, "Osservatorio Astrofisico di Arcetri" fu infine ratificato con Regio Decreto del 12 maggio 1921 (Fig. 3). Antonio Abetti raggiunse i limiti di età nell'estate 1921 e la direzione fu affidata ad interim a Giorgio Abetti; gli venne confermata nel 1925, lo stesso anno in cui fu inaugurata la Torre Solare. Da allora Arcetri si dedicò completamente "alle esigenze moderne della scienza astronomica" e diventò il centro di riferimento per la rinascita dell'astrofisica in Italia (Bianchi 2021).

Note

¹ Si veda Bianchi, Galli & Gasperini (2013). Il 150° della ricorrenza è stato celebrato nel 2019 (Randich & Bianchi, 2020).

² Sulla destinazione prevista da Donati per l'Osservatorio si rimanda a Bianchi & Gasperini (2021).

³ Per l'Istituto di Fisica si veda, e.g., Casalbuoni (2013); per la Torre Solare, Gasperini, Mazzoni & Righini (2004) e Foderà Serio (2005).

⁴ Così scrisse Antonio in italiano, in calce ad una lettera inviata da Giorgio Abetti a Hale il

⁷ G. Abetti, letters to Hale, dated 21 June and 12 July 1919 (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

⁸ "Primo Memoriale" ("First Memorandum"), 14 July 1919 (Archive of the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory, Antonio Abetti Collection, 111 bis, "Torre Solare"). Details on the beginning of the work and Giorgio Abetti's transfer can be found in other documents of the same collection.

⁹ Draft of a typewritten letter to C. Morandi, president of the Secchi Committee. Although the letter is not signed, it was probably written by Garbasso. Indeed it was sent from Via Gino Capponi 3, Florence, the address of the former site of the Physics Laboratory in the city. The letter mentions the support for the request on the part of Antonino Lo Surdo (1880-1949), Garbasso's former colleague who had gone to the University of Rome the year before (Archive of the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory, Antonio Abetti Collection, 111 bis, "Torre Solare").

¹⁰ The handwritten document (undated), the minutes of the Faculty Board Meeting of 29 April 1920, and the letter of the Superintendent of the Institute of Higher Studies of Florence to the Minister of Education, dated 17 August 1920, are preserved in the Historical Archive of the University of Florence, "Carteggi della Soprintendenza," folder 1920/133.

References

Abetti, A. (1915). Sulla precisione delle osservazioni eseguite col Piccolo Meridiano di Bamberg desunta dal Catalogo stellare di Arcetri. In *Atti della Reale Accademia dei Lincei* -

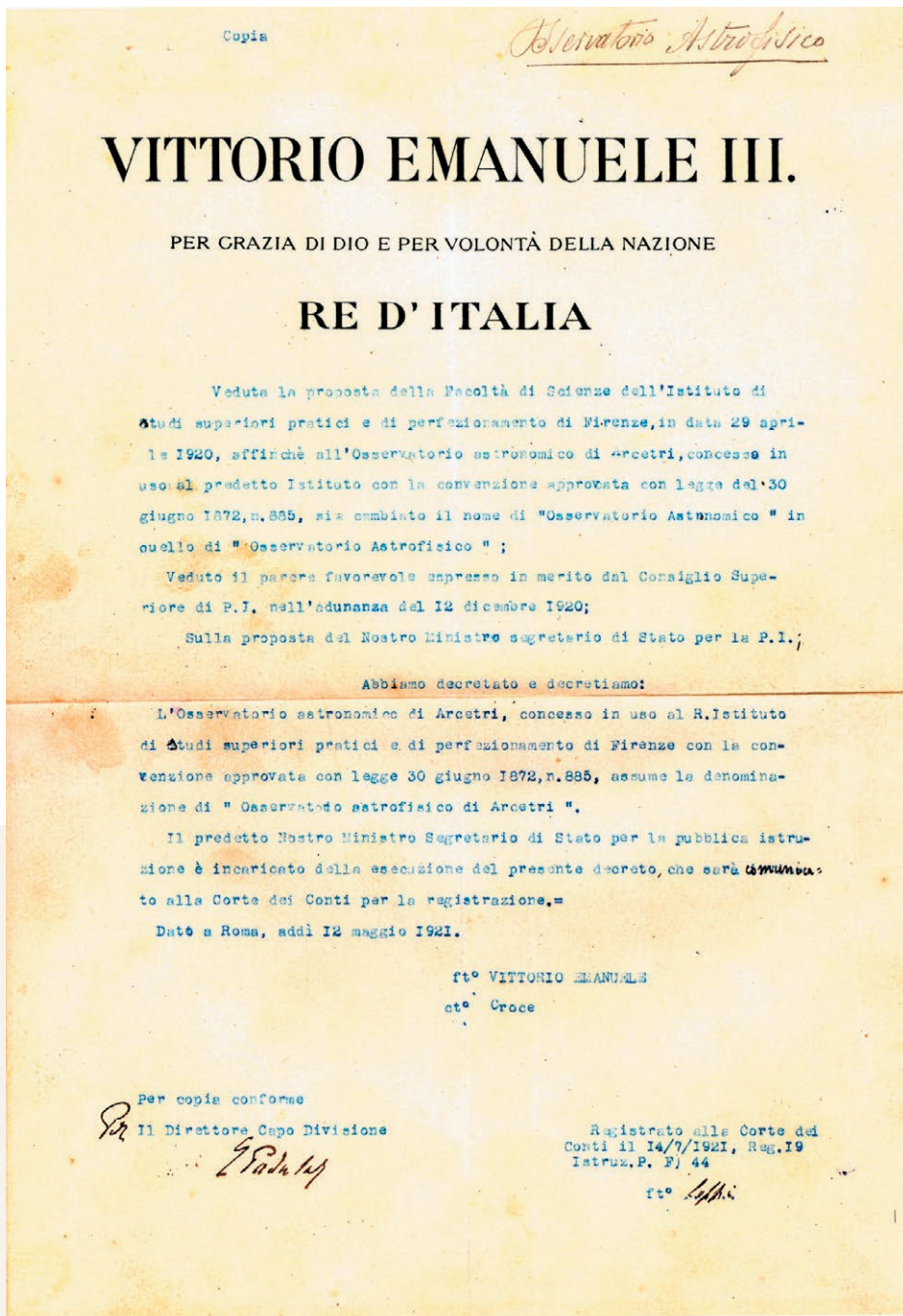


Figura 3. Copia del Regio Decreto 12/5/1921 con cui viene ratificata la denominazione "Osservatorio Astrofisico di Arcetri" (Archivio INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Fondo Giorgio Abetti, 193 bis).

Figure 3. Copy of the Royal Decree of 12 May 1921 ratifying the denomination "Arcetri Astrophysical Observatory" (Archive of the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory, Giorgio Abetti Collection, 193 bis).

7/1/1920: “[speriamo] che nel 1920 sorga quella Torre solare che fu qui discussa circa due lustri addietro, allorquando Ella qui venne per fortuna nostra e di Arcetri [...] Il posto scelto anziché in vetta come dapprima si pensò insieme è al Boschetto fra belle e ombrose piante a 200 metri circa, fra la vetta e la base della collina, dai fabbricati dell’Osservatorio e della nuova Fisica”. (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

⁵ Giorgio Abetti a Hale, 3/8/1914 (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 10, box 148, folder 2).

⁶ La lettera di G. Abetti ad Hale, datata 10/5/1919, si trova, insieme ai documenti mostrati in Fig. 1 e 2 in: George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7. Non viene mostrato in questo articolo il disegno della “Sedes Scientiarum” ad Arcetri, identico a quello mostrato in Fig. 3 di Bianchi (2017).

⁷ Lettere di G. Abetti a Hale, datate 21/6 e 12/7/1919 (George Ellery Hale Papers, California Institute of Technology Archives and Special Collections, Pasadena; series 1, box 1, folder 7).

⁸ “Primo Memoriale”, 14/7/1919 (Archivio INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Fondo Antonio Abetti, 111 bis, “Torre Solare”). I dettagli sull’inizio dei lavori ed il trasferimento di G. Abetti si trovano in altri documenti nella stessa collocazione.

⁹ Minuta di lettera dattiloscritta a C. Morandi, presidente del Comitato Secchi, datata 10/7/1920. Sebbene non firmata, la lettera fu verosimilmente scritta da Garbasso: venne infatti inviata da Via Gino Capponi, n. 3, Firenze, indirizzo della vecchia sede del Laboratorio di Fisica in città. Nella lettera si ricorda il supporto alla richiesta da parte del fisico Antonino Lo Surdo (1880-1949), già collega di Garbasso a Firenze e passato all’Università di Roma l’anno precedente (Archivio INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Fondo Antonio Abetti, 111 bis, “Torre Solare”).

Rendiconti della Classe di Scienze Fisiche Matematiche e Naturali, 24(313), pp. 313-317.
Bianchi, S. (2017). The Electrical Institute at the Podere della Cappella. *Il Colle Di Galileo*, 6(2), 15-31.

Bianchi, S. (2021). The Ups and Downs (and Ups Again!) of Astrophysics in Italy After Secchi. In Chinnici, I., Consolmagno, G. (eds.), *Angelo Secchi and Nineteenth Century Science*, Cham, Springer. Cap. 18, pp. 305-322.

Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2013). Le due inaugurazioni dell’Osservatorio di Arcetri. *Giornale di Astronomia*, 39(3), 19-30.

Bianchi, S., Gasperini, A. (2017). Tutta colpa della radio ovvero Giuseppe Lorenzoni ad Arcetri. *Giornale di Astronomia*, 43(4), 40-43.

Bianchi, S., Gasperini, A. (2021). Arcetri: 100 anni da Osservatorio “Astrofisico”. *Giornale di Astronomia*, 48(2), 49-52.

Bònoli, F., Mandrino, A. (2021). The Unfulfilled “Secchi Monument” at Reggio Emilia. In Chinnici, I., Consolmagno, G. (eds.), *Angelo Secchi and Nineteenth Century Science*, Cham, Springer. Cap. 17, pp. 279-303.

Casalbuoni, R. (2013). L’Istituto di Fisica in Arcetri. *Il Colle Di Galileo*, 1(1-2), 89-105.

Chinnici, I. (1997). La Società degli Spettroscopisti Italiani e la fondazione di The Astrophysical Journal nelle lettere di G. E. Hale a P. Tacchini. In Tucci, P. (ed.), *Atti del XVI Congresso di Storia della Fisica e dell’Astronomia*, Como, 1996. pp. 299-321.

Foderà Serio G. (2005). Giorgio Abetti and the Arcetri solar tower. In *Cento anni di astrono-*

¹⁰ Il documento manoscritto, non datato, il verbale della seduta del Consiglio di Facoltà del 29/4/1920 e la lettera del Soprintendente dell'Istituto di Studi Superiori di Firenze al Ministero dell'Istruzione, del 17/8/1920, si trovano in: Archivio Storico dell'Università degli Studi di Firenze, Carteggi della Soprintendenza, fascicolo 1920/133.

Bibliografia

- Abetti, A. (1915). Sulla precisione delle osservazioni eseguite col Piccolo Meridiano di Bamberg desunta dal Catalogo stellare di Arcetri. In *Atti della Reale Accademia dei Lincei - Rendiconti della Classe di Scienze Fisiche Matematiche e Naturali*, 24(313), pp. 313-317.
- Bianchi, S. (2017). The Electrical Institute at the Podere della Cappella. *Il Colle Di Galileo*, 6(2), 15-31.
- Bianchi, S. (2021). The Ups and Downs (and Ups Again!) of Astrophysics in Italy After Secchi. In Chinnici, I., Consolmagno, G. (eds.), *Angelo Secchi and Nineteenth Century Science*, Cham, Springer. Cap. 18, pp. 305-322.
- Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2013). Le due inaugurazioni dell'Osservatorio di Arcetri. *Giornale di Astronomia*, 39(3), 19-30.
- Bianchi, S., Gasperini, A. (2017). Tutta colpa della radio ovvero Giuseppe Lorenzoni ad Arcetri. *Giornale di Astronomia*, 43(4), 40-43.
- Bianchi, S., Gasperini, A. (2021). Arcetri: 100 anni da Osservatorio "Astrofisico". *Giornale di Astronomia*, 48(2), 49-52.

mia in Italia (1860-1960), pp. 333-343. Bardi Editore: Roma.

- Garbasso, A. (1916). La tradizione del pensiero toscano: discorso inaugurale letto nella Sala di Luca Giordano nel palazzo mediceo Riccardi il 6 novembre 1916. *Annuario del R. Istituto di studi superiori pratici e di perfezionamento in Firenze*, 1916-1917, pp. 1-23.
- Gasperini, A., Mazzoni, M., & Righini, A. (2004). La costruzione della Torre Solare di Arcetri nel carteggio Hale-Abetti. *Giornale di Astronomia*, 30(3), 23-30.
- Randich, S., Bianchi, S. (2020). I 150 anni dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri. *Il Colle di Galileo*, 2020, 9(2), 5-26.

Simone Bianchi is an astronomer at INAF-OAA. He studies dust grains in the interstellar medium of galaxies. He is also interested in the history of his institute, in particular in its beginnings.

- Bònoli, F., Mandrino, A. (2021). The Unfulfilled “Secchi Monument” at Reggio Emilia. In Chinnici, I., Consolmagno, G. (eds.), *Angelo Secchi and Nineteenth Century Science*, Cham, Springer. Cap. 17, pp. 279-303.
- Casalbuoni, R. (2013). L'Istituto di Fisica in Arcetri. *Il Colle Di Galileo*, 1(1-2), 89-105.
- Chinnici, I. (1997). La Società degli Spettroscopisti Italiani e la fondazione di The Astrophysical Journal nelle lettere di G. E. Hale a P. Tacchini. In Tucci, P. (ed.), *Atti del XVI Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Como, 1996. pp. 299–321.
- Foderà Serio G. (2005). Giorgio Abetti and the Arcetri solar tower. In *Cento anni di astronomia in Italia (1860-1960)*, pp. 333–343. Bardi Editore: Roma.
- Garbasso, A. (1916). La tradizione del pensiero toscano: discorso inaugurale letto nella Sala di Luca Giordano nel palazzo mediceo Riccardi il 6 novembre 1916. *Annuario del R. Istituto di studi superiori pratici e di perfezionamento in Firenze*, 1916-1917, pp. 1-23.
- Gasperini, A., Mazzoni, M., & Righini, G. (2004). La costruzione della Torre Solare di Arcetri nel carteggio Hale-Abetti. *Giornale di Astronomia*, 30(3), 23–30.
- Randich, S., Bianchi, S. (2020). I 150 anni dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri. *Il Colle di Galileo*, 2020, 9(2), 5-26.

Simone Bianchi è astronomo presso INAF-OAA. Si occupa dello studio delle polveri nel mezzo interstellare delle galassie e si interessa alla storia del suo istituto, in particolare quella degli esordi.

Massimo Mazzoni

Arcetri, 1934: una nuova via per le Scienze

Arcetri, 1934: A new road for the Sciences

Fondazione Osservatorio Ximeniano - Firenze

Riassunto. L'attuale accesso al comprensorio di Arcetri, area dedicata alla ricerca scientifica già da fine '800, deve la sua finale sistemazione ad un intervento del 1933-34, attuato soprattutto grazie all'interessamento del Direttore dell'Istituto di Ottica, il fisico Vasco Ronchi. L'opera fu realizzata con una lunga disputa burocratica con l'Intendenza di Finanza e in polemica con la Facoltà di Scienze, ma con l'appoggio del Rettore De Vecchi. Si ricostruiscono le fasi della vicenda attraverso i documenti dell'Archivio Storico dell'Università degli Studi di Firenze.

Parole chiave. Istituti di Arcetri, V. Ronchi, A. Garbasso, B. De Vecchi, Via Pian dei Giullari.

Il carattere scientifico del colle di Arcetri è dovuto ad un limitato numero di scienziati che, o per l'influsso galileiano del luogo¹ o per opportunità logistica, negli anni ne hanno promosso lo sviluppo: primo ad insediarsi, alla fine del 1872, fu il pisano Giovan Battista Donati (1826-1873), fondatore dell'Osservatorio Astronomico, seguito da due padovani: Abetti Antonio (1846-1928) e Giorgio (1882-1982), padre e figlio, che favorirono l'affermarsi dell'Astrofisica italiana sulla tradizionale Astronomia di posizione. Mezzo secolo più tardi troviamo, per la Fisica Antonio Garbasso (1871-1933), scienziato con interessi letterari e noto personaggio politico, che auspicava la realizzazione di un Polo scientifico mul-

Summary. The current access road to the Arcetri hill, an area that has been dedicated to scientific research since the late 19th century, was given its final shape during work performed in 1933-34. The project was carried out above all thanks to the involvement of the Director of the Optics Institute, the physicist Vasco Ronchi. The work took place following a long bureaucratic struggle with the Intendenza di Finanza, the agency in charge of state property, and with the Faculty of Sciences, although the project had the support of the Chancellor De Vecchi. On the strength of documents from the Historical Archive of the University of Florence, we are able to reconstruct the stages of the operation.

Keywords. Arcetri Institutes, V. Ronchi, A. Garbasso, B. De Vecchi, Via Pian dei Giullari.

The Arcetri hill acquired its current scientific vocation thanks to the efforts of a small number of scientists, who gave the area its imprint beginning in the second half of the 19th century.



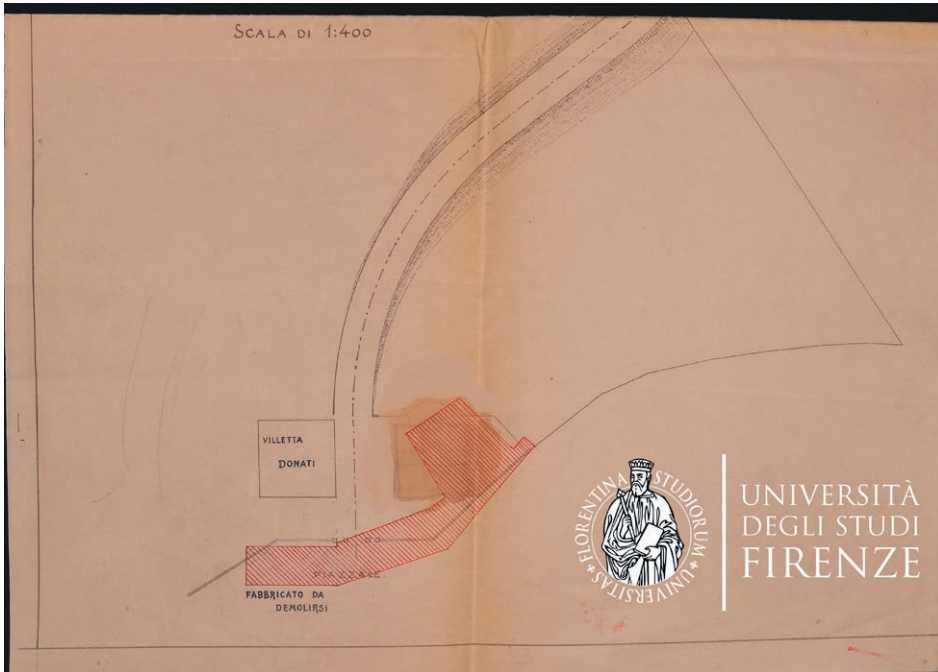


Figura 1. Planimetria della Villa Donati e del rustico prima dei lavori. ASUF, Fondo Amministrazione centrale, Sezione Affari generali, filza 612, anno 1932, fasc. 29.

Figure 1. Plan of Villa Donati and the farmhouse before the project. Source: ASUF, Central Administrative Fund, General Affairs Section, file 612, year 1932, folder 29.

The choice of this location was motivated by its connection with Galileo¹ as well as for logistical reasons. The first of these protagonists to establish themselves on Arcetri was Giovan Battista Donati (1826-1873), founder of the Astronomical Observatory. He was followed by two astronomers from Padua: Antonio (1846-1928) and Giorgio (1882-1982) Abetti, father and son, who promoted the status of Italian Astrophysics over traditional positional astronomy. Half a century later, Antonio Garbasso (1871-1933) became the key figure behind the fortunes of Arcetri: a physicist with literary interests as well as a well-known politician, Garbasso worked for the establishment of a multidisciplinary scientific complex in the area. This project would be realized, though only much later, namely at the beginning of the new millennium and not on Arcetri but in the neighboring municipality of Sesto Fiorentino. The final key figure of the story of Arcetri is the Florentine Vasco Ronchi (1897-1988), who left his mark in the 1930's. Ronchi headed the National Institute of Optics, which was founded on the strength of his clear and determined awareness of the role that the discipline would play among the various branches of physics, which were emerging with great success during the first decades of the 20th century. The same holds true for the beginnings of the European Laboratory for Non-linear Spectroscopy (LENS) in the last '90s.

In some cases, these men were able to accomplish even greater feats, even altering the hill's scenographic appearance. This was especially true of Garbasso, whose great appreciation of Florentine culture, in particular the Renaissance, spurred him to promote the construction of a research institute on Arcetri based on the traditional canons of Tuscan villas, with an

tidisciplinare in quell'area; questo avverrà davvero, però molto tempo dopo, ossia all'inizio del terzo millennio e non in quel luogo, ma nel limitrofo comune di Sesto Fiorentino. Infine negli anni '30 il fiorentino Vasco Ronchi (1897-1988) per l'Istituto Nazionale di Ottica, ente nato dalla sua consapevolezza, tanto chiara quanto fortemente determinata, del ruolo che quella disciplina doveva assumere tra le altre branche della Fisica, emergenti con grande successo in quei primi decenni del '900. E un discorso simile si potrebbe fare, nei recenti anni '90, anche per le radici del Laboratorio Europeo di Spettroscopia Non-lineare: LENS, dall'acronimo inglese.

Qualcuno di loro è stato capace di fare anche di più, modificando perfino l'aspetto scenografico del colle: si trattò principalmente del piemontese Garbasso, il cui apprezzamento profondo della cultura fiorentina, in particolare di quella rinascimentale, lo spinse a farvi edificare un Istituto di ricerca conforme ai canoni tradizionali delle ville toscane, con tanto di loggiato, chiostro con pozzo centrale, e dipinti allegorici (Mazzoni, Alvisi 2017). L'altro volitivo personaggio è stato Ronchi che, riuscito a far costituire un centro per la didattica e la ricerca in Ottica², unico del genere in Italia, ed incaricato della sua direzione fin dall'inizio nel 1930, pochi anni dopo applicò la propria visione di rinnovamento anche ai pur ridotti aspetti della viabilità locale all'interno del comprensorio universitario: «La trasformazione di quel paesaggio è stata una mia iniziativa» affermerà molti anni dopo (Ronchi 1978, p.485). Pur essendo stato un evento marginale e non scientifico, per la conoscenza della storia del Colle vale la pena seguire brevemente questa singolare vicenda³ che andò oltre il semplice intervento architettonico.

arcade, a courtyard with a central well and allegorical paintings (Mazzoni, Alvisi 2017). The other key figure in this regard was Ronchi, strong-willed, who managed to build a teaching and research center for optics,² the only one of its kind in Italy, which he directed from the beginning of 1930. Several years later, he applied his vision for renovation to other, less important aspects, in particular the question of local access within the university complex: "The transformation of that landscape was one of my initiatives" he said many years later (Ronchi 1978, p. 485). Although we are dealing with a non-scientific, marginal event, this unique episode³ is worth briefly including in the reconstruction of the history of Arcetri, as it had implications that went beyond simple architectural issues.

The project began in 1932 through the normal institutional channels. In July the Chancellor communicated to the *Intendenza di Finanza* that "to improve the aesthetic conditions of Villino Donati, located in Via San Leonardo⁴ 39, this Royal University has decided to demolish the old building facing the villa that was formerly used as a farmhouse." In addition to improving the aesthetics of the area, the decision was dictated "by the deplorable conditions of the building in question, both from structural and hygienic points of view." The University had certainly made up its mind, yet the area was – and still is – State property.

Starting from this decision, the events leading up to the creation of the current entrance, which today appears in perfect harmony with the surrounding area, were the fruit of heated confrontation between various agents, including the bureaucracy, the stages of which are recorded in a lengthy written protocol. To understand this episode, we must begin with a descrip-

La procedura fu avviata nel 1932, attraverso i regolari canali istituzionali: a luglio il Rettore comunica all'Intendenza di Finanza che «per migliorare le condizioni estetiche del Villino Donati posto in Via San Leonardo⁴ 39 questa R. Università è venuta nella determinazione di abbattere il vecchio fabbricato, di uso ex colonico antistante al villino stesso». La determinazione era dettata, oltre che dal miglioramento della residenza, «dalle condizioni deplorable del fabbricato in questione, sia dal punto di vista statico e dal punto di vista igienico». L'Università aveva certamente fatto la sua scelta, però tutto era, ed è, di proprietà demaniale.

Partendo da quella decisione, come e perché si arrivi all'attuale ingresso, che oggi appare comunque in piena sintonia col resto, fu il risultato di un serrato confronto, anche burocratico, tra vari attori, articolato in un lungo carteggio protocollato; non può essere completamente compreso se non ci si rende conto dell'assetto ambientale all'epoca, quale risulta dal progetto allegato al piano originale dei lavori e parzialmente riprodotto in Fig. 1.

Come è evidente dalla planimetria, sulla sinistra c'è la villa che fu abitazione dell'astronomo Donati⁵, mentre a tratto rosso è indicato il grande fabbricato colonico da demolire, insieme ad un po' di terreno coltivato di pertinenza. Si ricordi infatti che inizialmente tutta l'area costituiva il podere demaniale "*La Cappella*", poi dato in concessione perpetua all'Università (Bianchi 2017); soppresso il podere, la casa colonica era stata «provvisoriamente adattata ad uso di abitazione civile». Sulla sommità del colle era stato costruito, grazie a Donati, l'Osservatorio astronomico quando l'installazione dell'illuminazione pubblica cittadina aveva compromesso le osservazioni celesti⁶ fatte alla Specola lorenese, e gli astronomi erano

tion of the layout of the area at the time, which was shown in an attachment to the original plan for the project. We present in Fig. 1 a partial reproduction of that drawing.

As can be seen from the plan, on the left side lay the villa which was the residence of the astronomer Donati⁵, while the red figure indicates the large farmhouse to be torn down as well as some attached farmland. We must bear in mind that initially the entire area formed the royal farmstead called *La Cappella*, which was then given to the University as a perpetual grant (Bianchi 2017). Once the farmstead fell out of use, the farmhouse was "provisionally converted to a civil residence." Thanks to Donati, the astronomical observatory was built on the highest point of the hill after the installation of street illumination in the city compromised celestial observations⁶ at La Specola, forcing astronomers to immediately move outside the city. Traditionally, the director of the astronomical observatory lived near his place of work, in this case in the villa named after Donati. In his letter to the *Intendenza*, the Chancellor called the historical building a "structure of rather recent construction." Here lived Ronchi⁷ and a certain Marucelli as tenants; yet "to reach the building the inhabitants were forced to pass through [the former farmhouse]." Today's Largo Enrico Fermi, then, did not reach the university complex; indeed, from the start access to the Institutes of Physics and Astronomy could only be gained through a gate located higher up the hill on the road then named Via del Pian dei Giullari,⁸ which gives onto an internal lane. The same route is sometimes still used today. At that point the street, which is quite narrow, is rather steep, and the gate opens onto a curve with no visibility, making for an inconvenient entrance, especially for daily use.

stati costretti a trasferirsi subito fuori città. Tradizionalmente, il Direttore di un Osservatorio astronomico abitava in prossimità dello stesso: nella villa poi detta Donati, appunto. In questo edificio storico, che il Rettore nella comunicazione all'Intendenza definisce una «costruzione che risale a non molti anni fa», vivevano come affittuari Ronchi stesso⁷ e tale Marucelli: ma «gli inquilini sono costretti a transitare per accedervi» attraverso l'ex casa colonica. Dunque, l'attuale Largo Enrico Fermi non era in comunicazione con l'ex potere universitario, e l'accesso agli Istituti di Fisica e Astronomia avveniva fin dall'inizio, e avviene occasionalmente ancora adesso, attraverso un cancello posto più in alto, sull'allora via del Pian dei Giullari⁸, che introduce ad un vialetto interno. In quel punto la strada, piuttosto stretta, ha una discreta pendenza e il cancello si apre su una curva senza visibilità: un ingresso disagiata, specialmente per l'uso quotidiano. Vi era quindi un doppio interesse a modificare l'esistente: da un lato Ronchi otteneva una miglior sistemazione della sua residenza, oltre a vantaggi minori specificati in seguito, tanto che era disposto a farsi carico personalmente della spesa per la demolizione della colonica; dall'altro lato l'Università poteva sfruttare l'eliminazione di un bene ministeriale, atto non ovvio ed oltretutto gratuito, per offrire un collegamento di maggior respiro verso tutti gli Istituti, compreso quello di Ottica. Infatti, prosegue la lettera rettorale, «abbattendolo si viene a mettere in diretta comunicazione con la via il villino retrostante, lo si doterebbe di un piccolo giardino [grazie al terreno liberato e recintato] ed usufruendo di alcuni muri del fabbricato da demolirsi, lo si doterebbe anche di un garage, indispensabile oggi ad una costruzione di carattere signorile quale il villino Donati», visto che il centro città non è affatto vicini-

Thus, the parties concerned had a dual interest in modifying the arrangement of the complex: on the one hand, the layout of Ronchi's residence would be improved, in addition to bringing him several other minor advantages that will be described below; indeed he was willing to personally bear the expense for the demolition of the farmhouse. On the other hand, the University could take advantage of the elimination of a ministerial asset, which was not always easy to achieve, at no expense to itself: the modification would provide for more advantageous connections between all the institutes, including that for Optics. In fact, the Chancellor's letter continues, "tearing it down would place the villa in direct communication with the road and allow it to have a small garden [from the currently fenced-off land]. Using some walls of the building to be demolished, it would also be given a garage, which is necessary nowadays for a noble residence such as the Villino Donati" – given that the city center is not at all close by. At the same time, "the condition [of the farmhouse] is such that the rent received does not even cover maintenance costs." Furthermore, the estimated costs for the work to restructure it "could not be justified from any point of view." The purpose of the old postcard from the beginning of the century reproduced above was to show the barracks – today occupied by the Polizia di Stato – but in the background the square of Pian de' Giullari is clearly visible. It is closed on the southeast by the long farmhouse, behind which rises the small tower of Villa Donati. Evidently the photo was taken before the 1930's.

Before answering the Chancellor, the *Intendenza* asked for the opinion of the lead engineer of its Technical Office, whose report was ready in September. The document resolved several

no. D'altra parte, per il rustico «le condizioni sono tali che l'affitto ricavato non è neppure sufficiente a coprire le spese di manutenzione», ed un'eventuale spesa di ripristino per i tanti lavori «non sarebbe giustificata sotto nessun punto di vista».

La vecchia cartolina d'inizio secolo riprodotta qui sopra ha lo scopo di mostrare la caserma, oggi assegnata alla Polizia di Stato, ma in secondo piano si vede bene la piazzetta Pian de' Giullari chiusa a sudest dalla lunga casa colonica dietro la quale spunta l'altana della villetta Donati. Evidentemente la fotografia è stata scattata prima degli anni '30.

Prima di rispondere al Rettore l'Intendenza richiede il parere dell'ingegnere capo del proprio Ufficio Tecnico, la cui relazione è pronta a settembre e che puntualizza alcune questioni: effettivamente il rustico «è di uso promiscuo come passaggio alla retrostante corticella» dove si trova il villino e «la progettata demolizione non deprezza il fondo», inoltre va bene anche la costruzione di un muro tra via San Leonardo e l'area demaniale, ma il prof. Vasco Ronchi «o chi per esso» dovrà pagare, oltre ai lavori da lui richiesti, anche i mancati introiti demaniali provenienti dai due canoni di locazione, nonché della riduzione di quello per il podere⁹. Tali importi graveranno sul suo affitto, ma in cambio gli vengono garantiti sei anni di permanenza nel villino. Queste le valutazioni tecnico-economiche dell'ingegnere. A dicembre affiora però qualche perplessità: l'Intendente di Finanza obietta che la demolizione di tale rustico era stata prospettata dall'U-



Figura 2. Cartolina d'inizio XX secolo di piazza del Pian dei Giullari. Si noti sullo sfondo il casolare da demolire, antistante la Villa Donati. (Proprietà dell'autore).

Figure 2. Postcard from the early 20th century of the square of Pian dei Giullari. Note the farmhouse to be demolished in the background, opposite Villa Donati. Source: Author's property.

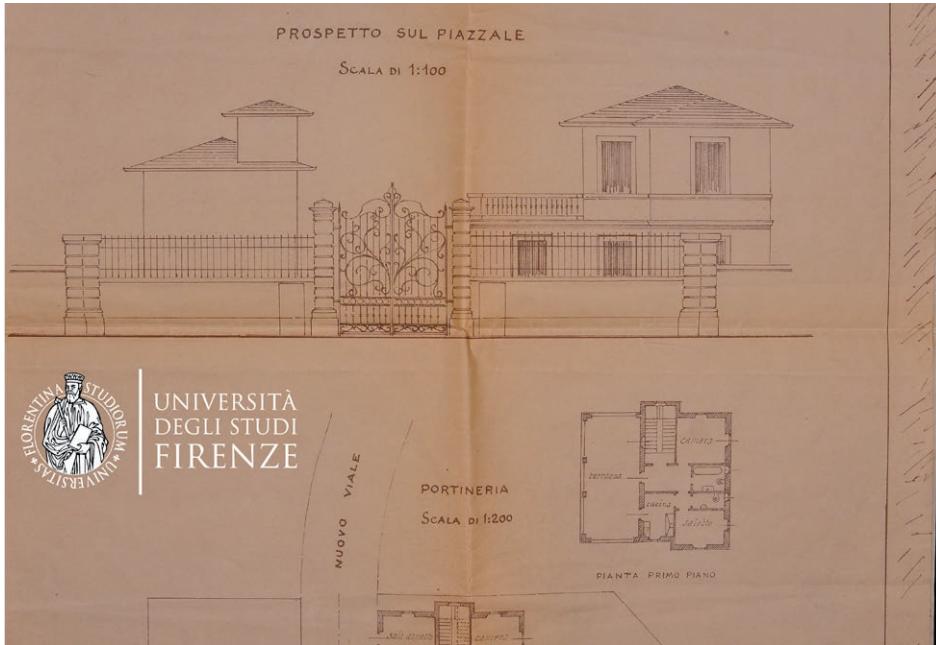


Figura 3. Progetto della nuova portineria, sulla destra: sarà realizzata invece un'abitazione ad un solo piano. A sinistra l'esistente Villa Donati. ASUF, Fondo Amministrazione centrale, Sezione Affari generali, filza 612, anno 1932, fasc. 29

Figure 3. Project for the new porter's lodge, on the right. The actual building would consist of only one story. The existing Villa Donati is shown on the left. Source: ASUF, Central Administrative Fund, General Affairs Section, file 612, year 1932, folder 29.

outstanding questions: the farmhouse was indeed a building "with multiple functions and used as a passageway to the small courtyard to the back" where the small villa is located; in addition, "the proposed demolition does not depreciate the property." The report went on to approve the construction of a wall between Via San Leonardo and the royal property, although Prof. Vasco Ronchi "or someone on his behalf" would have to pay not only for the work that he was requesting but also compensate the lost royal income from the two rent contracts and from the reduced rent for the farmstead.⁹ These payments would be added to his own rent, but in return he would be guaranteed a six-year stay at the villa.

These were the technical and economic recommendations made by the engineer. In December, however, several reservations were expressed: the *Intendente di Finanza* objected that the demolition of the farmhouse was proposed by the University by its Chancellor as if it were in the State's interest to carry out aesthetic improvements on Villa Donati, while the technical report of September stated that the demolition and restructuring were desired by "one of the two tenants" of the villa, namely Prof. Ronchi. The agency therefore asked for "prompt clarifications in this regard" before it was able to approve the request for modifications.

As early as January 1933, Chancellor Bindo (Matteo) De Vecchi¹⁰ replied that the project in question actually formed part of a broader "Renovation Plan" of the University of Florence (Gurrieri, Zangheri 2004, p. 45), which envisioned that "other scientific institutes of the Department of Sciences were to be constructed on the remaining land."¹¹ We must further bear in mind that access to the Physics and Optics buildings was gained from Via del Pian dei Giul-

niversità, per voce del Rettore, come se fosse nell'interesse dello Stato apportare un miglioramento estetico al villino Donati, mentre dalla relazione tecnica di settembre risulta che abbattimento e risistemazione siano voluti da «uno dei due inquilini» del villino stesso, ossia dal prof. Ronchi, e quindi chiede «opportuni chiarimenti in proposito» prima di poter accogliere la richiesta delle modifiche.

Già a gennaio del '33 il Rettore Bindo De Vecchi fu Matteo¹⁰, così si presenta, replica che l'intervento locale fa realmente parte del suo più ampio "*Piano di rinnovamento*" dell'Ateneo fiorentino (Gurrieri, Zangheri 2004, p. 45), tant'è vero che «sul terreno rimanente dovranno sorgere altri edifici per Istituti scientifici della Facoltà di Scienze»¹¹; si consideri inoltre che l'accesso a Fisica ed Ottica è da via del Pian dei Giullari «strada secondaria e con difficile percorso, mentre l'accesso vero e naturale è quello che sbocca sulla piccola Piazza Pian dei Giullari, ingresso attualmente chiuso dall'esistenza del fabbricato in discussione»: quello colonico, appunto. Il lavoro «pur essendo fatto a spese del prof. Ronchi, ritorna a vantaggio esclusivamente di questa Università che vedrebbe, per opera del prof. Vasco Ronchi, facilitata la sistemazione di cui sopra». Sottolinea il Rettore che tale programmata «definitiva sistemazione era stata rimandata a miglior tempo [solo] per ragioni economiche».

Nelle stesse settimane, l'Intendenza insiste a puntualizzare per iscritto ancora qualche aspetto, ossia che «alcune opere di miglioramento e sistemazione saranno eseguite dal prof. Ronchi a sue spese»: i lavori di demolizione e ricostruzione dell'abitazione del colono, antistante il villino Donati e che è un «casolare rustico di 8 vani, sviluppato su due piani e denunciato in cattive condizioni edilizie, del

lari, "a secondary road that is traveled with difficulty, while the true and natural access is that which comes off the small Piazza Pian dei Giullari, an entranceway which is currently closed because of the presence of the building in question [the farmhouse]. ... Even if the work will be at the expense of Prof. Ronchi, the exclusive beneficiary of the project is the University, which will derive advantage from the new layout, thanks to the efforts of Prof. Vasco Ronchi." The Chancellor emphasized that the "definitive arrangement had been postponed to better times [only] for economic reasons."

During those same weeks, the *Intendenza* sent other letters insisting on certain points, namely that "some improvements will be carried out by Prof. Ronchi at his expense." What of course was meant was the demolition and reconstruction of the farmhouse facing Villa Donati – a "country house with eight rooms on two floors, which has been reported as being in poor condition, of a value of 11,000 lire"¹² – to be carried out "without claims or compensation" by the professor, yet under the supervision of the Technical Office of the *Intendenza*. The demolition would bring notable advantages to the royal property, especially after several works of improvement were completed, which for once would not be paid for with public monies. For this reason, the Ministry did not oppose the project, as long as the concession to Prof. Ronchi was formalized on the basis of what the ministerial agencies had determined. Above all, Ronchi had to recognize that everything would remain "the property of the State in spite of any improvements made to the buildings through the project works." It would then be up to the University to regulate its relationship with Ronchi about using the buildings in question. De

valore di 11000 lire¹²», sono da svolgere «senza pretese e compenso» da parte del professore, e comunque sotto la sorveglianza dell'Ufficio Tecnico dell'Intendenza. Da tale demolizione sarebbero derivati notevoli vantaggi alla proprietà demaniale, proprio in seguito ad alcune opere di miglioramento e di sistemazione pagate, una volta tanto, con denaro non pubblico. Per questo motivo il Ministero non è contrario al progetto, purché si formalizzi la concessione al prof. Ronchi secondo quanto stabilito dagli uffici ministeriali. Soprattutto egli dovrà riconoscere che tutto rimane «di proprietà del demanio qualunque miglioria sarà apportata agli immobili con detti lavori». Spetterà poi all'Università regolarizzare nel seguito i suoi rapporti col Ronchi circa l'utilizzazione degli immobili stessi. De Vecchi risponde garantendo che il docente ha ben presenti tutte queste implicazioni, e che le accetta: verrà stipulata anche una convenzione tra le parti. Che in realtà non sarà mai formalizzata.

Sembra tuttavia che non ogni aspetto venga specificato come di dovere, poiché a maggio l'Intendenza scrive di nuovo al Rettore ritenendo che non sia ancora del tutto chiaro, neppure dal preventivo, quali opere vorrà realizzare Ronchi sul suolo del rustico abbattuto, e che comunque la demolizione avverrà soltanto se il professore si impegna ad iniziare i lavori e a concluderli entro un anno dalla stessa.

All'ASUF esiste un accordo scritto, ma non datato, tra Ronchi e l'Università sulla suddivisione degli oneri: a carico del docente, oltre alla demolizione, sono l'innalzamento di un muro sul lato della pubblica via di San Leonardo, sul tratto oggi Largo Fermi, la costruzione di un garage e la realizzazione di un giardinetto. Insomma, quelli che oggi si chiamerebbero *fringe benefits*.

Vecchi answered that he could guarantee that the professor well understood the implications of his involvement and accepted them, and that an agreement would be formalized between the parties. Such an agreement, however, was never made.

Nonetheless, it appears that not all the details were specified as they should have been: in May the *Intendenza* again wrote to the Chancellor, stating that some uncertainties remained, including the estimate and the nature of the work that Ronchi wished to carry out on the ground of the demolished farmhouse. In addition, the agency specified that the demolition could take place only if the professor was committed to beginning and finishing the work within one year.

The archive at ASUF contains a written agreement, undated, between Ronchi and the University regarding the allocation of expenses: in addition to the demolition, the professor was to pay for the construction of a wall on the side of the public Via San Leonardo (part of today's Largo Fermi), the construction of a garage, and the creation of a small garden – in other words, for what today would be called fringe benefits.

Before beginning with the project, around mid-June 1933 De Vecchi asked the faculty of the Department of Sciences to deliberate on the modification of the entrance, a proposal which was already put forth in the previous decade. The faculty, however, expressed “a decidedly negative opinion” (Ronchi 1978, p. 486). We do not know the reason for their decision because it has not been possible to track down the minutes of that meeting.

In spite of this verdict, several weeks later, exactly a year after the beginning of contacts with the agency, the Chancellor give confirmation to the *Intendenza*: “Due to developments

Prima di proseguire, circa a metà giugno del '33, De Vecchi invita la Facoltà di Scienze a deliberare sull'intervento di modifica all'ingresso, che almeno come ipotesi risaliva già al decennio precedente. Tuttavia la Facoltà esprime «un parere decisamente negativo» (Ronchi 1978, p. 486). Non ne sappiamo la ragione, perché non è stato possibile rintracciare il verbale della seduta.

Nonostante tale pronunciamento il Rettore, poche settimane dopo e ad un anno esatto dall'inizio dei contatti, conferma all'Intendenza che «visto lo sviluppo avuto in questi ultimi anni dall'Istituto di Fisica, Astrofisica ed Ottica, questa R. Università ha deciso di procedere alla definitiva sistemazione dell'accesso a detti Istituti con un viale che attraversando il podere *La Cappella* di proprietà demaniale, ma in uso perpetuo a questa R. Università, unisca gli Istituti medesimi con il piazzale del Poggio Imperiale ove sorgerà un cancello e il locale di portineria ... [per questo] è necessario l'abbattimento dei fabbricati colonici addetti al podere, al posto dei quali sorgerà il fabbricato ad uso portineria».

Dunque la motivazione ufficiale è la crescita di quegli Istituti scientifici. Lo stesso giorno si invia, con molte meno giustificazioni, la lettera di disdetta all'affittuario della casa e delle pertinenze agricole, il colono Ettore Sestini, che l'aveva parzialmente occupata «per i propri bisogni» e per beneficiare del terreno coltivato; stessa disdetta anche per gli altri locali, dati a pigione per abitazione a certo Favilli Giuseppe¹³. Si comunica al colono che i lavori di sterro e il tracciamento del nuovo viale inizieranno subito, mentre per il casolare c'è tempo fino al 1° novembre, ma che nel frattempo, «a titolo di compenso per la risoluzione in tronco del contratto», il Sestini non deve pagare più l'affitto e può sfruttare gratuitamente

over the last few years regarding the Institutes of Physics, Astronomy and Optics, this Royal University has decided to proceed with the definitive rearrangement of the access way to these Institutes by means of an avenue which crosses the *La Cappella* farmstead, which is owned by the State although it was given to this Royal University in perpetual concession, and which connects the Institutes with the *Piazzale del Poggio Imperiale*, where there is a gate and the porter's lodge. ... [For this reason,] the farm buildings on the farmstead must be torn down; a new porter's lodge will be built in its place."

The official reason for the project, then, was the expansion of the scientific institutes. The same day, the University sent its notice to the lessee of the farmhouse and the connected buildings, Ettore Sestini, with truly little in the way of justification. Sestini had partially occupied the house "for his own needs" and to take advantage of the arable land. The same notice was also given for the other buildings, which had been rented as living quarters to a certain Giuseppe Favilli.¹³ The University informed Sestini that work of excavating and laying out the new avenue would begin immediately, while demolition of the farmhouse would not start until November 1. In the meantime, "in the way of compensation for the sudden termination of the contract," Sestini would not have to pay rent and could use the farm until that date free of charge, as long as "the existing vegetation is properly preserved." Three days later, 6 July 1933, the lessee answered that he accepted the agreement without objections.

These issues having been resolved, at the end of the month the University signed the contract with the construction company Bonamici¹⁴ for the creation of the access road, which "starting

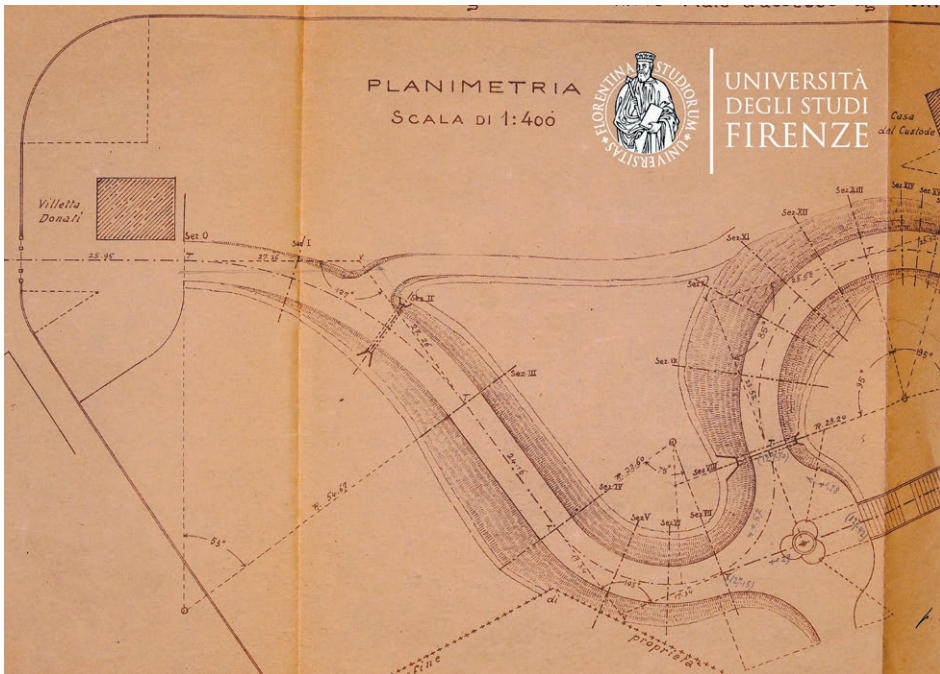


Figura 4. Progetto d'insieme del nuovo assetto viario per l'ingresso. ASUF, Fondo Amministrazione centrale, Sezione Affari generali, filza 612, anno 1932, fasc. 29.

Figure 4. Overall project for the new road layout for the entrance. Source: ASUF, Central Administrative Fund, General Affairs Section, file 612, year 1932, folder 29.

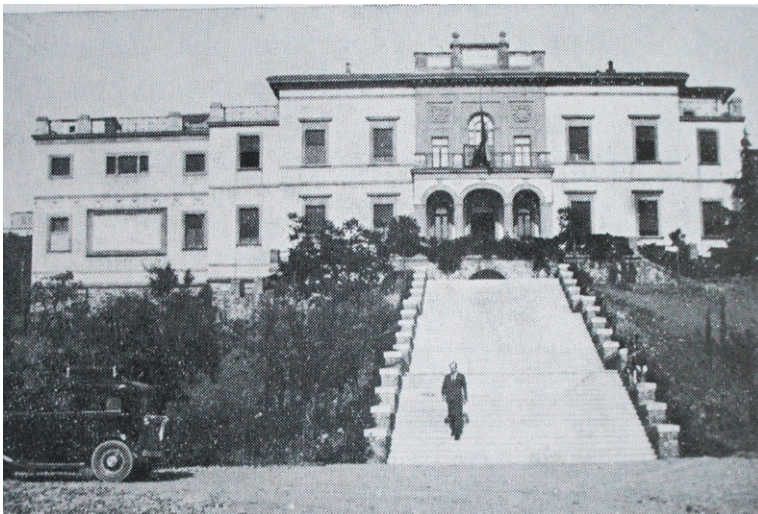


Figura 5. Il terrapieno e la "scalinata monumentale", che furono motivo sia del prolungamento dei lavori, sia della lievitazione dei costi.

Figure 5. The embankment and the "monumental stairway", which represented the cause of both the extension of the project and the cost increase.

il podere fino a quella data, a patto però che «le piante esistenti siano conservate in piena efficienza». Tre giorni dopo, il 6 luglio 1933, l'affittuario risponde accettando tutto senza riserve.

Chiariti tutti questi aspetti, alla fine di quel mese viene firmato il contratto tra l'Università e la ditta edile Bonamici¹⁴ per costruzione del viale d'accesso «che partendo dall'aja della casa colonica si ricongiunge al viale della Fisica che parte dal vecchio cancello dell'Osservatorio», ossia quello sopra ricordato su via Pian dei Giullari; inoltre si dovrà provvedere, grazie a materiale prelevato dal locale terreno demaniale, alla «formazione di una rampa a gradinate, con mura di sostegno, sull'asse dell'Istituto di Fisica e di un piazzale di transito alla base di detta rampa».

Il verbale stabilisce che l'apertura del cantiere debba avvenire il giorno successivo, 1° agosto: le opere sono da eseguirsi sotto la supervisione dell'architetto Gino Marchi, lo stesso che oltre dieci anni prima aveva costruito il fabbricato in stile toscano per l'Istituto di Fisica e dal quale Ronchi aveva personalmente ottenuto, pochi mesi prima, un progetto per il nuovo assetto. Il termine dei lavori è fissato per la fine di marzo 1934, subito prima della prevista inaugurazione e il capitolato allegato indica un importo di 40000 lire, con saldo a sei mesi dal completamento delle opere. Non sarà così. Per tutti questi interventi sono conservati all'ASUF le relazioni, i capitolati ed i relativi disegni, in sezione trasversale ed in piano.

In realtà i costi a consuntivo saranno sensibilmente più alti, ed una nota volante manoscritta e non datata, presente in Archivio nel fascicolo 29 della filza 612 (1932), dichiara che il solo Istituto di Ottica mette a disposizione 40000 lire, di cui 20000 dall'Istituto Nazionale Assicurazioni Sociali per onorare la memoria

from the yard of the farmhouse joins the road of the Physics Institute, which begins at the old gate of the Observatory," namely, the above-mentioned gate on Via Pian dei Giullari. In addition, using earth excavated from the local State lands, the project envisioned the "construction of a stepped ramp, with a supporting wall, along the axis of the Physics Institute, as well as a transit square at the lower end of the ramp."

The minutes state that work would begin the following day, 1 August. The project would be supervised by Gino Marchi, the same architect who ten years earlier had built the Tuscan-style building for the Physics Institute and from whom Ronchi had personally obtained the plans for the new layout several months before. Work was to be concluded in March 1934, just before the scheduled inauguration. An attachment indicated the sum of 40,000 lire, to be fully paid six months from the completion of the work. Yet from preserved documents we know that things went differently. Indeed, for all of the stages of the work the ASUF archive contains reports, technical documentation and drawings, both plan and cross-sectional.

As it turned out, the final costs were much higher. Indeed, an undated handwritten note in the Archive (in folder 29 of file 612 [1932]) states that the Optics Institute alone put up 40,000 lire for the project, of which 20,000 came from the National Institute for Social Insurances in honor of the memory of Prof. Sen. Antonio Garbasso¹⁵ and the same amount from the Institute's executive committee.

Finally, on 21 September 1933, the *Intendenza di Finanza* authorized the work as described in the project: demolition of the farmhouse and changed use of the surrounding land

del Prof. Sen. Antonio Garbasso¹⁵, ed uguale ammontare proviene dal comitato esecutivo dello stesso Istituto.

Finalmente l'Intendenza di Finanza autorizza il proseguimento dei lavori per l'abbattimento del casolare: è il 21 settembre 1933. Eliminazione della casa colonica, sistemazione dei terreni secondo il progetto approvato, con previsione di fabbricato ad uso portineria e conversione del terreno agricolo circostante a prato e giardino. Sollevato, il mese successivo il Rettore scrive all'Intendente ringraziandolo per la «risoluzione della questione inerente alla demolizione del vecchio fabbricato».

Trascorsi i mesi che precedono l'inizio del nuovo anno accademico, la conclusione dell'opera non è ancora vicina: restano da costruire la casa del portiere e il nuovo ingresso, ma comunque è stato tracciato il «tortuoso» viale interno e si è formato il terrapieno che collega la viabilità della nuova apertura a quella, ben più elevata, relativa al vecchio cancello. Si tratta proprio dell'intervento che la Facoltà aveva fermamente bocciato pochi mesi prima, e che invece era stato realizzato, intenzionalmente, durante la pausa estiva; dunque non stupisce che «i Professori della Facoltà, rientrando in sede, ben riposati, spesero una buona dose delle loro nuove energie per sollevare forti proteste, contro chi aveva osato procedere contro le loro decisioni ... Ma tutto finì lì» (Ronchi 1978, p. 487).

Arriva anche il momento dei conti. A novembre del 1933, una relazione dell'architetto Marchi indica che l'ammontare previsto di 40000 lire copre solo il costo dei lavori già eseguiti, e che saranno necessarie altre 22 mila lire per completare i restanti muri di confine, le massicciate, la gradinata (ufficialmente fu proprio

to allow for the construction of a porter's lodge, and the conversion of agriculture fields into a lawn and garden. The Chancellor was relieved; the following month he wrote to the *Intendente*, the head of the State agency, thanking him for "resolving the issue concerning the demolition of the old building."

By the beginning of the new academic year, the work was far from being concluded. The porter's lodge and the new entrance had yet to be built; on the other hand, the "winding" internal avenue had been laid out, while the embankment connecting the lane from the new opening to the much higher road of the old gate had taken shape. This was the same detail that the faculty had fervently rejected several months before and which had been intentionally built during the summer break. It is no wonder, then, that "when the well-rested Professors of the Department returned to work, they spent a considerable part of their renewed energies making fresh protestations against those who had dared proceed against their decisions. ... But nothing came of their efforts" (Ronchi 1978, p. 487).

Then there was the question of money. A report by architect Marchi in November 1933 indicated that the 40,000 lire estimate would only cover the cost of the work that had already been performed and that an additional 22,000 lire was needed to complete construction of the remaining boundary walls, the roadbed, the central stairway (officially, this was the primary cause of the increase) and the landing area. All of this was naturally justified in the reports, as was the duration of each operation: overall, 300 days would be required to complete the project, three times what was originally envisioned. Marchi's note indeed calculated that the work would be

questa la maggiore causa del rincaro) ed il piazzale di disimpegno. Tutto perfettamente motivato e giustificato nelle relazioni, ovviamente; così come per la durata: nell'insieme furono necessari quasi 300 giorni ossia il triplo di quanto previsto nel protocollo originale, prima che in quella nota Marchi prospettasse la completa conclusione nella primavera '34. Ma nel contratto non erano state previste penalità. Il verbale di ultimazione reca data 17 febbraio 1934, nonostante il direttore dei lavori si rammarichi della «cattiva stagione trascorsa» che avrebbe potuto introdurre ulteriore ritardo, mentre, per gli assestamenti e le opere di rifinitimento, la scadenza è fissata entro il 20 maggio dello stesso anno. La storia non si chiuse qui, poiché la disputa economica si protrarrà per anni: nel maggio '35 l'Intendente scriverà al proprio ufficio tecnico, e al rettore per conoscenza, una lettera riservata ed urgente perché si proceda con sollecitudine all'accertamento e verifica dei lavori svolti, e che, se tutto fosse regolare, si effettui subito il collaudo «tenendo presente il dubbio che mi è stato espresso e cioè che l'importo della spesa sia alquanto esagerato». Il collaudo avviene ad ottobre, dando esito del tutto positivo per i lavori eseguiti a regola d'arte, e giustificando sia la lievitazione dell'impegno economico, sia il ritardo (a causa di variazioni in corso d'opera, del maltempo, dei costi per l'urgenza del completamento, ecc.). Nonostante questo parere assolutorio, a novembre l'architetto Marchi dovrà ad inviare all'Intendenza una lunga relazione, ricca di dettagliate spiegazioni a giustificazione dell'operato, nonché del cresciuto impegno economico. Ancora: nell'aprile 1936 la ditta solleciterà, tramite avvocato, l'Università per ottenere il saldo di 50 mila lire, ma questa risponde negativamente, replicando che quanto ancora dovuto fa carico

concluded in spring 1934. But the contract did not include penalties for delays. The minutes that addressed the conclusion of the work bear the date of 17 February 1934, although the project director expressed regret for "inclement seasonal weather" which further might delay operations; meanwhile, the deadline for the final phase of the work was set for 20 May of that year.

Yet this was not the end of the story, because the dispute over costs would drag on for years. In May 1935, the *Intendente* wrote a confidential and urgent letter to his Technical Office, with a carbon copy sent to the Chancellor, asking it to act promptly in controlling and verifying the work that had been carried out. If everything was in order, the office was to give its final approval immediately, "keeping in mind the doubts that were communicated to me, namely that the final costs were extravagant." The inspection report was issued in October, ascertaining that the work was executed in accordance with construction norms and justifying both the increased costs and the delay (caused by modifications made to the project in the course of the work, poor weather, additional costs stemming from the urgency to complete the project, etc.). In spite of the Technical Office's indulgence, in November architect Marchi sent a long report to the *Intendenza* with detailed explanations justifying the performed work as well as the increased costs.

The next chapter dates to April 1936: through its attorney, the construction company contacted the University to obtain payment of the balance of 50,000 lire. The University refused the request, stating that what was still owed to the firm was the responsibility of the National Institute of Optics and its Director. Only at the end of that year was the account closed when

all'Istituto Nazionale di Ottica e al suo Direttore. Di fatto, l'Ateneo chiuderà la questione pagando a fine anno 15000 lire a saldo e stralcio, dopo che nell'agosto il prof. Ronchi aveva versato 35 mila lire a nome dell'Istituto di Ottica. Non si ha evidenza del suo prospettato contributo personale all'impresa.

In questa burocrazia risultò coinvolto anche Giorgio Abetti, al quale, nel 1934, il Ministero chiese di sottoscrivere e accettare alcuni verbali e documenti, peraltro non reperiti in Archivio né specificati nel testo, «in qualità di Delegato dell'Amministrazione utente», ossia Pro-Rettore. Cosa che avvenne. Forse può sorprendere che nessun'altra voce, tra i fisici o gli astronomi, si sia fatta sentire ufficialmente in questi due anni o che abbia lasciato traccia nei registri del protocollo. Ma il personale scientifico ad Arcetri era davvero poco, alcune unità, e poi Abetti non era d'indole polemica, anche se darà prova di grande fermezza di opinione, come vedremo; l'unico che avrebbe potuto inserirsi nella questione con autorità era Garbasso, come Direttore dell'Istituto, come ex sindaco, come senatore. Effettivamente all'ASUF risultano sue comunicazioni in questo periodo: ma si tratta, purtroppo, di richieste di congedo temporaneo per le cattive condizioni di salute, in aggravamento. Questo forse chiarisce un certo aspetto della vicenda.

Come programmato, una semplice inaugurazione si svolse il pomeriggio del 21 maggio¹⁶ 1934 (Ronchi 1977). Semplice ma accorta, perché la cerimonia fu presieduta addirittura da Guglielmo Marconi, Presidente del CNR, che con l'occasione ricordò anche la figura di Antonio Garbasso, scomparso nell'anno precedente e già Direttore dell'Istituto di Fisica, visibile al centro nella foto riprodotta più avanti. Nella cronaca dell'evento, fatta molti anni dopo da Ronchi stesso (Ronchi 1977), si

the University disbursed 15,000 lire, following the payment of 35,000 lire made by Prof. Ronchi on behalf of the Optics Institute in August. Our documents do not indicate the amount of Ronchi's personal contribution to the project.

Giorgio Abetti was also involved in this bureaucratic tangle: in 1934, the Ministry asked him to accept and sign several meeting minutes and documents – which, incidentally, are not preserved in the Archive or mentioned in the text – “in his capacity of representative of the University administration” as Vice-Chancellor. Abetti signed them. It may seem surprising that, during those two years, we find no other official mentions of statements by personnel of the Physics Institute in the protocols. Yet at the time there were few scientific faculty members at Arcetri. In addition, Abetti was not one for polemics, even if he would show that he had very clear ideas, as we will see. The only authoritative figure who could have become involved in the issue was Garbasso, as Director of the Institute, as former Mayor, as Senator: indeed the documentation of those years does contain references to him, but these, unfortunately, concern his applications for temporary leave because of poor, and worsening, health. This may account for a certain element of the story.

As had been planned, the inauguration of the project was held on 21 May 1934¹⁶ (Ronchi 1977). While the occasion was marked by simplicity, it did attract notice because it was presided by Guglielmo Marconi, President of the CNR, who in his speech remembered Antonio Garbasso, the former Director of the Physics Institute (the building appears in the photo reproduced below), who had passed away the year before. In an account of the event made many



Figura 6. Come si presentava l'ingresso al colle di Arcetri subito dopo l'inaugurazione. L'aspetto attuale è quasi identico, a parte la vegetazione.

Figure 6. View of the entrance to Arcetri hill immediately after the inauguration. The present appearance is nearly identical, apart from the vegetation.

years later (Ronchi 1977), Ronchi notes that Marconi “came to Arcetri for the inauguration of the new access road to the Physics Institute, which I had built.” He goes on to describe the tug-of-war between the University and the *Intendenza di Finanza*. The original caption of the photo gives the same description of the event: “The new entrance to the complex of the Scientific Institutes of Arcetri, built by Prof. Ronchi ... together with the new avenue accessing the Institutes.” The winner of the Physics Nobel Prize (1909) had been invited to Florence for an important event, which had political significance as well: the opening of the Second National Exhibition of Optics (Mazzinghi, Pelosi 2019) on 20 May, which was inaugurated by Vittorio Emanuele III and which had been organized in Florence by Ronchi himself, in collaboration with the *Officine Galileo*. The President of the CNR had arrived the day before with his wife, together with the entire Governing Council. Ronchi’s account continues, “After Marconi cut the tricolor ribbon at the new entrance gate, the crowd of civic authorities and guests walked the avenue, ascended the monumental new stairway and entered the hall of the Physics Institute, which on that occasion was officially named after Antonio Garbasso. Prof. Bruno Rossi then read the commemoration of the professor who had recently passed away”¹⁷ (Ronchi 1977, p. 563). This, the Director of the INO writes, represented the “homage and tribute paid to the memory of Antonio Garbasso on the part of one of his students, who was grateful for the guidance he had received from the Master and who for this reason wished to make the Institute more deserving of admiration to which he had dedicated the last fifteen years of his life” (Ronchi 1978, p. 487).

legge che Marconi «si recò ad Arcetri dove inaugurò il nuovo viale d'accesso all'Istituto di Fisica che io avevo fatto costruire», svelando il gioco delle parti che c'era stato tra Università e Intendenza di Finanza. Come è confermato dalla didascalia originale dell'immagine, che recita: «Il nuovo ingresso al comprensorio degli Istituti Scientifici di Arcetri, fatto costruire dal Prof. Ronchi... insieme al nuovo viale per l'accesso agli Istituti stessi». In quei giorni il Premio Nobel per la Fisica (1909) era stato invitato a Firenze per un importante evento, anche di regime: l'apertura della Seconda Mostra Nazionale di Ottica (Mazzinghi, Pelosi 2019), avvenuta il 20 maggio ed inaugurata da Vittorio Emanuele III, che era stata organizzata a Firenze proprio da Ronchi, in collaborazione con le Officine Galileo; il Presidente del CNR era arrivato il giorno dopo insieme all'intero Consiglio Direttivo, oltre alla consorte. Prosegue il resoconto: «Dopo che Marconi ebbe tagliato il nastro tricolore al nuovo cancello d'ingresso, il folto stuolo di autorità cittadine e di invitati percorse il viale, salì la nuova scalinata monumentale e si recò nell'aula dell'Istituto di Fisica, a cui in quell'occasione venne dato ufficialmente il nome di "Antonio Garbasso". Il Prof. Bruno Rossi lesse quindi la commemorazione del Maestro da poco scomparso»¹⁷ (Ronchi 1977, p. 563). Fu questo, ricorda il Direttore dell'INO, «l'omaggio e l'onoranza alla memoria di Antonio Garbasso da parte di un suo allievo che gli era grato per il bene che aveva ricevuto dal Maestro e che perciò voleva rendere più degno di ammirazione l'Istituto a cui Egli aveva dedicato gli ultimi quindici anni della sua vita» (Ronchi 1978, p. 487).

Per tagliare quel simbolico nastro, le forbici gli furono portate su un cuscino da una delle giovanissime figlie di Ronchi, Lucia (1927-2020), poi ricercatrice in ot-

To cut the symbolic ribbon, the scissors were delivered to Marconi upon a pillow by one of Ronchi's very young daughters, Lucia (1927-2020), who would go on to become a researcher in physiological optics and who would remember that moment with some emotion for the rest of her life.¹⁸ Aside from the economic issues, the story of the project ends here, a troubled episode that met with quite a few objections. But at that point who would have the courage to cast doubt upon an event that was validated by His Excellency? Actually, at least one person never came to terms with a project that seemed to him purely motivated by personal interest, even if it was officially carried out by the Chancellor in the name of the University: every day for seven years, Director Giorgio Abetti, on his way to and from the Astrophysical Observatory, persevered in using the original gate, the "inconvenient" entrance on Via del Pian dei Giullari, to publicly show his dissent (Ronchi 1978, p. 487).

Notes

¹ Villa Il Gioiello, where Galileo spent the last eleven years of his life, is less than a kilometer away as the crow flies.

² In brief, the center had its origins in the Laboratory of Optics and Precision Mechanics, which was built on that location to meet the military needs of the First World War, although it only became operative at the very end of hostilities. Later, the Laboratory terminated its work in Mechanics, becoming a municipal agency for economic and scientific promotion in 1927 and then a National Institute in

tica fisiologica, che per tutta la vita ricordò con un po' di emozione quel momento¹⁸. Si chiudeva così, a parte i risvolti economici, un processo un po' travagliato che aveva dovuto superare non poche obiezioni: ma adesso chi avrebbe avuto il coraggio di mettere ancora in discussione una realtà avvallata da Sua Eccellenza? Qualcuno invece non accettò mai quella gestione troppo interessata e personalistica di tutto l'intervento, anche se ufficialmente condotta dal Rettore a vantaggio dell'Università: nei percorsi da e per l'Osservatorio Astrofisico, il Direttore Giorgio Abetti ebbe la costanza di continuare ad usare ogni giorno, per sette anni, il cancello originale dell'astronomia, ossia il precedente «malagevole» ingresso posto su via del Pian dei Giullari, in modo da manifestare apertamente il proprio dissenso (Ronchi 1978, p. 487).

Note

¹ La Villa Il Gioiello, dove Galileo trascorse gli ultimi undici anni di vita, è a meno di un chilometro in linea d'aria.

² In breve, derivò dal Laboratorio di Ottica e di Meccanica di precisione, realizzato su quel luogo per supplire alle necessità belliche della I guerra mondiale, ma operativo invece solo all'epilogo del conflitto. In seguito il Laboratorio, eliminato l'aspetto della Meccanica, subì la trasformazione in ente cittadino (1927) per la promozione economica e scientifica, e poi Istituto Nazionale (1930), sotto la direzione di Ronchi. Nel 1934, un mese dopo l'inaugurazione descritta più avanti, venne ufficialmente riconosciuto dal governo, e poté appellarsi "Reale" Istituto: RINDO.

1930, under Ronchi's direction. In 1934, a month after the inauguration described below, it was officially recognized by the government, taking the name of "Royal" Institute, or RINDO.

³ Unless otherwise indicated, all information from documents and texts with titles are from the Historical Archive of the University of Florence (ASUF), Central Administrative Collection, General Affairs Section: in particular, file 612 for the year 1932. The folder contains all the documents relative to the project, even if these were produced in subsequent years.

⁴ This road was renamed "Largo Enrico Fermi" in January 1966 to honor the Nobel Prize winner of 1938. Fermi began his academic career at Arcetri.

⁵ Giambattista Donati (1826-1873) lived at the Observatory, of which he was Director, when it was founded. In the past it was also the residence of the administrator of the Medicean villa Poggio Imperiale.

⁶ The Observatory was in the Oltrarno, near Palazzo Pitti, above the Museum of Natural History. This was precisely the area in which the first public lighting systems were installed in Florence (Mazzoni 2017).

⁷ Vasco Ronchi would live here for half a century. In the past, it was not unusual for such public properties to be used by public functionaries for private purposes: for example, Villa Il Gioiello, which was declared a National Monument in 1920 because Galileo had spent the last decades of his life there, was the residence of several Arcetri astronomers until the 1960's.

⁸ A special resolution in November 1978 changed the road's name to "Via Guglielmo Righini", in memory of the Director of the Astronomical Observatory, who died that same year.

⁹ In fact, part of the bordering land continued to be used for cultivation by the caretaker until 1991, when a considerable portion of the space was taken for the construction of LENS.

³ Salvo diversa indicazione, tutte le informazioni documentali, e i testi tra virgolette, sono ricavate da quanto conservato presso l'Archivio Storico dell'Università degli Studi di Firenze (ASUF), *Fondo Amministrazione centrale, Sezione Affari generali*: in particolare la filza n. 612 del 1932. Nella cartella sono raccolti tutti i documenti relativi a questo intervento, anche se prodotti negli anni seguenti.

⁴ Dal gennaio 1966 questo tratto è stato rinominato Largo Enrico Fermi, in omaggio al Premio Nobel (1938) che qui aveva iniziato la propria carriera accademica.

⁵ Giambattista Donati (1826-1873) vi andò ad abitare alla fondazione dell'Osservatorio, del quale era Direttore. In passato era stata residenza anche dell'amministratore della villa medicea di Poggio Imperiale.

⁶ L'Osservatorio era nell'Oltrarno, vicino Palazzo Pitti, sopra il Museo di Storia Naturale, e per l'appunto proprio in quel quartiere furono collocati i primi lampioni fiorentini (Mazzoni 2017).

⁷ Vasco Ronchi vi abiterà per mezzo secolo. In passato non era inconsueto l'uso privato di tali proprietà pubbliche, sia pure da parte di funzionari pubblici: l'antica villa Il Gioiello, dichiarata Monumento Nazionale nel 1920 poiché Galileo vi trascorse l'ultimo decennio della sua vita, fino agli anni '60 è stata l'abitazione di alcuni astronomi di Arcetri.

⁸ Dal novembre 1978, con speciale delibera, ha nome via Guglielmo Righini, in memoria del Direttore dell'Osservatorio Astronomico, morto nello stesso anno.

⁹ Difatti una parte di terreno a lato della strada restò a coltivazione, e a disposizione del custode, fino al 1991, quando su gran parte vi venne costruito il LENS.

¹⁰ Bindo De Vecchi (1877-1936) senese, di formazione medico patologo, fu eletto Rettore dell'Università di Firenze nel 1930, e rivestì tale carica fino alla morte. Si impegnò con convinzione nel dare nuovo impulso a tutto l'assetto universitario e già nel 1931 aveva inviato al Ministero dell'Educazione Nazionale una relazione sullo stato e le necessità dell'Ateneo, in particolare delle Facoltà di Lettere e di Medicina (ASUF, anno 1931, filza 598, fasc. 1).

¹⁰ Bindo De Vecchi (1877-1936), from Siena, was trained in pathological medicine. He was elected Chancellor of the University in 1930, holding that position until his death. He made great efforts to renovate the entire layout of the university; as early as 1931, he sent a report to the National Ministry of Education on the current state and needs of the University, in particular with regard to the Colleges of Arts and of Medicine (ASUF, year 1931, file 598, folder 1). During his term, he received appropriate funding, as the government was intent on the general upgrading of Italian universities.

¹¹ As it turned out, one of these has been the LENS European Laboratory, although Chancellor De Vecchi couldn't have known that. He was, however, aware of Garbasso's idea for an integrated complex for all the sciences – from Agriculture to Chemistry – on the hill of Arcetri, which would include accommodation facilities for students and instructors. This was exactly the wish expressed by physicist Carlo Matteucci, founder of *Nuovo Cimento*, in a note sent to the Minister of Public Education in 1866. Matteucci had indeed led that ministry; at the time, he was Director of the Royal Museum of Physics and Natural History in Florence. In his note he proposed the possibility of an extended university campus for scientific teaching at the villa and park of Poggio Imperiale (Matteucci 1866). Interesting in this regard is the attractive perspective representation of the project for the entire future complex, now preserved at the Historical Archive of the Arcetri Astrophysical Observatory – INAF. The drawing bears a signed dedication of the author, the architect Gino Marchi, to the then Director of the Observatory, Antonio Abetti. It is dated June 1914, six months after Garbasso's arrival in Florence on 18 December 1913.

¹² Equivalent to roughly 12,000 euros at 2021 values, according to the revaluation index of Istat's FOI.

Durante il suo mandato ottenne congrui finanziamenti poiché tale prospettiva si inquadrava nella politica governativa di generale riammodernamento delle università italiane.

¹¹ Il Laboratorio Europeo LENS, appunto, anche se il Rettore di allora non poteva saperlo. Ma probabilmente conosceva il progetto di Garbasso affinché sul colle di Arcetri sorgesse, oltre a strutture ricettive per studenti e insegnanti, un polo integrato di quasi tutte le scienze, dall'Agricoltura alla Chimica. Proprio ciò che aveva auspicato anche il fisico Carlo Matteucci, fondatore del *Nuovo Cimento*, in una nota del 1866 al Ministero della Pubblica Istruzione, già titolare egli stesso di quel dicastero e all'epoca Direttore del R. Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze. Nella nota suggeriva un possibile, esteso insediamento degli insegnamenti scientifici dell'Ateneo alla villa e parco di Poggio Imperiale (Matteucci 1866). Notevole, al riguardo, la bella rappresentazione prospettica del progetto per tutto il futuro comprensorio, conservata all'Archivio Storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri – INAF. Reca la dedica autografa dell'autore, l'architetto Gino Marchi, all'allora Direttore dell'Osservatorio, Antonio Abetti. La data è giugno 1914, sei mesi dopo l'arrivo di Garbasso a Firenze, il 18 dicembre 1913.

¹² Equivalenti a circa 12000 euro alla data 2021, secondo l'indice di rivalutazione FOI dell'Istat.

¹³ Discendente di Giovanni Favilli, che coltivava l'esteso frutteto del Podere preso in affitto dall'Istituto di Studi Superiori nel 1873 (Bianchi 2017, p. 20).

¹⁴ Dopo regolare gara d'appalto, questa viene incaricata dei lavori viari e di sistemazione al contorno, mentre un'altra ditta, la Baldassini, doveva provvedere a realizzare la nuova portineria; la precedente era una piccola costruzione posta accanto al cancello su via San Leonardo, come risulta dai rilievi (v. fig. 4) ed oggi scomparsa.

¹⁵ La presidenza di questo ente era stato l'ultimo incarico del senatore. Era morto dopo lunga malattia il 14 marzo 1933, lasciando comunque l'eredità di una promettente scuola di giovani fisici. A giugno sarà chiamato sulla cattedra di Fisica Laureto Tieri, dell'Università di Messina (ASUF, anno 1933, fasc. 10C).

¹³ Descendant of Giovanni Favilli, who cultivated the extensive fruit orchard of the farmstead, which he rented from the *Istituto di Studi Superiori* beginning in 1873 (Bianchi 2017, p. 20).

¹⁴ Following a regular tendering procedure, the company was hired to execute work on the roads and the bordering areas, while another firm, Baldassini, was contracted to build the new porter's lodge. The old structure was located next to the gate on Via San Leonardo, as shown in the plans (see Fig. 4). It no longer exists today.

¹⁵ The last position held by the senator was that of director of this institute. He died on 14 March 1933 following a long illness, leaving behind a promising school of young physicists. In June, Laureto Tieri of the University of Messina would take his place as professor of Physics (ASUF, year 1933, folder 10C).

¹⁶ Other writings of his gave the date as 23 May.

¹⁷ In those years, Rossi founded the Florentine research group for the physics of cosmic rays. He would be expelled from the University following passage of the racial laws and would leave Italy in 1938, reaching the United States the following year.

¹⁸ Personal communication to the author.

References

- Bianchi, S., 2017, *L'Istituto Elettrico nel Podere della Cappella*, «Il Colle di Galileo», 6 (2), 2017, 15-31.
- Gurrieri, F., Zangheri, L., 2004, *L'assetto edilizio dell'Ateneo*, in "L'Università degli Studi di

¹⁶ In altre sue memorie indica la data del 23 maggio.

¹⁷ Rossi, fondatore in quegli anni del gruppo di ricerca fiorentino per la Fisica dei Raggi Cosmici, sarà espulso dall'Università in seguito alle leggi sulla razza e lascerà l'Italia nel 1938, per giungere l'anno successivo negli Stati Uniti.

¹⁸ Comunicazione personale all'autore.

Bibliografia

Bianchi, S., 2017, *L'Istituto Elettrico nel Podere della Cappella*, «Il Colle di Galileo», 6 (2), 2017, 15-31.

Gurrieri, F., Zangheri, L., 2004, *L'assetto edilizio dell'Ateneo*, in "L'Università degli Studi di Firenze 1924-2004", Leo Olschki ed., Firenze, p. 45.

Matteucci, C., 1866, *Sull'indirizzo degli studi*, Tip. M. Cellini, Firenze, 1866.

Mazzinghi, P., Pelosi, G., 2019, *Guglielmo Marconi a Firenze*, «Il Colle di Galileo», 8 (2), 29-41, e i riferimenti ivi indicati.

Mazzoni, M., 2017, *Via dall'inquinamento luminoso: la nascita dell'Osservatorio Astronomico di Arcetri*, «Atti e Memorie dell'Accademia toscana La Colombaria», vol. LXXXII, pp. 283-302.

Mazzoni, M., Alvisi S., 2012, *Un'astronomica "Bibbia dei poveri". Note su Antonio Garbasso e Giuseppe Occhialini*, «Giornale di Astronomia», Vol. 38, n.1, pp. 16-25.

Ronchi V., 1977, *Perché, quando e come nacque l'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri*, «Atti della Fondazione Giorgio Ronchi», XXXII, n.3.

Firenze 1924-2004", Leo Olschki ed., Firenze, p. 45.

Matteucci, C., 1866, *Sull'indirizzo degli studi*, Tip. M. Cellini, Firenze, 1866.

Mazzinghi, P., Pelosi, G., 2019, *Guglielmo Marconi a Firenze*, «Il Colle di Galileo», 8 (2), 29-41, e i riferimenti ivi indicati.

Mazzoni, M., 2017, *Via dall'inquinamento luminoso: la nascita dell'Osservatorio Astronomico di Arcetri*, «Atti e Memorie dell'Accademia toscana La Colombaria», vol. LXXXII, pp. 283-302.

Mazzoni, M., Alvisi S., 2012, *Un'astronomica "Bibbia dei poveri". Note su Antonio Garbasso e Giuseppe Occhialini*, «Giornale di Astronomia», Vol. 38, n.1, pp. 16-25.

Ronchi V., 1977, *Perché, quando e come nacque l'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri*, «Atti della Fondazione Giorgio Ronchi», XXXII, n.3.

Ronchi V., 1978, *Il R. Istituto Nazionale di Ottica desta preoccupazioni*, «Atti della Fondazione Giorgio Ronchi», XXXIII, n.4.

The author wishes to thank the personnel of the Historical Archive of the University of Florence, and in particular Fioranna Salvadori, for their generous and competent assistance in collecting the information for this article. Equally generous assistance was provided by the National Institute of Optics in allowing the author to use its library and consult its documentation, with the help of Alessandro Farini.

Ronchi V., 1978, *Il R. Istituto Nazionale di Ottica desta preoccupazioni*, «Atti della Fondazione Giorgio Ronchi», XXXIII, n.4.

Si ringrazia il personale dell'Archivio Storico dell'Università degli Studi di Firenze, e in particolare Fioranna Salvadori, per la generosa e competente disponibilità nel recupero delle informazioni che hanno permesso la presente nota. Altrettanta disponibilità ci è stata concessa dall'Istituto Nazionale di Ottica per l'accesso alla loro biblioteca e alla consultazione dei loro documenti, con l'aiuto di Alessandro Farini.

Massimo Mazzoni, astronomo, è stato ricercatore al Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. Ha collaborato fin dalla sua costruzione all'antenna interferometrica europea EGO Virgo – INFN per la rivelazione delle onde gravitazionali, ed ha anche diretto il laboratorio di spettroscopia XUV dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri per la misura di parametri stellari. Si interessa alla storia della Fisica e dell'Astronomia italiane dei secoli XIX e XX.

Massimo Mazzoni, astronomer, was a researcher at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence. From the start of the project, he collaborated on the construction of the European interferometric antenna EGO Virgo – INFN for the detection of gravitational waves. He also directed the XUV spectroscopic laboratory of the Arcetri Astrophysical Observatory for the measurement of stellar parameters. He is interested in the history of Italian physics and astronomy during the 19th and 20th centuries.

Giacomo Roati

INO Annual Symposium 2020

Quantum for Renaissance

23 – 25 November 2020

The 2020 Virtual Conference

CNR National Institute of Optics

Summary. The INO Annual Symposium 2020 was a unique occasion for discussing the role of the Institute in the emerging fields of quantum simulation/computing, photonics, sensing and communication, which represent some of the fundamental pillars of the recently launched European Quantum Flagship.

Keywords. Quantum technologies, photonics, sensing, lasers, optics, light.

The future is Quantum. With this motto the 2020 INO Annual Symposium got underway on 23 November 2020 with the introductory speech by Director Paolo De Natale. Given the pandemic, the Symposium was run completely online, joining together an average of hundreds of people per session and reaching scientists throughout the world.

The scientific program consisted of six scientific sessions, two each day of the Symposium, with presentations given by world leading scientists and CNR-INO researchers. The sessions covered Quantum Optics, Information and Metrology, Cold Matter and Quantum Simulation, Extreme Light and Matter, Sensors, Spectroscopy and Communications, Heritage Science, Vision Science, Solar Energy and Optical Design and Biophotonics, reflecting the different thematic research areas of the Institute.

The beginning of the new quantum revolution was celebrated with contributions given by internationally renowned scientists. In particular, Prof. Massimo Inguscio, President of the National Research Council (CNR), and Prof. Tommaso Calarco, Director of the Institute for Quantum Control of the Peter Grünberg Institute in Germany and promoter of the Quantum Manifesto, illustrated the road map of Quantum Flagship and the potential of the quantum approach with important examples. They also discussed the impact which this second quantum revolution is expected to have even on everyday life. Nobel Laureate Prof. Wolfgang Ketterle (MIT-Harvard Center for Ultracold Atoms, USA) and Prof. Antoine Browaeys (Institut d'Optique Graduate School, France) illustrated the potentialities of ultracold atomic systems as versatile and powerful quantum simulators.



Prof. A.G. White (University of Queensland, Australia) and A. Alù (City University of New York, USA) discussed the perspectives of light and metamaterial-based platforms in developing new and advanced technologies (Fig. 1 provides a pictorial example).

During the meeting, the INO Technology Transfer team made an off-topic presentation of the Institute's spin-off activity, while Dr. Angelo Volpi (CNR Science and Technology Officer in Brussels) gave a detailed description of opportunities for advanced R&D in light of new European funding schemes, which will eventually involve the Quantum Flagship initiative.

The Symposium also touched on two other thematic areas of CNR INO, Heritage Science and Biophotonics. These fields are of fundamental importance for the Institution, given their impact on society. Prof. Vincent Detalle (Centre de recherche et de restauration des musées de France, C2RME, France) talked about the role of laser-based techniques for cultural heritage conservation and preservation, providing direct examples of such protocols. Prof. D. Dombek (Northwestern University, USA) spoke about optical observations of neuronal circuits.

Two additional off-topic contributions were presented during the Symposium. The first was given by Oliver Graydon, Chief Editor of *Nature Photonics*, who discussed scientific publishing. The second, by CNR INO members Oliver Morsch, Alessandro Farini and Alessandra Rocco, was dedicated to science outreach perspectives.

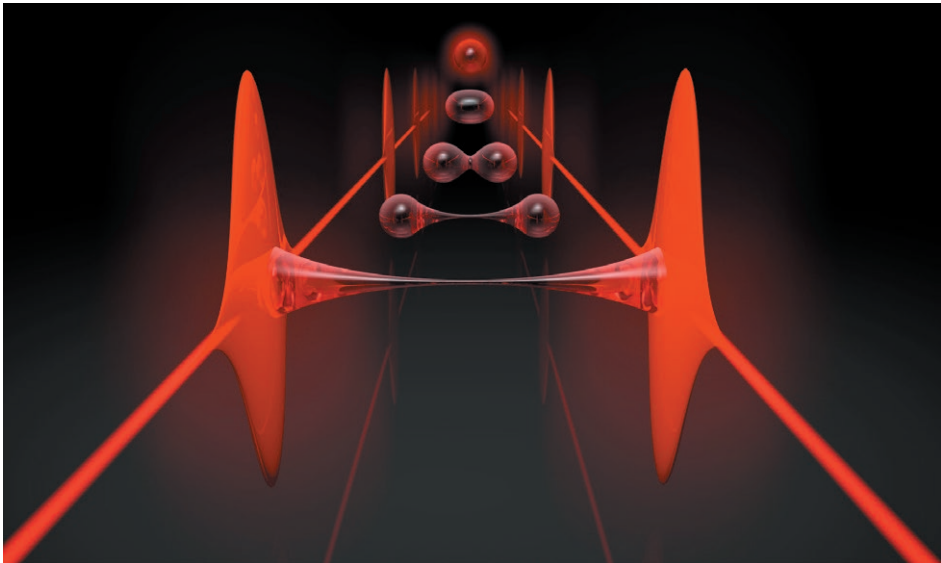


Figure 1. Sharing a single photon entangles two distinct pulses of laser light. Quantum entanglement is at the basis of quantum (secure) communication and cryptography protocols.

Giovanni Modugno

La fase supersolida della materia

The supersolid phase of matter

Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze, Laboratorio Europeo di Spettroscopia Nonlineare e Istituto Nazionale di Ottica del CNR

Riassunto. Il supersolido è una fase della materia intermedia tra un cristallo e un superfluido, prevista più di cinquanta anni fa, cercata a lungo nell'elio solido e scoperta solo recentemente in un gas quantistico di atomi magnetici. In questo articolo si racconta come si è arrivati alla scoperta del supersolido, come se ne sono già caratterizzate alcune sorprendenti proprietà e quali altre sono ancora da scoprire.

Parole chiave. Fasi quantistiche della materia, cristalli, superfluidi, condensati di Bose-Einstein.

La materia, una volta portata a temperatura sufficientemente bassa così da eliminare gli effetti termici, mostra proprietà affascinanti dettate dalle leggi della meccanica quantistica. Le due fasi quantistiche della materia più conosciute sono i cristalli e i superfluidi. Nei primi, gli atomi sono localizzati nei siti di un reticolo periodico, grazie alle forze esistenti tra gli atomi stessi. Questa localizzazione dà luogo alle proprietà note dei materiali solidi, come ad esempio la loro rigidità. Nei superfluidi, invece, gli atomi non solo sono liberi di muoversi lungo il materiale ma sono anche completamente delocalizzati, così che non è possibile individuarne la posizione individuale. Questo dà luogo alla capacità dei superfluidi di scorrere senza attrito e di muoversi senza inerzia. Il fenomeno della superfluidità è generale, si estende a tutte le particelle di natura bosonica, è legato al fenome-

Summary. The supersolid is a phase of matter intermediate between a crystal and a superfluid. It was predicted more than fifty years ago, long sought in solid helium and only recently discovered in a quantum gas of magnetic atoms. This article explains how we came to discover the supersolid, how some surprising properties have already been characterized and which others have still to be unveiled.

Keywords. Quantum phases of matter, crystals, superfluids, Bose-Einstein condensates.

Once it is brought to a temperature low enough to eliminate thermal effects, matter shows fascinating properties, which are dictated by the laws of quantum mechanics. The two best-known quantum phases of matter are crystals and superfluids. In the former, atoms are located at the sites of a periodic lattice, due to the forces between the atoms themselves. This localization gives rise to the known properties of solid materials, such as their rigidity. In superfluids,



no della condensazione di Bose-Einstein ed è alla base di fenomeni insieme spettacolari e utili, come ad esempio le supercorrenti elettriche nei superconduttori.

Circa 50 anni fa, fu ipotizzata l'esistenza di una nuova fase fondamentale della materia che combina le proprietà dei cristalli e dei superfluidi: i supersolidi [1,2,3]. In un supersolido, le particelle che lo compongono dovrebbero avere una struttura spaziale periodica come in un cristallo ma, allo stesso tempo, dovrebbero essere completamente delocalizzate lungo tutto il reticolo come in un superfluido. Anche se le due proprietà possono sembrare inconciliabili, lavori di importanti scienziati hanno dimostrato che la loro combinazione è concettualmente possibile, in sistemi di natura bosonica. Anche se, come hanno dimostrato molti decenni di ricerca infruttuosa a livello sperimentale, le condizioni di esistenza del supersolido sono molto particolari e difficili da raggiungere nella materia usuale. Infatti, il supersolido si basa su un delicatissimo bilanciamento tra un tipo di energia che favorisce la delocalizzazione delle particelle (come l'energia cinetica di punto zero) e un altro tipo di energia che ne favorisce la disposizione secondo un reticolo periodico (come l'energia di repulsione tra gli atomi).

A partire dagli anni 70 del secolo scorso, si è cercato di osservare il supersolido in solidi costituiti da atomi di elio [4]. Era noto già da molto tempo che l'elio a bassissima temperatura e ad alta pressione si trova in una fase solida, in particolare l'isotopo bosonico, He-4. L'idea era che l'energia di punto zero, data la piccolissima massa degli atomi, fosse sufficientemente grande da permettere lo scambio di atomi tra i siti del reticolo del solido, realizzando così un solido un po' "fluidico". Dato che l'elio liquido è naturalmente un superfluido, si pensava che l'elio solido

however, atoms are not only free to move along the material but are also completely delocalized, so that it is not possible to identify their individual positions. This gives rise to the ability of superfluids to flow frictionlessly and move without inertia. The phenomenon of superfluidity is general: it extends to all bosonic particles, is linked to the phenomenon of Bose-Einstein condensation and is the basis of spectacular and useful phenomena, such as the electric supercurrents in superconductors.

About 50 years ago, the existence of a new fundamental phase of matter was hypothesized that combines the properties of crystals and superfluids: supersolids [1,2,3]. In a supersolid, the particles should have a periodic spatial structure, as in a crystal, and at the same time be completely delocalized along the entire lattice, as in a superfluid. Although the two properties may seem irreconcilable, work by leading scientists has shown that their combination is conceptually possible in systems of a bosonic nature. However, as many decades of unsuccessful research on an experimental level have shown, the conditions of existence of the supersolid are very particular and difficult to achieve in normal matter. The supersolid is indeed based on a very delicate balance between a type of energy that favors the delocalization of particles (such as zero point kinetic energy) and another type of energy that favors their arrangement on a periodic lattice (such as the repulsion energy between atoms).

Since the 1970s, attempts have been made to observe the supersolid in solids consisting of helium atoms [4]. It has long been known that helium is in a solid phase at very low temperature and high pressure, especially the bosonic isotope, He-4. The idea was that given the very small

potesse essere supersolido, almeno in piccola misura. Dopo decenni di ricerche infruttuose, circa 15 anni fa ci fu l'annuncio della scoperta di un comportamento supersolido nell'elio, sotto forma di una riduzione del momento di inerzia di un cilindro di elio posto in rotazione [5]. Questa era stata infatti indicata A. J. Leggett (premio Nobel nel 2003 per lo studio teorico della superfluidità) come la principale caratteristica di un supersolido [3]. Purtroppo, studi successivi hanno dimostrato che il segnale osservato aveva una spiegazione meno affascinante, legata alle proprietà elastiche dell'elio solido, escludendo invece la presenza di un supersolido [6].

Nel frattempo, i tentativi per osservare il supersolido si erano già allargati ad altri tipi di sistemi, ovviamente tutti di natura bosonica e tutti superfluidi. Un sistema di particolare interesse per la comunità scientifica sono i cosiddetti gas quantistici, gas di atomi e molecole a bassissima temperatura e a bassa pressione che realizzano il fenomeno della condensazione di Bose-Einstein e perciò sono naturalmente superfluidi. Già nel 2003 fu proposto che in un condensato di atomi o molecole con interazioni a lungo raggio, come ad esempio l'interazione dipolo-dipolo, potesse realizzarsi un fenomeno di cristallizzazione analogo a quello della transizione liquido-solido, realizzando così le condizioni per la formazione di un supersolido [7]. Anche se all'epoca non era per niente chiaro come in un gas potesse esistere una fase con le caratteristiche di stabilità di un solido. Si tenga conto che la distanza media tra gli atomi in un gas quantistico è circa mille volte maggiore di quella in un solido.

Negli ultimi dieci anni ho avuto la fortuna di partecipare con i miei collaboratori alla ricerca del supersolido in gas quantistici con interazione dipolo-dipolo.

mass of atoms the zero-point energy was large enough to allow the exchange of atoms between the sites of the solid lattice, thus creating a somewhat "fluid" solid. Since liquid helium is naturally a superfluid, it was thought that solid helium could be supersolid, at least to a small extent. After decades of fruitless research, about 15 years ago there came the announcement of the discovery of supersolid behavior in helium, in the form of a reduction in the moment of inertia of a rotating helium cylinder [5]. This was in fact referred to by A. J. Leggett (Nobel laureate in 2003 for his studies of superfluidity) as the main feature of a supersolid [3]. Unfortunately, subsequent studies have shown that the observed signal had a less fascinating explanation, which was linked to the elastic properties of solid helium and therefore excluded the presence of a supersolid [6].

Meanwhile, attempts to observe the supersolid had already expanded to other types of systems, obviously all bosonic in nature and all superfluids. A system of particular interest to the scientific community is that of so-called quantum gases. These are gases of atoms and molecules at very low temperatures and low pressures that realize the phenomenon of Bose-Einstein condensation and therefore are naturally superfluids. As early as 2003, researchers proposed that a crystallization phenomenon similar to the usual liquid-solid transition could occur in a condensate of atoms or molecules with long-range interactions, such as the dipole-dipole interaction, thus realizing the conditions for the formation of a supersolid [7]. At the time, however, it was not at all clear how the stability characteristics of a solid could be found in a gas. Note that the average distance between atoms in a quantum gas is about a thousand times greater than in a solid.

La ricerca è iniziata quando abbiamo evidenziato la presenza di un'interazione di quel tipo in un gas quantistico di atomi di potassio. Purtroppo, data l'esiguità del momento magnetico degli atomi alcalini (circa un magnetone di Bohr), l'interazione era troppo piccola per dar luogo al processo di cristallizzazione. Abbiamo allora provato a realizzare un gas quantistico di molecole con un forte momento di dipolo elettrico (molecole KRb), cosa che si è rivelata purtroppo molto difficile, dato il delicato e complesso meccanismo di formazione controllata di molecole nei gas quantistici. Così, qualche anno fa siamo passati allo studio di un gas quantistico di atomi con forte dipolo magnetico, scegliendo il disprosio, che ha uno dei massimi momenti magnetici della tavola periodica (circa dieci magnetoni di Bohr). Dato che l'energia di interazione dipolo-dipolo scala come il quadrato del momento magnetico, questo sistema era previsto mostrare il fenomeno di cristallizzazione. Ma come il supersolido potesse stabilizzarsi non era ancora chiaro.

Il problema è che le due interazioni di campo medio in gioco nei gas quantistici dipolari, la già citata interazione dipolo-dipolo e l'interazione di van der Waals, hanno la stessa dipendenza lineare della densità. Questo fa sì che quando la prima interazione diventa fortemente attrattiva poiché i dipoli atomici si allineano in configurazione testa-coda, la seconda non riesce a contrastarla e il sistema tende a collassare verso il vero stato solido, rilasciando molta energia e perdendo così le proprietà di coerenza quantistica. Pochi anni fa si è però scoperto che esiste una debole interazione oltre il campo medio (l'energia di punto zero delle fluttuazioni quantistiche, l'analogo del Lamb shift nell'energia dei singoli atomi), che è repulsiva e ha una diversa dipendenza dalla densità, fornendo così un mec-

In the last ten years, I have been fortunate enough to participate, with my collaborators, in the search for the supersolid in quantum gas with dipole-dipole interaction. The research began when we highlighted the presence of such an interaction in a quantum gas of potassium atoms. Unfortunately, given the small magnetic moment of alkaline atoms (about a Bohr magneton), the interaction was too small to give rise to the crystallization process. We then tried to make a quantum gas of molecules with a strong electric dipole moment (KRb molecules), which unfortunately proved very difficult, given the delicate and complex mechanism of controlled molecule formation in quantum gases. So a few years ago we took up the study of a quantum gas of atoms with a strong magnetic dipole, choosing dysprosium, which has one of the maximum magnetic moments of the periodic table (about ten Bohr magnetons). Since the dipole-dipole interaction energy scales as the square of the magnetic moment, this system was expected to show the crystallization phenomenon. But how the supersolid could be stabilized was not yet clear.

The problem is that the two mean-field interactions at play in dipole quantum gases, the dipole-dipole and the van der Waals interactions, have the same linear dependency on density. As a result, when the first interaction becomes highly attractive, because the atomic dipoles align in head-tail configuration, the second fails to counteract it. The system then tends to collapse to the true solid state, releasing a lot of energy and thus losing its quantum coherence properties. A few years ago, however, it was discovered that a weak interaction is present beyond those of the mean field (the zero-point energy of quantum fluctuations, the analogue

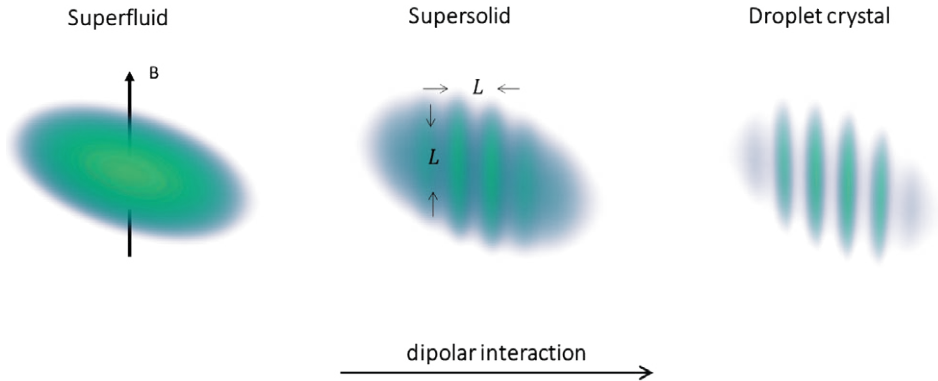


Figura 1. Schematizzazione del supersolido osservato in un gas quantistico dipolare, che esiste per valori dell'interazione dipolare intermedi a quelli propri del superfluido e del cristallo di gocce quantistiche. I siti reticolari del supersolido sono dei macro-dipoli magnetici composti da migliaia di atomi, che si respingono a distanze comparabili con la loro lunghezza. Il tunneling quantistico tra i siti assicura la superfluidità del sistema.

Figure 1. Schematization of the supersolid observed in a dipolar quantum gas, which exists for strengths of dipole interaction intermediate to those proper for a normal superfluid and a quantum droplet crystal. The lattice sites of the supersolid are magnetic macro-dipoles composed of thousands of atoms, which mutually repel at distances comparable to their length. Quantum tunneling between sites ensures superfluidity.

canismo di stabilizzazione analogo alla repulsione a piccola distanza tra gli atomi in un vero solido. Una differenza importante però è che in un gas quantistico questa repulsione è debole e permette di avvicinare tra loro un grande numero di atomi, dell'ordine delle migliaia, creando così dei clusters macroscopici. Abbiamo scoperto che questi clusters, chiamati gocce quantistiche in analogia con le

of the Lamb shift in the energy of individual atoms), which is repulsive and has a different dependence on density, thus providing a stabilization mechanism analogous to small-distance repulsion between atoms in a true solid. An important difference, however, is that in a quantum gas this repulsion is weak and allows a large number of atoms, of the order of thousands, to be brought together, thus creating macroscopic clusters. We found that these clusters, called quantum droplets in analogy with superfluid helium droplets, are self-bound, superfluid, and exist not only in quantum dipolar gases, but more generally in quantum gases with two competing interactions [8].

At this point, we have all the ingredients to explain the formation of the supersolid. In the presence of an external magnetic field, the dipoles align in head-tail configuration, lowering the energy of the system and tending to form a quantum droplet, which is in fact a macro-dipole composed of thousands of atoms. However, the system is confined by harmonic potential along the direction of the field. This causes the droplets to have a maximum length L of the order of the length of the harmonic oscillator; in terms of its energy, therefore, it is convenient for the system to break into several droplets. On the basis of a classical model, it is easy to estimate that two dipoles of length L tend to stay exactly at a distance of L , such that we get a periodic structure of droplets arranged at a fixed distance. At this point, the only ingredient missing to make a supersolid is the possibility for atoms to move from droplet to droplet. This is only possible if the quantum droplets are not strictly self-bound, which only happens in a narrow intensity range of the interactions, so that the atoms can quantum tunnel along the

gocce di elio superfluido, sono auto-confinanti, superfluidi ed esistono non solo nei gas quantistici dipolari, ma più in generale nei gas quantistici con due interazioni in competizione [8].

A questo punto abbiamo tutti gli ingredienti per spiegare la formazione del supersolido. In presenza di un campo magnetico esterno, i dipoli si allineano in configurazione testa-coda abbassando l'energia del sistema e tendendo a formare una goccia quantistica, che di fatto è un macro-dipolo composto da migliaia di atomi. Il sistema è però confinato da un potenziale armonico lungo la direzione del campo. Questo fa sì che le gocce possano avere una lunghezza massima L dell'ordine della lunghezza dell'oscillatore armonico, e che pertanto al sistema sia energeticamente conveniente spezzarsi in più droplets. È facile stimare da un modello classico che due dipoli di lunghezza L tendono a stare proprio ad una distanza L e così, nel caso in cui le gocce siano tante, si ottiene una struttura periodica di gocce disposte a distanza fissata. A questo punto l'unico ingrediente che manca per realizzare un supersolido è la possibilità per gli atomi di spostarsi da una goccia all'altra. Questa si realizza solo se le gocce quantistiche non sono strettamente auto-confinanti, cosa che avviene solo in un intervallo ristretto di intensità delle interazioni in gioco, così che gli atomi possano fare tunneling quantistico tra le gocce. È importante notare che il supersolido non è complessivamente auto-confinante e ha perciò bisogno di una pressione esterna (così come l'elio solido), che negli esperimenti è fornita da un potenziale armonico tridimensionale.

Alla fine del 2018 abbiamo compiuto la prima osservazione sperimentale del supersolido [9], utilizzando una tecnica analoga alla diffrazione di luce da un re-

droplets chain. It is important to note that the supersolid is not self-bound overall and that it therefore requires external pressure (similarly to solid helium), which in experiments is provided by a harmonic potential in all directions.

At the end of 2018, we made the first experimental observation of the supersolid [9], using a technique analogous to diffraction of light from a lattice. By releasing the supersolid from the harmonic potential, in fact, waves of matter expand and interfere with each other in a way similar to light waves, giving rise to a diffraction pattern in momentum space, from which it is possible to reconstruct the density structure of the system. A measure of the phase coherence of the diffraction revealed the coherence of atoms in the supersolid. This observation, which can be considered the verification of the original prediction of a condensed state with periodic modulation of density [2], has stimulated great interest in the scientific community and has been successfully replicated by other research groups [10].

With subsequent experiments we revealed the other fundamental properties of the supersolid predicted in the seminal works of fifty years ago. A first study involved the simultaneous presence of two symmetry breakings in the supersolid: gauge invariance symmetry, which breaks when the Bose–Einstein condensation phenomenon appears, and translation symmetry, which breaks when a periodic structure appears. Any spontaneous symmetry breaking implies the presence of system excitation, so-called Goldstone excitation, which is the analogue of the originally predicted sound excitation [1]. We in fact observed that the supersolid has two simultaneous excitations, one related to the superfluid oscillations of atoms along the periodic

ticolo. Rilasciando il supersolido dal potenziale armonico, infatti, le onde di materia espandono e interferiscono tra di loro in modo analogo alle onde luminose, dando luogo ad un pattern di diffrazione nello spazio degli impulsi dal quale è possibile ricostruire la struttura di densità del sistema. Una misura della coerenza di fase della diffrazione ci ha rivelato la coerenza degli atomi nel supersolido. Questa osservazione, che può essere considerata la verifica della previsione originale di uno stato condensato con modulazione periodica di densità [2], ha suscitato un grande interesse nella comunità scientifica ed è stata replicata con successo da altri gruppi di ricerca [10].

Con esperimenti successivi abbiamo rivelato le altre proprietà fondamentali del supersolido previste nei lavori seminali di cinquanta anni fa. Un primo studio ha riguardato la presenza simultanea di due rotture di simmetria nel supersolido: la simmetria per invarianza di gauge, che si rompe quando appare il fenomeno della condensazione di Bose-Einstein, e la simmetria per traslazione, che si rompe quando appare la struttura periodica. Ogni rottura spontanea di simmetria implica la presenza di una eccitazione del sistema, la cosiddetta eccitazione di Goldstone, che è l'analogo dell'eccitazione sonora prevista originariamente [1]. E infatti abbiamo osservato che il supersolido ha due eccitazioni simultanea, una legata alle oscillazioni superfluide degli atomi lungo il reticolo periodico e l'altra legata alle oscillazioni del reticolo stesso [11]. Abbiamo anche capito che il supersolido è connesso da transizioni di fase quantistiche sia a un normale superfluido (il condensato di Bose-Einstein) sia a un cristallo classico di gocce quantistiche. In queste due fasi, sopravvive solo uno dei due modi di eccitazione, dato che una sola simmetria è rotta.

lattice and the other related to the oscillations of the lattice itself [11]. We also understood that the supersolid is connected by quantum phase transitions to both a normal superfluid (the Bose-Einstein condensate) and a classical quantum droplet crystal. In these two phases, only one of the two modes of excitation survives, since only one symmetry is broken.

In a subsequent study, we addressed the question of the moment of inertia, carrying out an experiment similar to that originally hypothesized by Leggett and conducted on solid helium with torsion pendulums. We thus excited a rotational oscillation of the supersolid in the harmonic potential - the so-called scissors mode, analogous to the rotation observed in atomic nuclei - and from the oscillation frequency we reconstructed the value of the moment of inertia of the system. Surprisingly, we observed that the supersolid has practically zero moment of inertia, although its density structure is very similar to that of a classical crystal. This stems from the fact that the individual sites of the supersolid lattice, the quantum droplets, are individually superfluid. We thus have evidence that the supersolid is a highly non-classical solid, with a clear superfluid nature [12].

These first results not only demonstrate the existence of the supersolid as initially conceived, but also pave the way for in-depth study of the properties of this new phase of matter. For example, a very important goal is to measure the rigidity of the supersolid, a solid-type property that one would not expect in a gaseous system in which a supersolid is formed. Supersolids are then predicted to show a whole series of exotic quantum phenomena compared to ordinary matter, such as non-quantized vortexes, a barrierless Josephson

Con uno studio ulteriore abbiamo affrontato la questione del momento di inerzia, svolgendo un esperimento analogo a quello ipotizzato originariamente da Leggett ed effettuato sull'elio solido con i pendoli di torsione. Abbiamo così eccitato un'oscillazione di rotazione del supersolido nel potenziale armonico - il cosiddetto scissors mode, analogo alla rotazione osservata nei nuclei atomici - e dalla frequenza di oscillazione abbiamo ricostruito il valore del momento di inerzia del sistema. Sorprendentemente, si è osservato che il supersolido ha praticamente un momento di inerzia nullo, anche se la sua struttura di densità è molto simile a quella di un cristallo classico. Questo deriva dal fatto che i singoli siti del reticolo del supersolido, le gocce quantistiche, sono individualmente superfluide. Abbiamo così l'evidenza che il supersolido è un solido altamente non classico, con un comportamento prettamente superfluido [12].

Questi primi risultati non solo dimostrano l'esistenza del supersolido come inizialmente previsto, ma aprono anche la strada allo studio approfondito delle proprietà di questa nuova fase della materia. Ad esempio, un obiettivo molto importante è misurare la rigidità del supersolido, una proprietà di tipo solido che può sembrare inaspettata per il sistema gassoso nel quale si forma il supersolido. Ci si aspetta poi che i supersolidi mostrino tutta una serie di fenomeni quantistici esotici rispetto alla materia ordinaria, così come vortici non quantizzati, l'effetto Josephson senza barriera, la capacità di deformarsi senza attrito, etc., tutti fenomeni affascinanti e finalmente a portata di mano negli esperimenti. Una domanda forse ancora più affascinante è se sia possibile osservare fenomeni analoghi al supersolido nei superfluidi di tipo fermionico, come ad esempio i condensati di

effect, the ability to deform frictionlessly, etc., all fascinating phenomena whose verification is finally within reach through experimentation. Perhaps even more fascinating is the question about the possible existence of supersolid-like phenomena in fermion-type superfluids, such as Cooper pair condensates of electrons in superconductors, for which translational symmetry breaking phenomena have in fact already been observed, and what the technological implications might be.

The research I have summarized here began at LENS when it was still located on the hill of Arcetri. It continued at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino and then developed at the Pisa section of CNR-INO. Over the years, I have been lucky to interact with talented colleagues and students, on both experimental and theoretical levels.

References

- [1] A. F. Andreev, I.M. Lifshitz, Quantum theory of defects in crystals. *Sov. Phys. JETP* 29, 1107 (1969).
- [2] G. V. Chester, Speculations on Bose-Einstein condensation and quantum crystals. *Phys. Rev. A* 2, 256 (1970).
- [3] A. J. Leggett, Can a solid be "superfluid"? *Phys. Rev.* 25, 1543 (1970).
- [4] M.H.W. Chan, R.B. Hallock, L. Reatto, Overview on solid 4He and the issue of supersolidity. *J. Low Temp. Phys.* 172, 317 (2013).

coppie di Cooper di elettroni nei superconduttori, per i quali sono in effetti già stati osservati fenomeni di rottura di simmetria traslazionale, e quali potrebbero essere le ricadute in campo tecnologico.

La ricerca su supersolido che ho raccontato è iniziata al LENS quando era ancora situato sulla collina di Arcetri, è proseguita al Polo Scientifico di Sesto Fiorentino, e poi si è sviluppata alla sede di Pisa del CNR-INO. Negli anni ho avuto la fortuna di interagire con bravissimi colleghi e studenti, sia sul lato sperimentale che su quello teorico.

Bibliografia

- [1] A. F. Andreev, I. M. Lifshitz, Quantum theory of defects in crystals. *Sov. Phys. JETP* 29, 1107 (1969).
 - [2] G. V. Chester, Speculations on Bose-Einstein condensation and quantum crystals. *Phys. Rev. A* 2, 256 (1970).
 - [3] A. J. Leggett, Can a solid be “superfluid”? *Phys. Rev. Lett.* 25, 1543 (1970).
 - [4] M.H.W. Chan, R.B. Hallock, L. Reatto, Overview on solid 4He and the issue of supersolidity. *J. Low Temp. Phys.* 172, 317 (2013).
 - [5] E. Kim, M.H.W. Chan, Probable observation of a supersolid helium phase. *Nature* 427, 225 (2004).
 - [6] J. Day, J. Beamish, Low-temperature shear modulus changes in solid 4He and connection to supersolidity. *Nature* 450, 853 (2007).
-
- [5] E. Kim, M.H.W. Chan, Probable observation of a supersolid helium phase. *Nature* 427, 225 (2004).
 - [6] J. Day, J. Beamish, Low-temperature shear modulus changes in solid 4He and connection to supersolidity. *Nature* 450, 853 (2007).
 - [7] L. Santos, G. V. Shlyapnikov, and M. Lewenstein, Roton-maxon spectrum and stability of trapped dipolar Bose-Einstein condensates. *Phys. Rev. Lett.* 90, 250403 (2003).
 - [8] G. Semeghini, G. Ferioli, L. Masi, C. Mazzinghi, L. Wolswijk, F. Minardi, M. Modugno, G. Modugno, M. Inguscio, M. Fattori, Self-bound quantum droplets in atomic mixtures. *Phys. Rev. Lett.* 120, 235301 (2018).
 - [9] L. Tanzi, E. Lucioni, F. Famà, J. Catani, A. Fioretti, C. Gabbanini, R.N. Bisset, L. Santos, G. Modugno, Observation of a dipolar quantum gas with metastable supersolid properties. *Phys. Rev. Lett.* 122, 130405 (2019).
 - [10] T. Donner, Dipolar quantum gases go supersolid, *Physics* 12, 38 (2019).
 - [11] L. Tanzi, S.M. Roccuzzo, E. Lucioni, F. Famà, A. Fioretti, C. Gabbanini, G. Modugno, A. Recati, S. Stringari, Supersolid symmetry breaking from compressional oscillations in a dipolar quantum gas. *Nature* 574, 382 (2019).
 - [12] L. Tanzi et al., Evidence of superfluidity in a dipolar supersolid from non-classical rotational inertia, *Science*, 371, 1162 (2021).

- [7] L. Santos, G. V. Shlyapnikov, and M. Lewenstein, Roton-maxon spectrum and stability of trapped dipolar Bose-Einstein condensates. *Phys. Rev. Lett.* 90, 250403 (2003).
- [8] G. Semeghini, G. Ferioli, L. Masi, C. Mazzinghi, L. Wolswijk, F. Minardi, M. Modugno, G. Modugno, M. Inguscio, M. Fattori, Self-bound quantum droplets in atomic mixtures. *Phys. Rev. Lett.* 120, 235301 (2018).
- [9] L. Tanzi, E. Lucioni, F. Famà, J. Catani, A. Fioretti, C. Gabbanini, R.N. Bisset, L. Santos, G. Modugno, Observation of a dipolar quantum gas with metastable supersolid properties. *Phys. Rev. Lett.* 122, 130405 (2019).
- [10] T. Donner, Dipolar quantum gases go supersolid, *Physics* 12, 38 (2019).
- [11] L. Tanzi, S.M. Roccuzzo, E. Lucioni, F. Famà, A. Fioretti, C. Gabbanini, G. Modugno, A. Recati, S. Stringari, Supersolid symmetry breaking from compressional oscillations in a dipolar quantum gas. *Nature* 574, 382 (2019).
- [12] L. Tanzi et al., Evidence of superfluidity in a dipolar supersolid from non-classical rotational inertia, *Science*, 371, 1162 (2021).

Giovanni Modugno è professore associato di Fisica della Materia all'Università di Firenze e ricercatore associato dell'Istituto Nazionale di Ottica. Dalla fine del dottorato alla Scuola Normale Superiore su spettroscopia laser, si occupa di ricerca sperimentale sui gas quantistici ultrafreddi. Il suo principale interesse è il comportamento quantistico della materia in condizioni difficili da raggiungere in sistemi ordinari, come la localizzazione di Anderson, il vetro di Bose in presenza di disordine e il supersolido.

Giovanni Modugno is Associate Professor of Physics of Matter at the University of Florence and Associate Researcher at the National Institute of Optics. Since taking his PhD at Scuola Normale Superiore with a dissertation on laser spectroscopy, he has carried out experimental research on ultra-cold quantum gases. His main interest is the quantum behavior of matter in difficult-to-reach conditions in ordinary systems, such as Anderson localization, the Bose glass in the presence of disorder, and the supersolid.

Edvige Corbelli

Stelle massicce svelano l'origine del gigantesco anello di gas nel Leone

Massive stars unveil the origin of the giant gas ring in Leo

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Una gigantesca nube di gas con massa equivalente a quella di una galassia, ma senza un'estesa controparte stellare, si estende nello spazio intergalattico vicino a noi. Recenti osservazioni spettroscopiche hanno individuato in questa struttura rare stelle giovani di grande massa la cui radiazione riscalda il gas circostante rivelando in esso le impronte di elementi pesanti. Le abbondanze chimiche di questi elementi hanno implicazioni profonde sull'origine di questa nube, una questione discussa ormai da quasi 40 anni.

Parole chiave. Mezzo intergalattico, regioni HII, galassie.

La struttura gassosa più estesa osservata fino ad oggi nell'Universo locale è stata scoperta per caso nel 1983 con il radiotelescopio di Arecibo, in una zona di cielo dove l'antenna stava prendendo il segnale di riferimento [1]. Questa nube ha una forma ad anello e, trovandosi in cielo in direzione della costellazione del Leone, viene chiamata "Leo ring" ovvero anello del Leone. Con un diametro di oltre 500,000 anni luce essa si estende nello spazio intergalattico intorno al tripletto di galassie del gruppo Leo I, a circa 30 miliardi di anni luce dalla nostra galassia. L'origine di questa nube fredda di gas è stata dibattuta per quasi 40 anni con la pubblicazione di numerosi articoli scientifici dedicati ad osservazioni in diverse bande dello spettro

Summary. The origin of the most extended intergalactic cloud of the local Universe, the Leo ring, has been debated for about 40 years. It has a gas mass equivalent to that of a galaxy but no extended optical counterpart. Recent observations with integral field spectroscopy have localized small star formation sites with young, massive stars in the cloud. The light from the hot gas in their proximity has the footprints of heavy elements with abundances close to solar ones, unveiling the long-standing mystery of the origin of this giant ring.

Keywords. Intergalactic medium, HII regions, galaxies.

The discovery of the most extended gaseous structure known in the local Universe was a serendipitous find dating back to 1983 when the Arecibo radio telescope was pointing at a patch of the sky for an off-reference scan [1]. This intergalactic cloud has a ring shape; as it is located in the direction of the Leo constellation, it is also known as the Leo ring. More than 500,000 light



elettromagnetico e a simulazioni numeriche. Avendo l'anello una massa equivalente a quella di una galassia senza una chiara controparte ottica, diversi astronomi hanno sostenuto che poteva trattarsi di un raro esempio di nube primordiale, risalente ai tempi di formazione delle altre galassie del gruppo. L'anello potrebbe essersi formato dal raffreddamento di gas caldo che pervade lo spazio intergalattico, una volta che questo entra a contatto con il potenziale gravitazionale del gruppo. Oppure potrebbe trattarsi di un fallimento del processo di collasso per la formazione di una galassia. In ogni caso, l'origine primordiale è stata per molto tempo l'ipotesi più accreditata a causa dell'assenza di un'estesa controparte stellare. Privo di stelle, il gas sarebbe rimasto quasi incontaminato dagli elementi pesanti che queste producono. La rarità di oggetti simili trova supporto nei modelli cosmologici che non prevedono l'esistenza di tali nubi, fredde e massicce, nell'Universo locale.

La forma circolare dell'anello del Leone può invece essere spiegata facilmente ipotizzando che un miliardo di anni fa due galassie del gruppo abbiano avuto un incontro molto ravvicinato. In tal caso gli effetti mareali dovuti all'interazione delle due galassie avrebbero rimosso parte del gas al loro interno, immettendolo nello spazio intergalattico. Ma le interazioni o collisioni fra galassie spesso coinvolgono anche la componente stellare, producendo scie o code stellari che nel gruppo Leo I non sono state osservate. Inoltre, come nel caso di altri anelli di origine collisionale, il gas rimosso dovrebbe aver subito forti compressioni formando numerose nuove stelle al suo interno.

Una misura delle abbondanze di elementi pesanti nell'anello potrebbe fornire la chiave per risolvere il dibattito sulle sue origini. Nel caso di gas primordiale infatti

years in diameter, the Leo ring extends through intergalactic space around the three galaxies of the Leo I group, at about 30 billion light years from our Galaxy. The origin of this cloud has been debated for several decades, with many scientific papers dedicated to numerical simulations and observations across the electromagnetic spectrum. Because of the large amount of HI gas with no extended optical counterpart, some researchers believe that the ring is a rare primordial cloud dating back to the time of the formation of the Leo I group. The ring might have formed out of the hot intergalactic medium, condensing as the gas started to experience the group's potential well. Or it might just be a leftover gas cloud which failed to collapse and form a galaxy. The primordial origin hypothesis has received much attention because the ring lacks a stellar counterpart. Massive HI clouds without extended star formation in the local Universe do not fit current cosmological models of galaxy formation, and this might explain the paucity of such clouds.

On the other hand, the ring shape of the Leo cloud may be explained as the result of a close encounter between two galaxies of the group about a billion years ago. During such interaction, tidal forces can remove gas from galaxy potential wells and shift it into intergalactic space. However, galaxy-to-galaxy encounters often disrupt part of the stellar component as well, leaving stellar tails and streams around galaxies. These have not been observed in the Leo I group. Moreover, as with other collisional rings, the gas may have been shocked and condensed during the removal process, forming stars through intense stellar bursts.

Measuring its heavy element abundances would go a long way toward putting an end to the long-standing debate on the ring's origin. Without a pervasive stellar population, the

ci si aspetta che le abbondanze siano molto più basse di quelle che caratterizzano il gas in una galassia, ovvero nel caso di origine collisionale. È a questo scopo che un gruppo di ricercatori dell'Osservatorio di Arcetri (E. Corbelli, G. Cresci, F. Mannucci, G. Venturi insieme a D. Thilker della J. Hopkins University) ha puntato lo strumento MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) montato al Very Large Telescope (VLT) dell'ESO verso l'anello del Leone. Grazie alla sua sensibilità lo strumento MUSE è in grado di analizzare spettroscopicamente la luce emessa anche da piccolissime regioni di gas caldo dell'anello e di trovare tracce di elementi pesanti. Occorreva però localizzare queste piccole regioni in una nube molto estesa, ipotizzare dove qualche rara stella di grande massa poteva essersi formata riscaldando il gas vicino ad essa. Elementi pesanti in un gas freddo non sarebbero rivelati da MUSE. L'elevata risoluzione spaziale del VLT e la rarità di stelle nell'anello richiedevano una strategia ben precisa per la scelta dei piccoli campi da osservare. La scelta è stata guidata dalla presenza di deboli sorgenti ultraviolette in prossimità dell'anello [2]. Essendo la luce ultravioletta misurata nel continuo, la maggior parte delle sorgenti potevano però essere più distanti o più vicine dell'anello stesso e sovrapporsi ad esso solo in proiezione. Esisteva comunque qualche sorgente coincidente con zone dell'anello dove il gas mostrava un'elevata concentrazione. In tal caso è più probabile che l'emissione ultravioletta provenga da stelle giovani dell'anello stesso. Le stelle infatti si formano dove il gas diventa più denso ed inizia il collasso gravitazionale, e quelle più massicce emettono molta luce nell'ultravioletto.

Osservando due piccole regioni ricche di gas e con emissione di luce ultravioletta sono state individuate nell'anello cinque nebulose di gas caldo, di cui

primordial gas is expected to have very low abundances of heavy elements, since these are produced by stellar nucleosynthesis. This is not the case if the gas has been hosted by a galaxy, i.e. for a ring cloud of collisional origin. With this aim in mind, a research group of the INAF-Arcetri Observatory (E. Corbelli, G. Cresci, F. Mannucci and G. Venturi, together with D. Thilker at J. Hopkins University) used the MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) mounted on the ESO Very Large Telescope (VLT) to observe regions of the Leo ring. Thanks to its sensitivity, the MUSE can detect the light spectrum emitted by tiny regions of hot gas in the ring, at a distance of 10 Mpc, and possibly reveal emission lines of heavy elements. The MUSE is not able to detect such lines in cold gas. The major challenge is to find these special rare hot regions in a huge gas cloud. Imaging only a few tiny fields with the high spatial resolution of the VLT required a specific observation strategy. The team thought that the most promising places to observe were gas peaks associated with some ultraviolet emission: here massive stars might have formed, emitting ultraviolet light and heating the surrounding gas [2]. As the ultraviolet light detected by the GALEX satellite has no spectroscopic information, the team did not know whether sources in the direction of the Leo ring were associated with background galaxies, Milky Way features or with the Leo ring. However, the presence of gas peaks in a few cases was encouraging: stars form where gas condenses into clumps, which later fragment and collapse.

Through spectroscopic imaging of two small gas-rich regions associated with some dim ultraviolet light, five nebular regions of hot gas were detected, of which the four most luminous turned out to host young stars, 20-30 times more massive than the sun. The Hubble Space Tel-

le quattro più brillanti sono risultate associate a stelle giovani, 20-30 volte più massicce del Sole. L'immagine di due di queste regioni con il telescopio spaziale Hubble ha mostrato la presenza di sorgenti puntiformi di magnitudine e colore corrispondente a stelle tipo spettrale O [3]. Il gas caldo intorno a queste stelle emette intense righe di emissione, alcune dovute ad elementi pesanti come l'ossigeno, l'azoto e lo zolfo. Le abbondanze di questi elementi sono risultate simili a quelle trovate nel Sole. L'esigua densità di stelle nell'anello tuttavia è incompatibile con l'ipotesi che gli elementi pesanti osservati siano stati prodotti dalle sole stelle dell'anello attraverso il processo di nucleosintesi. Elevate abbondanze chimiche necessitano di una elevata densità di stelle, molto maggiore di quanto imposto dai limiti osservativi sulla brillantezza superficiale e sui colori ottici dell'anello [4]. Il gas deve essere stato contaminato da elementi pesanti quando si trovava in un ambiente molto ricco di stelle, ovvero in una galassia. L'anello del Leone dunque non può essere primordiale: esso è costituito di gas e metalli riciclati ovvero rimossi da una galassia a causa di un violento incontro con un'altra galassia.

L'anello del Leone sarà sotto i riflettori anche nei prossimi anni. La presenza di poche giovani stelle e di elementi pesanti ci ha svelato parte della sua storia ma non sappiamo ancora quali galassie abbiano subito questo violento incontro. È probabile che fra queste ci sia M96, la spirale a sud dell'anello connessa a questo da un debole filamento gassoso [5]. Un'analisi accurata della dinamica dell'incontro dovrebbe chiarire anche perché la formazione di stelle proceda così lentamente e le basi del processo di formazione stellare in un ambiente così diverso dalle galassie.

escape view of two of these has clearly shown that individual O-type massive stars are powering the nebulae [3]. The strong emission lines of heavy elements such as oxygen, nitrogen and sulfur detected in the nebular spectra imply metal abundances close or above those of the sun. Because of the paucity of stars in the ring, all these elements cannot have been produced locally: a much higher surface density of stars than what has been observed would be needed [4]. The ring gas must have been polluted by heavy elements when it was in a stellar rich environment, such as a galaxy. The Leo ring therefore is not a primordial gas cloud but is made of gas mixed with recycled metals which were produced elsewhere, in a galaxy, and then removed during a cosmic collision.

Yet this is not the end of the story. Although we have established the collisional origin of the ring, thanks to the detection of heavy elements and massive stars, we still do not know which galaxies were involved in the collision. It is likely that one of them was the nearby M96 galaxy, since droplets of gas between the ring and this galaxy have been identified [5]. An accurate analysis of the ring dynamics should unveil why the collision did not produce stellar streams and why the ring is forming stars so slowly. In the ring environment, an unusual star forming process might take place, where stars form in isolation and are sparser than in a galactic disk. These stars can slowly build up new, diffuse dwarf galaxies, offering us the opportunity to study the rare process of galaxy formation in the nearby Universe.

Le poche stelle osservate potrebbero essere segnali della crescita di nuove, piccole galassie, un processo raro nell'Universo odierno che merita molta attenzione.

Bibliografia

- [1] Schneider S.E. et al. 1983, ApJL, 273, L1
- [2] Thilker D.A. et al.. 2009, Nature, 457, 990
- [3] Corbelli E. et al. 2021b, A&A, 651, 77
- [4] Corbelli E. et al. 2021a, ApJL, 908, L39
- [5] Michel-Dansac L. et al. 2010, ApJL, 717, L143

Edvige Corbelli è un'astronoma dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri esperta dell'Universo locale soprattutto per fenomeni connessi con la dinamica ed il processo di formazione stellare nelle galassie.

References

- [1] Schneider S.E. et al. 1983, ApJL, 273, L1
- [2] Thilker D.A. et al.. 2009, Nature, 457, 990
- [3] Corbelli E. et al. 2021b, A&A, 651, 77
- [4] Corbelli E. et al. 2021a, ApJL, 908, L39
- [5] Michel-Dansac L. et al. 2010, ApJL, 717, L143

Edvige Corbelli is a staff astronomer at INAF-Arcetri Observatory. She is an expert on the local Universe, with a particular interest in galaxy dynamics, interstellar medium and star formation in nearby galaxies.

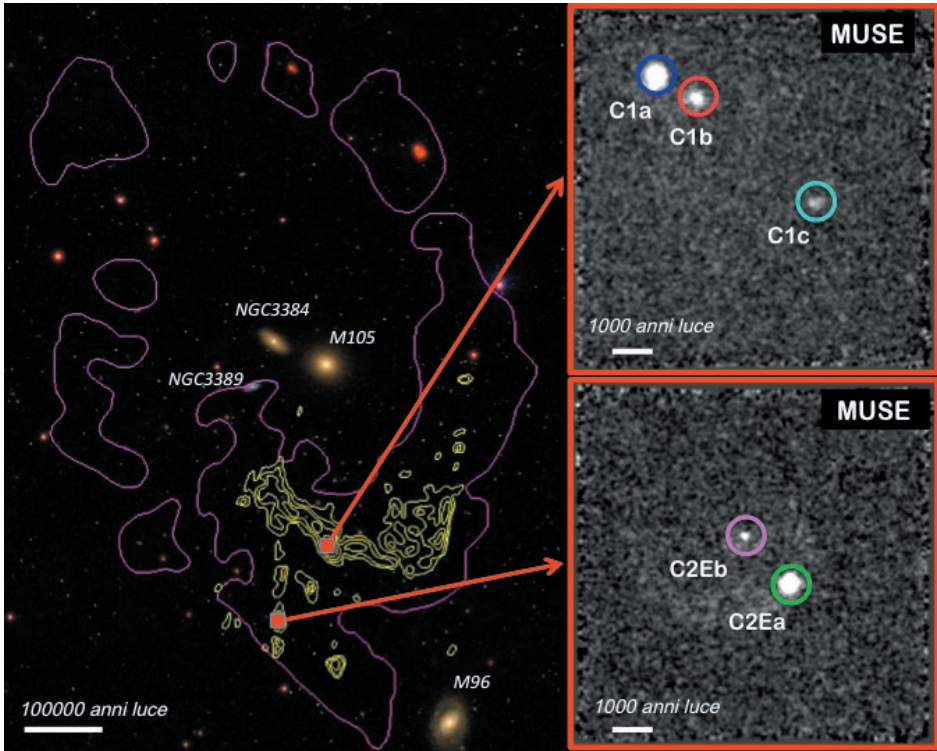


Figura 1. Nell'immagine di sinistra i contorni in magenta delimitano l'estensione del gas nell'anello del Leone intorno al tripletto di galassie al centro dell'immagine. In giallo i contorni relativi al gas più denso [Crediti: S. Schneider]. I due piccoli quadrati rossi indicano i campi osservati con il VLT. L'ingrandimento a destra ne mostra l'immagine nella riga H α dell'idrogeno. Le regioni in bianco, evidenziate dai cerchi colorati, sono le 5 nebulose di gas caldo con tracce di elementi pesanti rivelate da MUSE. La presenza di giovani stelle massicce in C1a e C1b è stata confermata da osservazioni fotometriche con il telescopio spaziale Hubble. [3][4]

Figure 1. In the left panel, magenta contours show the cold gas distribution in the Leo ring around the galaxy triplet at the image center. Yellow contours indicate denser gas, imaged with a radio interferometer [Credit: S. Schneider]. Red boxes show the MUSE fields observed with the VLT. Close-up views in the right panel display the MUSE image of these fields at the wavelength of the hydrogen H α line. Here the bright hot regions are the white clumps within the colored circles, where footprints of heavy elements have been found. Young massive stars in C1a and C1b have been confirmed by archival Hubble Space Telescope images [3][4].

Viola Gelli^{1,2}, Stefania Salvadori^{1,2}

A caccia di galassie nane all'alba dell'Universo

Hunting for dwarf galaxies at cosmic dawn

¹ Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze

² INAF, Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Il telescopio spaziale più grande mai costruito, il James Webb Space Telescope (JWST), sarà lanciato a ottobre 2021 e ci permetterà di osservare in profondità l'Universo lontano. Grazie a sofisticate simulazioni cosmologiche ad alta risoluzione, abbiamo dimostrato che JWST potrà osservare, per la prima volta, centinaia di sorgenti poco luminose ma fondamentali per la storia cosmica: le galassie nane satelliti.

Parole chiave. Galassie nane, prime galassie, JWST.

Come suggerisce il nome, le galassie nane sono oggetti astronomici piccoli, la cui massa è almeno cento volte inferiore rispetto a quella della nostra galassia, la Via Lattea. Nonostante ciò, i modelli cosmologici ci dicono che il ruolo che queste piccole ma numerose galassie nane hanno rivestito nella storia dell'Universo, dal Big Bang fino ai giorni nostri, è stato fondamentale. Sappiamo infatti che furono proprio queste ad ospitare le prime stelle formate nel cosmo, che iniziarono a brillare appena poche centinaia di milioni di anni dopo il Big Bang. Nel primo miliardo di anni di vita dell'Universo, inoltre, le galassie nane costituiva-

Abstract. The greatest space telescope ever built, the James Webb Space Telescope (JWST), will be launched in October 2021, allowing us to observe the distant Universe in depth. Thanks to sophisticated high-resolution cosmological simulations, we demonstrate that for the very first time JWST will observe hundreds of small sources which though very faint are fundamental in cosmic history: dwarf satellite galaxies.

Keywords. Dwarf galaxies, first galaxies, JWST.

As their name suggests, dwarf galaxies are small astrophysical objects with masses more than a hundred times less with respect to our Milky Way. Nevertheless, thanks to cosmological models we know that they have played a fundamental role in cosmic history, from the Big Bang to the present day. Dwarf galaxies were indeed the first galaxies to form in the Universe, hosting the first generations of stars that took shape just a few hundred million years after the



no la quasi totalità delle galassie e fu proprio in tali epoche remote che iniziarono ad assemblarsi tramite i cosiddetti eventi di *merger*, formando galassie via via più massicce. Le galassie nane rappresentano dunque i mattoni base a partire dai quali hanno avuto origine le grandi galassie odierne, come la nostra Via Lattea.

Data la loro piccola massa in stelle, inferiore a 1000 milioni di masse solari, le galassie nane sono quelle più deboli e dunque più difficili da osservare nell'Universo lontano, dove possiamo rivelare soltanto gli oggetti più brillanti. Pertanto, sebbene gli attuali telescopi siano riusciti a studiare in modo estremamente dettagliato le galassie nane vicine, che orbitano come satelliti attorno alla Via Lattea, al giorno d'oggi catturare la luce delle galassie nane più lontane rappresenta ancora una chimera. Tuttavia l'avvento del più grande telescopio spaziale mai esistito, il James Webb Space Telescope (JWST), il cui lancio è previsto per ottobre 2021, rivoluzionerà *completamente* questo scenario. JWST, che è frutto di una collaborazione internazionale tra NASA, Agenzia Spaziale Europea e Agenzia Spaziale Canadese ha uno specchio di 6,5 metri di diametro suddiviso in 18 esagoni ed è ottimizzato per osservare nell'infrarosso. Grazie all'espansione dell'Universo, infatti, la luce proveniente dalle galassie più distanti viene "stirata" a queste frequenze (*redshift*) mentre percorre lo spazio cosmico per giungere fino a noi. JWST ci fornirà quindi l'opportunità di studiare le galassie più remote, situate ad oltre 13 miliardi di anni luce da noi, immortalandone l'immagine all'alba dell'Universo. Quali caratteristiche ci attendiamo per le deboli galassie nane che popolavano il giovane Universo? JWST sarà davvero in grado di catturare la loro luce *per la prima volta*? E cosa ci riveleranno queste osservazioni?

Big Bang. During the first billion years of the Universe's existence, they represented the great majority of galaxies. Then they started coalescing, through so-called *merger events*, giving birth to progressively bigger galaxies. Hence dwarf galaxies constitute the basic building blocks for the formation of massive galaxies, such as our own Milky Way.

Due to their low stellar mass, lower than 1000 million solar masses, dwarf galaxies are also extremely faint. As a consequence, they are very difficult to detect, especially in the distant Universe where we are only able to capture the light of the most luminous objects. Indeed, our current telescopes are capable of studying in detail nearby dwarf galaxies that exist as satellites orbiting around the Milky Way, although detecting the light of the most distant ones still represents a great challenge. However, this scenario is going to be revolutionized very soon, with the advent of the greatest space telescope ever built: the James Webb Space Telescope (JWST). It is the fruit of collaboration between NASA, the European Space Agency and the Canadian Space Agency; its launch is scheduled for October 2021. Its mirror has a diameter of 6.5 meters and is composed of 18 hexagons. It is optimized for infrared observations: due to the continuous expansion of the Universe, the light of distant galaxies is indeed shifted to these wavelengths while traveling cosmic distances to reach us (*redshift*). JWST will therefore give us the opportunity to detect faint galaxies located more than 13 billion light-years away from us, capturing the light they produce at the dawn of the Universe.

What properties do we expect from the faint dwarf galaxies living in a very young Universe? Will JWST be effectively capable of catching their light *for the very first time*? What

Abbiamo risposto a queste domande grazie ad una sofisticata simulazione numerica cosmologica, capace di riprodurre su un super-computer l'evoluzione dell'Universo e di ciò che lo compone durante il suo primo miliardo di anni di vita. In particolare, la simulazione analizzata segue l'evoluzione di una tipica galassia remota massiccia, una così detta Lyman Break Galaxy (LBG), e dell'ambiente che la circonda. Abbiamo scelto di analizzare questa simulazione perché le galassie LBG, grazie alla loro estrema luminosità pari a più di dieci miliardi di volte quella del sole, sono tra le pochissime galassie remote ad essere già state identificate con i telescopi attuali.

La simulazione ci ha rivelato che, proprio come la nostra Via Lattea è circondata da galassie nane satelliti, anche intorno ad una tipica LBG primordiale vivono piccole galassie nane, al momento invisibili agli occhi dei nostri telescopi. Analizzando in dettaglio queste galassie satelliti ne abbiamo scoperto le proprietà: esse sono centinaia di volte meno massicce rispetto alla grande LBG a cui orbitano intorno e, al contrario di quest'ultima, sono povere di gas. La loro formazione ed evoluzione viene influenzata dalla presenza della vicina LBG e dall'ambiente particolarmente denso in cui vivono. Innanzitutto, molte galassie nane hanno subito eventi di merger. Inoltre, la composizione chimica delle loro stelle risente fortemente dei continui processi di formazione stellare all'interno della LBG: al termine della loro vita, infatti, le stelle più massicce esplodono come supernovae, liberando energia ed arricchendo con nuovi elementi chimici sintetizzati al loro interno l'ambiente intergalattico circostante, all'interno del quale nascono e vivono le galassie nane satelliti.

will we learn from such observations?

We answered these questions using a state-of-art cosmological simulation which through a supercomputer reproduces the evolution of the Universe during its first billion years. Specifically, the simulation targets a typical massive galaxy, a so-called Lyman Break Galaxy (LBG), and the environment surrounding it. We chose this kind of simulation because LBGs, thanks to their extremely high luminosities, are among the few distant galaxies that our current telescopes have already observed and identified.

The results of the simulation revealed that many small dwarf galaxies dwell and orbit around a typical primordial LBG, in the same way that our Milky Way is surrounded by its own satellite galaxies. Yet they are still invisible to the eyes of our current telescopes. We analyzed these sources in detail in the simulation and discovered their expected properties: they are more than a hundred times less massive than the nearby LBG, and they contain no gas, unlike this massive galaxy. Their formation and evolution have been strongly influenced by the LBG and by the dense environment in which they live in several ways. Firstly, many dwarf galaxies experienced merger events that characterize these dense regions. Secondly, the continuous processes of stellar formation happening in the LBG strongly affect the chemical composition of stars in the dwarf galaxies: when massive stars die, they explode as supernovae and pollute the surrounding environment in which dwarf galaxies form and live with new, heavier chemical elements.

Once we analysed the star formation and chemical histories of these primordial dwarf sat-

Una volta analizzate le storie evolutive e chimiche di queste prime galassie nane satelliti, siamo stati in grado di ricostruire il flusso di fotoni che ci aspettiamo che esse producano. Per farlo abbiamo tenuto di conto della loro emissione stellare e dell'effetto di attenuazione dovuto al gas e alla polvere presenti nel mezzo interstellare. Infine, abbiamo considerato gli effetti strumentali della camera infrarossa NIRCam che sarà a bordo di JWST. Nel riquadro di sinistra in Figura 2 è riportato il sistema di galassie predetto dalla simulazione cosmologica: il disco centrale corrisponde alla grande LBG mentre i punti luminosi circostanti sono proprio le galassie nane satellite. Nel riquadro di destra vediamo come la corrispondente immagine apparirà ai nuovi occhi di JWST in tipiche osservazioni profonde ottenute in 20 ore. I nostri risultati mostrano *per la prima volta* che JWST sarà davvero in grado di catturare la luce di galassie nane *satelliti* distanti 13 miliardi di anni luce, ovvero risalenti ad appena un miliardo di anni dopo il Big Bang. Inoltre, il nostro studio dimostra che queste deboli galassie satelliti possono essere facilmente identificate attorno alle luminose LBG e le loro proprietà fisiche svelate sfruttando le osservazioni dalla camera NIRCam a diverse lunghezze d'onda, i *colori*, che ci forniranno informazioni cruciali su età e metallicità stellari. Durante le campagne osservative ad alta priorità pianificate per i primi mesi di attività di JWST saranno osservate decine di galassie LBG remote. Qua risiede l'importanza del nostro lavoro. Stiamo infatti predicendo che mentre osserveremo le LBG, saremo anche in grado di identificare centinaia di galassie nane satelliti: un pasto gratis per JWST.

ellite galaxies, we were able to reconstruct the photon flux they are expected to produce. We considered their stellar emission along with the attenuation effects due to the presence of gas and dust. Finally, we reproduced the expected instrumental effects when images are taken through the near-infrared camera (NIRCam) on board JWST. In the left-hand panel of Figure 2, we can see the system of galaxies as predicted by high-resolution cosmological simulation: the central disk is the massive LBG, and the surrounding luminous dots are indeed the small dwarf satellite galaxies. On the right-hand side, we show the corresponding image as seen through the eyes of JWST in a typical deep observation with an exposure time of 20 hours. Our results show *for the first time* that the new space telescope will be able to successfully capture the light of satellite dwarf galaxies located as far away as 13 billion light-years, dating back to when the Universe was just one billion years old. We also demonstrate that these faint galaxies will be easily identified around luminous LBGs and that we will be able to derive their physical properties. This will be possible thanks to the numerous wavelengths used by NIRCam, which will allow us to observe different *colours* and thus acquire crucial information about stellar ages and metallicities. We expect to detect dozens of distant primordial LBGs already in the first high-priority observational campaigns planned for JWST: hence the importance of our study. Indeed, our results imply that hundreds of primordial dwarf satellite galaxies will be observed for the first time: a free lunch for JWST.

Viola Gelli è dottoranda presso l'Università degli Studi di Firenze dove nel 2019 ha conseguito la Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche con la sua Tesi "*Popolazioni stellari di galassie nane ad alto redshift*", i cui risultati sono stati pubblicati sulla rivista scientifica MNRAS. Il suo secondo studio "*Dwarf satellites of high-z Lyman Break Galaxies: a free lunch for JWST*" è stato appena pubblicato nella prestigiosa rivista ApJ Letters. È stata selezionata da ESO per presentare i suoi risultati all'importante evento degli "*ESO Hypatia Colloquia*".

Stefania Salvadori è Professore Associato di Fisica e Astrofisica presso l'Università degli Studi di Firenze dove è rientrata nel 2017 con una borsa Rita Levi Montalcini. Nel 2018 ha conseguito un finanziamento ERC-starting grant per il suo progetto *NEFERTITI* (NEar-FiEld cosmology Re-Tracing Invisible Times) che le ha permesso di formare il suo gruppo di ricerca. Nel 2019 le è stato conferito il Fiorino d'oro dalla città di Firenze.

Viola Gelli is a PhD student at the University of Florence, where in 2019 she took her Master's Degree in Physical and Astrophysical Sciences with the thesis "The stellar populations of high-redshift dwarf galaxies". The results of this study have been published in the peer-reviewed scientific journal MNRAS. Her second study, "Dwarf satellites of high-z Lyman Break Galaxies: a free lunch for JWST", has just been published in the prestigious journal ApJ Letters. She has been selected by ESO to present her results during the prestigious "ESO Hypatia Colloquia".

Stefania Salvadori is an Associate Professor in Physics and Astrophysics at the University of Florence, to which she returned in 2017 with a Rita Levi Montalcini fellowship. In 2018 she won an ERC-starting grant with the project "NEFERTITI" ("NEar-FiEld cosmology Re-Tracing Invisible Times"), which allowed her to form her research group. In 2019 she was awarded the Fiorino d'Oro by the city of Florence.

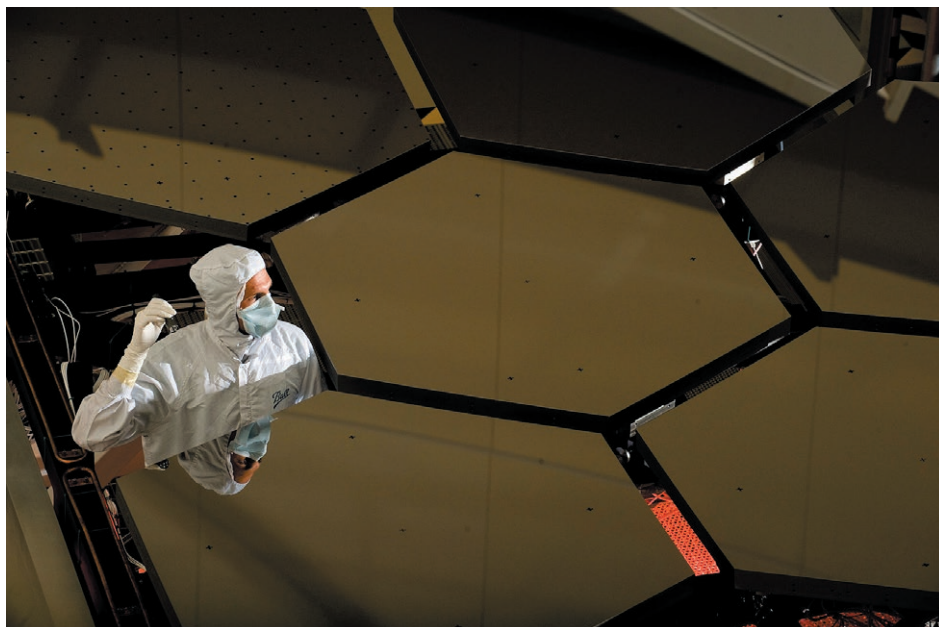


Figura 1. Sei dei 18 specchi esagonali del James Webb Space Telescope in fase di preparazione. Credit: NASA/MSFC/David Higginbotham/Emmett Given.

Figure 1. Six of the 18 hexagonal mirrors of the James Webb Space Telescope being readied for shipment. Credit: NASA/MSFC/David Higginbotham/Emmett Given

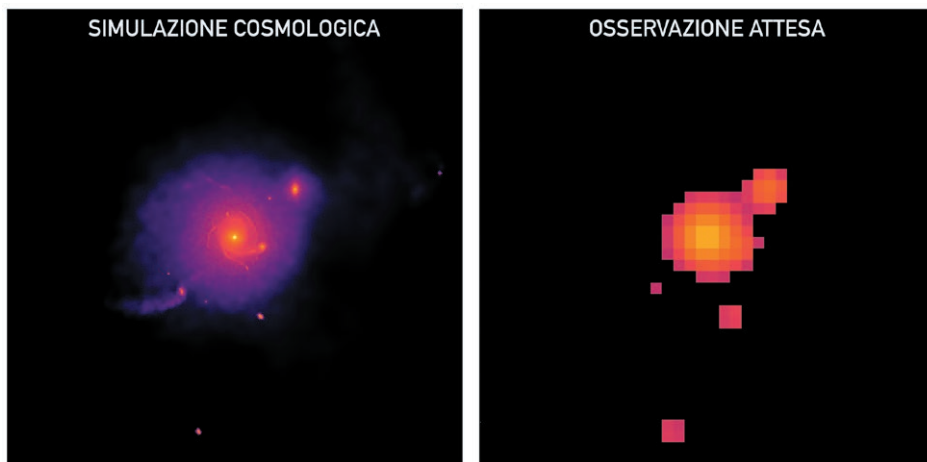


Figura 2. A sinistra vediamo la galassia LBG centrale e le sue 5 galassie nane satelliti come riprodotte dalla simulazione cosmologica ad alta risoluzione. A destra una riproduzione di come il sistema sarà osservato da JWST in 20 ore di osservazione nel filtro F356W.

Figure 2. Left: the central LBG and its five satellite dwarf galaxies as reproduced by the high-resolution cosmological simulation. Right: a mock image of how the system will appear in a JWST observation of 20 hours with the F356W filter.

Jacopo Soldateschi, Niccolò Bucciantini

Teorie alternative della gravità e stelle di neutroni

Alternative theories of gravity and neutron stars

Dipartimento di Fisica e Astronomia - Università degli Studi di Firenze
INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri
INFN - Sezione di Firenze

Riassunto. La relatività generale è la teoria correntemente accettata che descrive il funzionamento della gravità. Nonostante i suoi incredibili successi, negli anni sono emersi alcuni problemi che essa mostra, sia nello spiegare alcuni fenomeni astronomici, sia dal punto di vista puramente concettuale. In questo articolo mostriamo come una particolare classe di teorie che estendono la relatività generale modifichi la struttura e le caratteristiche delle stelle più estreme, le stelle di neutroni.

Parole chiave. gravitazione, stelle di neutroni, campo magnetico, teorie alternative della gravità.

Il funzionamento della gravità, la più debole delle quattro interazioni conosciute in natura, è correntemente descritto dalla teoria della relatività generale, ideata da Albert Einstein durante gli inizi del Novecento. Questa teoria ha finora riscontrato incredibili successi, riuscendo a spiegare correttamente fenomeni così differenti come la fusione di buchi neri in altre galassie, o la più familiare caduta dei gravi. Tuttavia, col passare del tempo sono anche sorte alcune problematiche che la relatività generale non sembra essere in grado di risolvere. Dal punto di

Abstract. General relativity is the currently accepted theory describing how gravity works. In spite of its incredible success, over the years some problems have emerged, both in explaining some astronomical phenomena and in grasping the theory from the purely conceptual point of view. In this work, we show how a particular class of theories which extend general relativity modify the structure and the features of the most extreme stars, neutron stars.

Keywords. Gravitation, neutron stars, magnetic field, alternative theories of gravity.

Gravity, the weakest of the four fundamental interactions known to exist in nature, is currently explained by the theory of general relativity, conceived by Albert Einstein at the start of the twentieth century. This theory has so far proved to be greatly successful, managing to explain phenomena as different as the coalescence of black holes in other galaxies or the more familiar physics of falling bodies. However, as time went by, some problems arose that general



vista puramente teorico e concettuale, essa non sembra poter fornire la base della cosiddetta gravità quantistica, ossia la teoria che dovrebbe essere in grado di unificare i diversi domini della gravità e della meccanica quantistica. Dal punto di vista sperimentale, la curva di rotazione delle galassie, così come l'evoluzione dell'universo stesso, richiedono, per essere spiegate, l'introduzione di una forma di materia-energia totalmente sconosciuta, la materia oscura e l'energia oscura. Una possibile soluzione a questi problemi, alternativa anche all'introduzione di materia ed energia oscura, sono le "teorie alternative della gravità": teorie che estendono la relatività generale in modo da sopperire alle sue mancanze. Tra le molte teorie alternative che sono state proposte, quelle più promettenti sembrano essere le "teorie scalar-tensor". Secondo queste, l'interazione gravitazionale è mediata sia da una particella chiamata gravitone, che per le sue caratteristiche fisiche viene detta "tensoriale", che da una ipotetica particella "scalare".

Nel nostro lavoro abbiamo studiato come gli oggetti materiali più estremi dell'universo conosciuto, le stelle di neutroni, si comportano all'interno di alcune teorie scalar-tensor. Infatti, una classe di queste teorie contiene un effetto fisico chiamato "scalarizzazione spontanea", il quale prevede che l'effetto del campo scalare diventi via via più importante con l'aumentare della compattezza della materia in cui si trova. Dato che le stelle di neutroni sono gli oggetti materiali più compatti dell'universo conosciuto, è chiara la loro importanza nel testare le teorie alternative della gravità. Inoltre, questo effetto permette alle stelle di neutroni di mostrare evidenti, ossia potenzialmente osservabili, modifiche rispetto alla loro controparte in relatività generale, e al tempo stesso permette a questa classe di te-

relativity does not seem to be able to solve. From the purely theoretical and conceptual point of view, it does not seem suitable to form the basis of quantum gravity, that is, the theory that should unify the domains of gravity and quantum mechanics. From the experimental point of view, the rotation curve of galaxies as well as the evolution of the universe itself require the existence of a completely unknown form of matter-energy, dark matter and dark energy. A possible solution to these problems, which also represents an alternative to the introduction of dark matter and dark energy, is that of "alternative theories of gravity": theories which extend general relativity in such a way as to resolve these issues. Among the many proposed alternative theories of gravity, the most promising ones seem those belonging to the "scalar-tensor" category. In these theories, the gravitational interaction is mediated both by a particle known as the graviton, which is called "tensorial" because of its physical properties, and by a hypothetical "scalar" particle.

In our work, we have studied how the most extreme material objects in the known universe, neutron stars, behave in some scalar-tensor theories. In fact, a particular class of these theories contains a physical phenomenon called "spontaneous scalarization", according to which the effect of the scalar field becomes more important as the surrounding matter becomes more compact. Since neutron stars are the most compact material objects in the known universe, their importance in testing alternative theories of gravity becomes clear. Moreover, this phenomenon allows neutron stars to display evident – that is, potentially observable – modifications with respect to their counterparts in general relativity, while allowing this class of theories to remain

orie di rimanere accettabile secondo i più stringenti limiti provenienti dalle osservazioni astronomiche. In Figura 1 e Figura 2 mostriamo la sezione di una stella di neutroni contenente un campo scalare al suo interno per due diverse configurazioni del campo magnetico: puramente toroidale e puramente poloidale, rispettivamente. Una stella di neutroni reale, per quanto l'esatta geometria del suo campo magnetico interno costituisca un'incognita, ci aspettiamo che contenga un campo magnetico con una configurazione intermedia tra queste due, che quindi ne costituiscono i casi limite. Partendo da sinistra vediamo l'intensità del campo magnetico, la distribuzione di densità della materia e il valore del campo scalare. Vediamo come la distribuzione del campo scalare rimanga sostanzialmente sferica, anche per stelle la cui distribuzione di densità risulti notevolmente deformata dal campo magnetico. Questo implica che il campo scalare agisce in senso opposto al campo magnetico, tendendo a rendere la stella più sferica e riducendone la deformazione. Una stella di neutroni deformata e ruotante emette onde gravitazionali, in quantità tale da essere proporzionale alla sua deformazione. Per questo motivo, studiando la riduzione della deformazione dovuta alla presenza del campo scalare, abbiamo dimostrato come le stelle di neutroni "scalarizzate" emettano meno energia sotto forma di onde gravitazionali "standard" rispetto alla loro controparte in relatività generale, con una conseguente difficoltà nella loro potenziale osservabilità. D'altra parte, le teorie scalar-tensor permettono anche l'emissione di un particolare tipo di onda gravitazionale, non presente in relatività generale, che quindi, se rivelata, dimostrerebbe in maniera inequivocabile come la teoria di Einstein non costituisca la spiegazione ultima dell'interazione gravitazionale.

viable according to the most stringent constraints coming from astronomical observations. In Figures 1 and 2 we show the section of a neutron star containing a scalar field for two different magnetic field configurations: purely toroidal and purely poloidal, respectively. Although the geometry of its internal magnetic field remains unknown, a real neutron star is expected to contain a magnetic field with an intermediate configuration between these two, which thus constitute the limiting cases. Starting from the left, we see the intensity of the magnetic field, the distribution of the matter density and the value of the scalar field. We see how the distribution of the scalar field remains more or less spherical, and this also holds true for stars that exhibit a strong deformation in their density distribution due to the magnetic field. This implies that the scalar field acts in an opposite way with respect to the magnetic field, making the star more spherical and reducing its deformation. A deformed, rotating neutron star emits gravitational waves, their amount being proportional to the neutron star deformation. For this reason, studying the decrease in the deformation caused by the presence of a scalar field, we showed how "scalarized" neutron stars emit less energy in "standard" gravitational waves with respect to their counterparts in general relativity, thus limiting their potential observability. On the other hand, scalar-tensor theories also allow the emission of a particular kind of gravitational wave, which does not exist in general relativity, and which would, if discovered, constitute the smoking gun that Einstein's theory is not the definitive theory of the gravitational interaction.

Finally, yet another unknown complicates the scenario: the composition of the innermost part of neutron stars, encoded in the "equation of state", is not known. The effects that a dif-

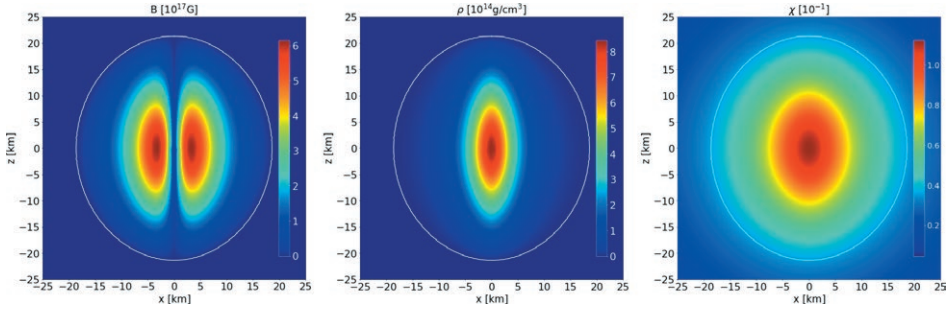


Figura 1. Intensità del campo magnetico (grafico a sinistra), della densità di materia (grafico centrale) e del campo scalare (grafico a destra) in una stella di neutroni caratterizzata da un campo magnetico puramente *toroidale*. La linea bianca demarca la superficie della stella

Figure 1. Intensity of the magnetic field (left plot) and scalar field (right plot) in a neutron star endowed with a purely toroidal magnetic field. The white line indicates the star's surface.

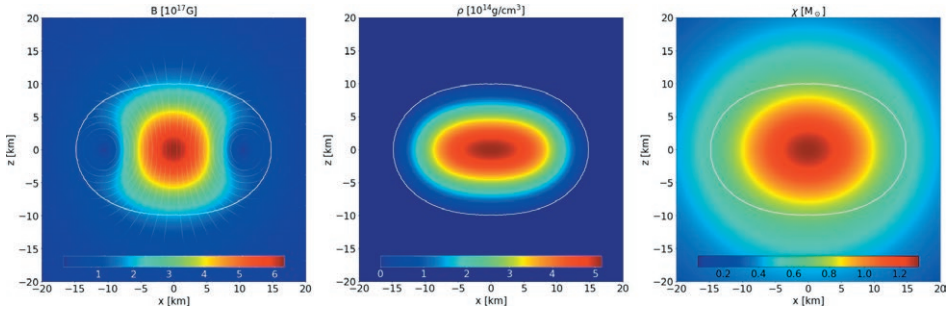


Figura 2. Intensità del campo magnetico (grafico a sinistra), della densità di materia (grafico centrale) e del campo scalare (grafico a destra) in una stella di neutroni caratterizzata da un campo magnetico puramente *poloidale*. La linea bianca demarca la superficie della stella.

Figure 2. Intensity of the magnetic field (left plot), matter density (center plot) and scalar field (right plot) in a neutron star endowed with a purely poloidal magnetic field. The white line indicates the star's surface.

ferent equation of state has in the observable features of a neutron star are, unfortunately, similar to the effects caused by the presence of a scalar field. Our work has shown that there exist some “quasi-universal relations” between some of these observable quantities. The main importance of these relations is that they are valid for almost any equation of state, thus allowing one to extract information from observations on the main unknowns regarding neutron stars, such as the geometry of their internal magnetic field or the presence of a scalar field, without knowing their equation of state.

Jacopo Soldateschi is a Ph.D. student at the University of Florence. He graduated first from the University of Siena and then from the University of Florence. He now works on numerical simulations of neutron stars in general relativity and its extensions.

Niccolò Bucciantini is a research scientist at INAF-Arcetri Astrophysical Observatory and was the third Italian to win the prestigious Hubble Fellowship. His scientific interests include high-energy astrophysics, numerical relativistic plasma physics and Pulsar Wind Nebulae. He is also a proponent of the Magnetar model for Gamma-Ray Bursts.

Infine, è noto come un'altra incognita complichino la situazione: la composizione della parte più interna delle stelle di neutroni, riassunta nella cosiddetta "equazione di stato", è tuttora sconosciuta. Gli effetti che una differente equazione di stato ha nelle caratteristiche osservabili di una stella di neutroni sono, sfortunatamente, simili agli effetti dovuti alla presenza di un campo scalare. Nel nostro lavoro abbiamo dimostrato come esistano delle "relazioni quasi-universali" tra alcune di queste quantità osservabili. La caratteristica fondamentale di queste relazioni sta nel fatto di valere per quasi qualunque equazione di stato, dunque permettendo di estrarre dalle osservazioni informazioni sulle principali incognite riguardanti le stelle di neutroni, come la struttura del loro campo magnetico interno o l'eventuale presenza di un campo scalare, senza conoscere la loro equazione di stato.

Jacopo Soldateschi è dottorando presso l'Università degli Studi di Firenze. Laureato prima all'Università degli Studi di Siena e poi all'Università degli Studi di Firenze, si occupa attualmente di simulazioni numeriche di stelle di neutroni in relatività generale e sue estensioni.

Niccolò Bucciantini è un ricercatore presso INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, ed è stato il terzo italiano a vincere la prestigiosa Hubble Fellowship. I suoi interessi scientifici includono l'astrofisica delle alte energie, la fisica numerica dei plasmi relativistici, le nebulose da Pulsar, ed inoltre è fra i proponenti del modello a magnetar per i Gamma-Ray Bursts.

Giada Petringa^{1,4}, Giuliana Milluzzo¹, Pablo Cirrone^{1,5}, Dario Giove², Luca Labate³, Leonida A. Gizzi³

Nuove prospettive per l'adroterapia con gli acceleratori laser-plasma

New perspectives for hadron therapy with laser-plasma accelerators

¹ Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori nazionali del Sud, Catania (Italia)

² Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, LASA, Segrate (MI) (Italia)

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Nazionale di Ottica (CNR-INO), Pisa (Italia)

⁴ ELI Beamlines, Institute of Physics (IoP), Czech Academy of Sciences (CAS), Dolní Břežany (ELI), Prague, Repubblica Ceca

⁵ Dipartimento di Fisica ed Astronomia "E Majorana", Università di Catania, Catania (Italia)

Riassunto. Tra le applicazioni mediche principali dei fasci di ioni, di particolare interesse è il loro impiego nella radioterapia oncologica, denominata adroterapia. L'adroterapia è oggi disponibile in pochi centri specializzati presso i quali sono installati grandi, complessi e costosi acceleratori di particelle, inizialmente sviluppati per studi di fisica fondamentale. Dagli anni 2000, la ricerca di base ha portato allo sviluppo di nuove tecniche di accelerazione di ioni basate sulla interazione di impulsi laser ultra intensi con la materia, potenzialmente in grado di accelerare protoni ad energie di interesse per le applicazioni mediche ed radioterapiche. Studi recenti, capaci di integrare queste tecniche di accelerazione con siste-

Abstract. Among the main medical applications of ion beams, of particular interest is their use in oncological radiotherapy, called hadron therapy. Nowadays, this treatment is only available at a few specialized centers where large, complex and expensive particle accelerators have been installed, which were originally developed for fundamental physics research. Since the 2000's, basic research has led to the development of new techniques of ion acceleration based on the interaction of ultra-intense laser pulses with matter, which is potentially able to accelerate protons up to the energy needed for medical and radiotherapy applications. Recent studies showed the possibility of coupling these novel acceleration techniques to particle beam transport lines; these studies thus open to the usage of such beams for radiobiology experiments, for research into the fundamental mechanisms of the interaction of radiation with biological systems, and for medical applications.

Keywords. Intense lasers, plasma acceleration, radiotherapy.



mi di trasporto dei fasci prodotti, stanno dimostrando che è possibile, a partire da queste sorgenti, realizzare fasci con caratteristiche di interesse per la radiobiologia, per lo studio dei meccanismi fondamentali nell'interazione della radiazione con i sistemi biologici e per le applicazioni mediche.

Parole chiave. Laser alta intensità, accelerazione a plasma, radioterapia.

La radioterapia rappresenta uno degli approcci più importanti, insieme alla chirurgia ed alla chemioterapia, per la cura del cancro: in base a dati recenti, si stima che circa il 50% dei pazienti oncologici vengano sottoposti, durante il decorso della malattia, ad un trattamento radioterapico, anche se questa percentuale presenta grandi variazioni tra le diverse aree geografiche.

La radioterapia si avvale di radiazioni ionizzanti in grado, cioè, di ionizzare gli atomi dei tessuti attraversati e indurre un danno letale alle cellule tumorali. L'entità del danno indotto dipende dal rilascio di energia, usualmente descritta in termini di *dose*, ovvero energia assorbita dal tessuto per unità di volume. Dato che tutti i tessuti, in generale, sono suscettibili al danno da radiazione, il principale fattore limitante della radioterapia è rappresentato dalla necessità di contenere il danno ai tessuti sani che circondano il tumore. Un trattamento radioterapico mira, dunque, a indurre nelle cellule che costituiscono la massa tumorale "bersaglio" il maggior danno possibile, minimizzando al contempo il danno al tessuto circostante.

Along with surgery and chemotherapy, radiology represents one of the most important approaches for treating cancer. According to recent studies, it can be estimated that 50% of cancer patients undergo radiotherapy treatments during the course of the illness, although this percentage shows great variation among geographic areas.

Radiotherapy uses ionizing radiation to ionize the atoms of the traversed tissues, in order to cause lethal damage to tumor cells. The extent of the induced damage depends on the release of energy, which is normally described in terms of doses, that is, the amount of energy absorbed by the tissue per unit of volume. Given that all tissues are generally susceptible to radiation damage, the main limiting factor of radiotherapy consists in the need to limit the damage to the healthy tissue which surrounds the tumor. Radiotherapy, then, aims to cause as much damage as possible to the cells which make up the "target" tumor mass, while at the same time minimizing damage to the surrounding tissue.

In this regard, a first consideration consists in the observation that, following radiation damage which is not immediately lethal, cells are able to activate chemical and biological processes that repair the damage in question. With the same administered dose, tumor cells have a reduced capacity and/or velocity of repairing compared to healthy cells, at least in most tumors. In particular, practitioners speak of an interval of radiation doses, the so-called "therapeutic window", within which resulting damage to healthy tissue is relatively limited, contrary to what happens in the tumor mass. Ultimately, this leads to so-called "fractioning" of doses, to be administered in several sessions spread out over time.

A questo riguardo, una prima considerazione consiste nell'osservare che le cellule sono in grado di mettere in atto, in seguito ad un danno da radiazione non immediatamente letale, processi chimico-biologici di riparazione del danno stesso; a parità di dose ricevuta, le cellule tumorali possiedono, almeno nella maggior parte dei tumori, una ridotta capacità e/o velocità di riparazione in confronto alle cellule sane. In particolare, esiste un intervallo di dose di radiazione, la cosiddetta "finestra terapeutica", entro la quale il danno risultante al tessuto sano è relativamente limitato, contrariamente a quanto accade alla massa tumorale; questo porta, in ultima analisi, al cosiddetto "frazionamento" della dose da impartire in più sessioni distribuite nel tempo.

La ricerca biomedica punta in generale ad accrescere questa finestra terapeutica, cercando meccanismi biologici che risultino, a parità di dose rilasciata, in un maggior danno alle cellule tumorali o ad un minore danno alle cellule sane. Il cosiddetto "effetto FLASH" osservato di recente [1] si inserisce in questo contesto e verrà descritto in maggior dettaglio nel seguito. Un secondo metodo per accrescere l'efficacia dei trattamenti radioterapici consiste nel massimizzare il rapporto tra la dose depositata nel tessuto tumorale e quella depositata nel tessuto sano. Questo è possibile sia variando il tipo e l'energia delle particelle ionizzanti che impiegando complesse configurazioni di irraggiamento del tumore.

A oggi, la radioterapia è effettuata mediante l'utilizzo di radiazioni aventi caratteristiche differenti. In *radioterapia convenzionale* vengono utilizzati elettroni e fotoni mentre, nella cosiddetta *adroterapia* si utilizzano particelle quali protoni e ioni. La scelta nell'utilizzo di una radioterapia convenzionale piuttosto che

Biomedical research generally aims to expand this therapeutic window by searching for biological mechanisms that produce greater damage to tumor cells or less damage to healthy ones, at the same dose level. The so-called FLASH effect that has recently been observed [1] can be framed in this context; it will be described in more detail below. A second method for increasing the effectiveness of radiotherapy treatments consists in maximizing the ratio between the dose reaching the tumor tissue and that reaching healthy tissue. This is made possible by both varying the type and energy of the ionized particles and using complex irradiation configurations on the tumor.

Today, radiotherapy is applied by means of the use of radiations with different characteristics. *Conventional radiotherapy* uses electrons and photons; by contrast, *hadron therapy* uses particles, such as protons and ions. The decision to use conventional radiotherapy rather than hadron therapy is made on the basis of the anatomical region to be treated – whether, for example, it is close to a vital organ – and of the radio resistance of the tumor.

Hadron therapy takes advantage of the particular pattern of energy loss of charged particles in physiological material, and in particular of the so-called Bragg peak. This allows for energy to be deposited deep into tumors with extreme precision while minimizing damage to the surrounding healthy tissue. In addition, ions have the advantage, from a biological point of view, of having a greater biological effectiveness with respect to conventional radiation (electrons and photons) at the same dosage level; they prove to be essential in the case of particularly resistant neoplasia and/or ones which are close to particularly radiosensitive critical organs.

dell'adroterapia viene compiuta tenendo conto della regione anatomica da trattare, ad esempio, se vicina ad un organo vitale, e della radioresistenza della patologia tumorale.

L'adroterapia sfrutta il peculiare andamento della perdita di energia delle particelle cariche nella materia in funzione della profondità, la cosiddetta curva o "picco" di Bragg, che consente di depositare l'energia in modo estremamente preciso in profondità, minimizzando il danno ai tessuti sani circostanti. Gli ioni mostrano, inoltre, un vantaggio dal punto di vista biologico rispetto alle radiazioni convenzionalmente adoperate, quali fotoni ed elettroni, in quanto presentano una superiore efficacia biologica a parità di dose rilasciata e risultano quindi essenziali nel caso di forme neoplastiche particolarmente radioresistenti e/o vicine ad organi critici particolarmente radiosensibili.

L'adroterapia, tuttavia, richiede una strumentazione particolarmente complessa, ossia acceleratori di particelle quali ciclotroni e sincrotroni, i cui costi di costruzione, installazione ed esercizio sono ad oggi proibitivi per diversi Paesi e sistemi sanitari nazionali e ne limitano la diffusione nelle strutture ospedaliere.

Nel corso degli ultimi due decenni è emerso un campo di ricerca, la cosiddetta accelerazione laser-plasma, che ha portato a risultati molto rilevanti ed entusiasmanti anche per le prospettive di impiego in radioterapia. Un acceleratore laser-plasma si basa sull'impiego di impulsi laser di durata estremamente breve, pari a poche decine di femtosecondi, ed energia per impulso di qualche Joule. Impulsi laser con queste caratteristiche vengono generati utilizzando la tecnica nota come "Chirped Pulse Amplification" dimostrata per la prima volta nel 1985 da G.

Nonetheless, hadron therapy requires quite complex equipment, namely accelerators of particles such as cyclotrons and synchrotrons, whose construction, installation and operational costs are prohibitive for various countries and national health care systems today, thereby limiting their use in hospitals.

Over the last two decades, a new field of research has emerged, the so-called laser-plasma acceleration, which has led to some quite significant and encouraging results, including potential uses in radiotherapy. A laser-plasma accelerator is based on the use of laser pulses of extremely short duration, equal to only several tens of femtoseconds, and pulse energy of just a few Joules. Laser pulses with these characteristics are generated using the technique known as "Chirped Pulse Amplification," which was demonstrated for the first time in 1985 by G. Mourou and D. Strickland [2], who received the Nobel Prize for Physics in 2018 [3]. These pulses are focused, using reflective optics consisting of off-axis parabolic mirrors, onto a suitable target, within a focal spot with typical micrometer size. At the focal point, the intensity – that is, the power per unit surface – reaches extremely high levels, up to 10^{20} W/cm². This interaction immediately leads to the formation of a plasma and activates physical processes in the plasma which cause the acceleration of beams of electrons and protons/ions [4]. The accelerated fields allow the acceleration of particles on very small distances, up to three orders of magnitude smaller than those required on conventional radiofrequency accelerators, such as LINACs in the case of electrons or cyclotrons/synchrotrons in the case of hadrons. This approach allows particle beams with the typical energy required for radiotherapy applications

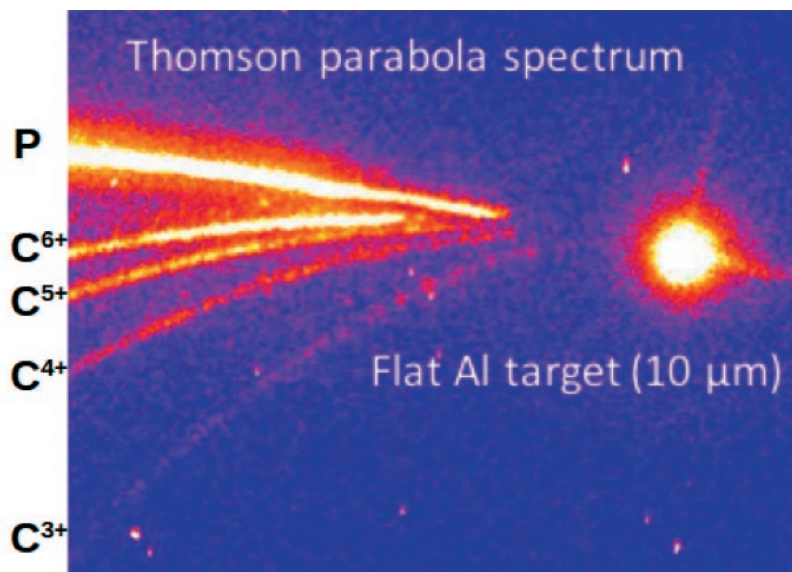


Figura 1. Un tipico segnale di adroni accelerati da irraggiamento di un bersaglio di alluminio di 10 μm di spessore con il laser ultra intenso del laboratorio ILIL durante una campagna di misura in preparazione all'esperimento LPA2 [5]. L'immagine mostra l'analisi ottenuta con la tecnica della parabola Thomson che consente di distinguere le varie specie ioniche e i relativi stati di carica e permette di ottenere una misura dell'energia di questi ioni.

Figure 1. A typical signal of accelerated hadrons obtained by the focusing an ultra-intense laser pulse on an aluminum target of 10 μm thickness, during a measurement campaign in preparation for an LPA2 experiment at the ILIL laboratory [5]. The image shows the analysis obtained with the Thomson parabola technique, which allows the various ionic types and relative charge states to be distinguished and the energy of these ions to be measured.

to be obtained using accelerators of reduced dimensions; for this reason they are also referred to as "tabletop" accelerators.

The characteristics of these beams, however, are peculiar when compared to those produced by conventional acceleration machines. In particular, particle beams accelerated via laser-matter interaction features more ionic species (see Figure 1), are more intense and of much shorter duration. In order to translate these beams to the medical practice, therefore, these characteristics require preliminary studies of their radiobiological effects, which are potentially different from those of conventional beams. In addition, techniques and devices which are commonly used to measure quantities necessary for their application – such as doses, flux and energy spectrum – require innovative approaches and new protocols.

In particular, what is needed is a beam transport and delivery system able, first of all, to eliminate undesired particles so as to assure that the beam's energy, intensity and geometric characteristics are such that they convey the required dose for each specific use. Once these critical points regarding generation, acceleration and transport have been addressed and resolved, we must consider that the clinical application of radiotherapy requires precise dosimetric control. The most suitable dosimeters for absolute dosimetry are those based on ionization chambers. Detectors using semiconductors, meanwhile, are employed to monitor relative doses. Finally, sometimes different types of passive dosimeters are used, such as films: these are detectors based on thermally or optically stimulated luminescence. Beams generated by lasers are very short and very intense; their dosimetric characterization requires the development of

Mourou e D. Strickland [2], insigniti del Premio Nobel per la Fisica nel 2018 [3]. Questi impulsi vengono focalizzati su un bersaglio con un'ottica in riflessione costituita da un paraboloide fuori asse, in uno *spot* di dimensioni micrometriche. Nel punto di fuoco l'intensità, ovvero la potenza per unità di superficie, raggiunge valori elevatissimi, fino a 10^{20} W/cm². Questa interazione porta immediatamente alla formazione di un plasma e consente di attivare nel plasma dei processi fisici che portano all'accelerazione di fasci di elettroni o protoni/ioni [4]. I campi acceleranti sono tali da permettere l'accelerazione di particelle su distanze molto contenute, fino a tre ordini di grandezza più piccole, a parità di energia finale della particella, rispetto al caso degli acceleratori convenzionali a radiofrequenza, come i LINAC nel caso degli elettroni o i ciclotroni/sincrotroni nel caso degli adroni. Questo approccio consente di ottenere fasci di particelle con energia di interesse per la radioterapia con acceleratori di dimensioni ridotte, per questo motivo anche denominati “*table-top*”.

Le caratteristiche di questi fasci sono, però, peculiari, rispetto a quelli prodotti dalle macchine acceleratrici convenzionali. I fasci di particelle accelerati da interazione laser-materia contengono più specie ioniche (vedi Figura 1) e sono molto più intensi e temporalmente estremamente più brevi. Queste caratteristiche richiedono dunque, ai fini della traslazione nella pratica medica, lo studio preliminare dei loro effetti radiobiologici, potenzialmente diversi rispetto ai fasci convenzionali. Inoltre, le tecniche e i dispositivi che comunemente si utilizzano per la misura di quantità fondamentali per le applicazioni, come ad esempio la dose, la fluenza e lo spettro energetico, necessitano di innovativi approcci e nuovi protocolli.

new instruments rather than adaptation of existing equipment.

The delivery of dose in clinical irradiation with conventional beams is essentially based on two different methodologies: a precise scan of the volume in question using well confined beams, or a diffusion technique. The former method is quite complex, although it allows the area in question to be irradiated with great precision once it has been reconstructed by means of thousands of elements with defined volumes. This technique takes advantage of various parameters, such as an optimal definition of the energy and of the spatial distribution of the beam.

The temporal structure of laser-driven particle beams, which currently involves relatively low pulse frequency repetition rates, requires a new strategy for delivering the dose, given that it must be delivered within the same (or perhaps a shorter) time used for conventional treatment by a much lower number of pulses compared to conventional ion beams.

At the same time, acceleration by lasers generates single pulses which are quite intense and brief. Since each pulse releases a high dose, this may result in a different radiobiological effect compared to that caused by conventional beams. These elements must be studied in advance, first through *in vitro* studies with different lines of tumor cells and healthy tissues, and then by means of preclinical *in vivo* studies with irradiation of an animal model.

Different research lines on laser-plasma particle acceleration are being pursued at the Pisa section of the CNR's National Institute of Optics, based on the use of a laser system delivering ultra-short, ultra-intense pulses with power greater than 200 TW. In this context, the LPA2 experiment, funded by the National Institute of Nuclear Physics (INFN), is linked to the devel-

Risulta necessario un sistema di trasporto ed erogazione del fascio in grado, in primo luogo, di eliminare le particelle indesiderate e quindi garantire che l'energia del fascio, la sua intensità e le sue caratteristiche geometriche siano tali da erogare la dose richiesta per lo specifico utilizzo. Affrontati e risolti i punti critici legati al fenomeno di generazione, accelerazione e trasporto, si deve considerare che l'applicazione clinica della radioterapia richiede un controllo dosimetrico preciso. I dosimetri maggiormente adottati per la dosimetria assoluta sono quelli basati su camere a ionizzazione. Rivelatori basati sui semiconduttori vengono, invece, adoperati per monitorare la dose relativa. Infine, vengono talvolta utilizzati diverse tipologie di dosimetri passivi, inclusi film, rivelatori a luminescenza stimolata termica e ottica. I fasci generati dal laser sono fasci molto brevi e molto intensi, e la loro caratterizzazione dosimetrica richiede lo sviluppo di nuovi strumenti, più che un adattamento della strumentazione preesistente.

La somministrazione della dose nell'irradiazione clinica con fasci convenzionali fa riferimento sostanzialmente a due metodologie differenti: una scansione puntuale del volume d'interesse utilizzando fasci ben collimati oppure una tecnica di diffusione. Il primo metodo è piuttosto complesso ma consente di irradiare la zona di interesse con estrema precisione dopo una sua ricostruzione sulla base di migliaia di elementi di volume definiti, sfruttando parametri quali un'ottima definizione dell'energia e della distribuzione spaziale del fascio.

La struttura temporale dei fasci accelerati dal laser, caratterizzata ora da una bassa frequenza di ripetizione dell'impulso richiede una nuova strategia per l'erogazione della dose, poiché la dose deve essere erogata entro lo stesso (o forse

opment of initiatives within the research line devoted to the laser-plasma acceleration of ions, which has been carried over the last four years [4]. The goal is to transport proton beams in order to carry out studies on dosimetry and radiobiology with this type of beam. In a recent experimental campaign carried out in the context of this experiment, for the first time a proton beam with energy up to around 7 MeV has been transported and characterized from a dosimetric point of view. These results make possible the use of beams for studying radiobiological damage in controlled conditions; as such they are of great interest for future applications in radiotherapy.

Concerning the beam transport line, the involved scientists have chosen to use permanent magnetic quadrupoles (see Fig. 2) with very high gradients (ca. 100 T/m) and limited dimensions (lengths of 40 to 80 mm), and with the possibility of transporting beams with transverse geometric envelopes up to 20mm. Methods involving the use of pulsed magnetic solenoids are also being studied, taking advantage of the pulsed nature of the phenomenon of laser emission so as to be able to reach extremely high magnetic fields (up to 50 T) with solenoids as well.

Because of the high rate of doses typical of the proton beams accelerated via laser-plasma acceleration, which can reach values of 10^9 Gy/s (as compared to conventional values of 10-20 Gy/min), most detectors recommended for dosimetry, such as ionization chambers or solid state detectors, suffer from effects of signal saturation, which lowers their collection efficiency and therefore compromises their responses. For this reason, accurate measurement of doses can be achieved by using devices whose responses do not depend on the beam dose

più breve) tempo di trattamento convenzionale da un numero molto inferiore di impulsi rispetto ai fasci ionici convenzionali.

Allo stesso tempo, l'accelerazione da laser determina la generazione di singoli impulsi molto intensi e brevi che rilasciano una dose elevata e questo può dar luogo ad un effetto radiobiologico differente rispetto a quello indotto dai fasci convenzionali. Questi aspetti devono essere preliminarmente studiati, dapprima mediante studi in vitro con differenti linee cellulari tumorali e di tessuto sano, seguiti da studi preclinici in vivo con irradiazioni di un modello animale.

Presso il Laboratorio di Irraggiamento con Laser Intensi della sede di Pisa dell'Istituto Nazionale di Ottica del CNR sono attive linee di ricerca sull'accelerazione di particelle laser-plasma basate sull'impiego di un sistema laser ad impulsi ultracorti ed ultra intensi di potenza superiore a 200 TW. In questo contesto, l'e-

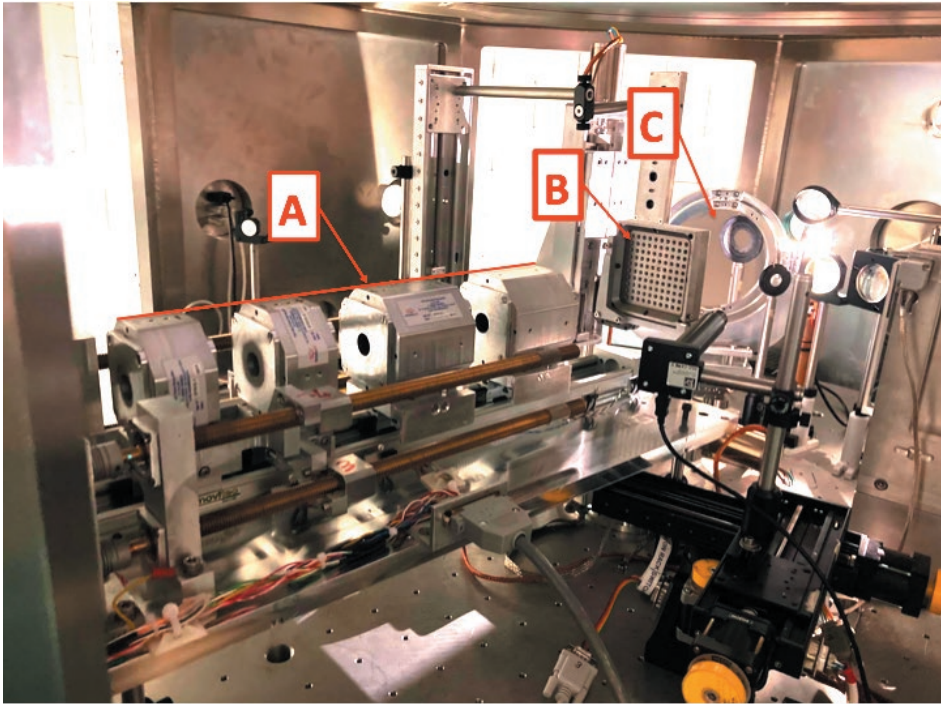


Figura 2. L'acceleratore laser-plasma di protoni sviluppato nell'ambito del progetto LPA2 e operante presso il Laboratorio di Irraggiamento Laser intensi (ILIL) del CNR-INO di Pisa. In primo piano è visibile il sistema di quadrupoli magnetici (A) per il trasporto del fascio di protoni sviluppati dall'INFN (Laboratori Nazionali del Sud e Sezione di Milano). I protoni vengono generati dall'interazione dell'impulso laser di 200 TW focalizzato sul target (B) dal sistema di focalizzazione costituito da un paraboloide fuori asse (C).

Figure 2. The laser-plasma proton accelerator developed in the context of the LPA2 project, used at the Intense Laser Irradiation Laboratory (ILIL) of the Pisa section of CNR-INO. The magnetic quadrupole system is visible in the foreground (A): this instrument, developed by the INFN (National Laboratories of the South and the Section of Milan), is used to transport the proton beam. The protons are generated by the interaction of the 200 TW laser pulse focused on the target (B) by the focusing system, which consists of an off-axis paraboloid.

sperimento "LPA2" finanziato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) si collega all'attività di sviluppo della linea di ioni accelerati mediante interazione laser-plasma condotta negli ultimi anni [4] e si propone di trasportare il fascio di protoni per effettuare studi di dosimetria e radiobiologia con questo tipo di fasci. In una recente campagna sperimentale condotta nell'ambito di questo esperimento, è stato per la prima volta trasportato e caratterizzato dal punto di vista dosimetrico un fascio di protoni con energia fino a circa 7 MeV. Questi risultati aprono la strada alla possibilità di impiegare il fascio per misure di danno radiobiologico in condizioni controllate e di grande interesse per le future applicazioni in radioterapia.

Per quanto riguarda la linea di trasporto del fascio, si è scelto di utilizzare quadrupoli a magneti permanenti (vedi Figura 2) con gradienti elevatissimi (circa 100 T/m) e con dimensioni ridotte (lunghezze da 40 a 80 mm) con possibilità di trasportare fasci con involucri geometrici trasversali fino a 20 mm. Sono anche allo studio schemi che prevedono l'uso di solenoidi magnetici impulsati, per trarre vantaggio dalla natura pulsata del fenomeno di emissione laser così da poter raggiungere campi magnetici estremamente elevati (sino a 50 T) anche con solenoidi.

A causa dell'elevato rateo di dose dei fasci di protoni accelerati da laser, che può raggiungere valori di 10^9 Gy/s contro i valori convenzionali di 10-20 Gy/min, la maggior parte dei rivelatori raccomandati per la dosimetria, come le camere a ionizzazione o i rivelatori a stato solido, soffrono di effetti di saturazione del segnale che ne abbassano l'efficienza di raccolta e ne pregiudicano, quindi, la risposta. Per tale motivo, una misura accurata della dose può essere effettuata uti-

rate, such as the so-called Faraday Cup, radiochromic films or ionization chambers, as long as suitable correction factors are applied to the last mentioned. In this regard, the scientific community, and in particular the group of researchers at the National Laboratories of the South of the National Institute of Nuclear Physics (Catania, Italy), is developing innovative devices able to measure doses released by protons and ions produced by laser-plasma interaction, with an accuracy similar to that required for clinical applications. This development is of great importance in the context of future prospects for using such beams for multidisciplinary applications, such as radiobiology and perhaps also radiotherapy.

As we have already mentioned, an unexpected and particularly relevant biological effect for controlling damage to healthy tissues and side effects in radiotherapy has been recently observed and studied with beams with much higher dose rates than those traditionally used for clinical applications. To date, these observations show that this biological effect, known as the "FLASH" effect, is triggered with beams with a dose rate >40 -100 Gy/s, affecting in particular the response of healthy tissue cells, which show a greater survival rate compared to irradiation with beams with standard dose rates, typically 10-20 Gy/min. At the same time, experiments show that beams with these high dose rates maintain their effectiveness on tumor tissue. The use of these beams in the clinical practice of hadron therapy, then, could produce enormous advantages, in that it would allow for a reduction of damage to healthy tissues located near the tumor and for the simultaneous increase in the effectiveness of treatment of radio resistant tumors. For this reason, the study of the FLASH effect and the related

lizzando dispositivi la cui risposta non dipende dal rateo di dose del fascio, come la cosiddetta *Faraday Cup*, i film radiocromici o le camere a ionizzazione, a condizione di applicare a queste ultime opportuni fattori di correzione. A tal proposito la comunità scientifica, ed in particolare un gruppo di ricercatori dei Laboratori Nazionali del Sud dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Catania, Italia), sta sviluppando dei dispositivi innovativi capaci di misurare la dose rilasciata da protoni e ioni prodotti da interazione laser-plasma con una precisione analoga a quella richiesta per applicazioni cliniche. Questo è di fondamentale importanza nella prospettiva futura di utilizzare tali fasci per applicazioni multidisciplinari come la radiobiologia e, in prospettiva, la radioterapia.

Come già anticipato, un effetto biologico inaspettato e particolarmente rilevante per il controllo del danno ai tessuti sani e degli effetti collaterali in radioterapia è stato recentemente osservato e studiato con fasci aventi ratei di dose molto più elevati di quelli tradizionalmente utilizzati per le applicazioni cliniche. Le osservazioni attuali mostrano che questo effetto radiobiologico, denominato effetto "FLASH", si innesca con fasci aventi un rateo di dose $>40-100$ Gy/s, ed ha un particolare impatto sulla risposta delle cellule dei tessuti sani che mostrano una maggiore sopravvivenza rispetto all'irraggiamento con fasci con rateo di dose standard, tipicamente $10-20$ Gy/min. D'altra parte, la sperimentazione sta dimostrando che i fasci con alto rateo di dose mantengono la loro efficacia sul tessuto tumorale. L'utilizzo di questi fasci nella pratica clinica della adroterapia, quindi, costituirebbe un enorme vantaggio in quanto permetterebbe la riduzione del danneggiamento dei tessuti sani situati in prossimità del tumore e il contempo-

basic biological and physical mechanisms has recently attracted the attention of the scientific community, leading researchers to specifically investigate to what extent the dose rate, temporal duration of the irradiation, and total released dose affect biological effectiveness. In this context, laser-accelerated proton beams, such as those studied by the scientists involved in the LPA2 experiment at the LLIL laboratory – which are characterized by very high dose rates, different orders of magnitudes (greater than those for which the FLASH effect has been observed) and extremely reduced temporal durations – make possible the study of a completely new and unexplored radiobiological regime, which cannot be achieved with conventional acceleration techniques.

The experimental platform which has been set up will allow researchers to pursue this type of study in the context of a wide-range multidisciplinary collaboration and connecting to similar initiatives which are currently being developed throughout the world [3], thanks to the availability of more and more advanced CPA laser technologies. Such initiatives include the European Extreme Light Infrastructure, which was recently inaugurated and established as a European consortium (ERIC), of which Italy is a founding member. The principal aim of these studies is to measure the biological damage caused by radiation, also in conditions that allow the biological bases of the FLASH effect to be investigated. To this purpose, a number of elements will turn out to be of fundamental importance: the stability of the laser-plasma source and the collection, transport and spectral selection of protons, on the one hand, and the dosimetry of the beam on the biological sample, on the other. The experimental campaigns car-

aneo aumento dell'efficacia del trattamento dei tumori radioresistenti. Per tale motivo lo studio dell'effetto FLASH e dei relativi meccanismi biologici e fisici di base ha recentemente attirato l'attenzione nella comunità scientifica e ha spinto ad investigare, nello specifico, quanto il rateo di dose, la durata temporale dell'irraggiamento e la dose totale rilasciata possano incidere sull'efficacia biologica. In questo contesto i fasci di protoni accelerati da laser come quelli studiati presso il laboratorio ILIL dalla collaborazione LPA2, caratterizzati da ratei di dose elevatissimi, diversi ordini di grandezza più elevati di quelli per i quali è stato osservato l'effetto FLASH, e da durate temporali estremamente ridotte, permettono di investigare un regime radiobiologico completamente nuovo e inesplorato, che non può essere raggiunto con le tecniche di accelerazione convenzionale.

La piattaforma sperimentale messa a punto consentirà questo tipo di studi nel quadro di ampie collaborazioni multidisciplinari e il collegamento con analoghe iniziative attualmente in fase di sviluppo in tutto il mondo [3] grazie alla disponibilità di tecnologie laser CPA sempre più avanzate, come l'Europea *Extreme Light Infrastructure* recentemente inaugurata e costituita come consorzio europeo (ERIC) di cui l'Italia tra i membri fondatori. Obiettivo principale di questi studi è la misura di danno biologico da radiazione, anche in condizioni tali da poter esplorare le basi biologiche dell'effetto FLASH. A questo scopo, fondamentali saranno la stabilità della sorgente laser-plasma, la raccolta, il trasporto e la selezione spettrale dei protoni da una parte e la dosimetria del fascio sul campione dall'altra, risultati acquisiti nella sperimentazione condotta in questi anni e che ha messo a frutto le competenze espresse dalla collaborazione tra il CNR e l'INFN.

ried out in the frame of the ongoing collaboration between CNR and INFN allowed insights on all these issues to be gained over the past few years.

References

- [1] Ultrahigh dose-rate FLASH irradiation increases the differential response between normal and tumor tissue in mice, Vincent Favaudon et al. *Sci Transl Med* 6, 245ra93 (2014).
- [2] Compression of amplified chirped optical pulses, D.Strickland, G.Mourou, *Optics Comm.*, 56, 219 (1985).
- [3] Gerard Mourou, Nobel Lecture: Extreme light physics and application", *Rev. Mod. Phys.*, 91, 030501 (2019).
- [4] Laser-Driven Sources of High Energy Particles and Radiation, Lecture Notes of the "Capri" Advanced Summer School, Leonida Antonio Gizzi et al., Editors, Springer Proceedings in Physics book series, SPPHY, volume 231, (2019).
- [5] Light Ion Accelerating Line (L3IA): Test experiment at ILIL-PW, L.A. Gizzi, F. Baffigi, F. Brandia, G. Bussolino, G. Cristoforetti, A. Fazzi, L. Fulgentini, D. Giove, P. Koester, L. Labate,b, G. Maero, D. Palla, M. Romé, P. Tomassini *NIM A* 909, 160 (2018).

Bibliografia

- [1] *Ultrahigh dose-rate FLASH irradiation increases the differential response between normal and tumor tissue in mice*, Vincent Favaudon et al. *Sci Transl Med* 6, 245ra93 (2014).
- [2] *Compression of amplified chirped optical pulses*, D.Strickland, G.Mourou, *Optics Comm.*, 56, 219 (1985).
- [3] *Gerard Mourou, Nobel Lecture: Extreme light physics and application*, *Rev. Mod. Phys.*, 91, 030501 (2019).
- [4] *Laser-Driven Sources of High Energy Particles and Radiation*, Lecture Notes of the “Capri” Advanced Summer School, Leonida Antonio Gizzi et al., Editors, *Springer Proceedings in Physics* book series, SPPHY, volume 231, (2019).
- [5] *Light Ion Accelerating Line (L3IA): Test experiment at ILIL-PW*, L.A. Gizzi, F. Baffigi, F. Brandia, G. Bussolino, G. Cristoforetti, A. Fazzi, L. Fulgentini, D. Giove, P. Koester, L. Labate, G. Maero, D. Palla, M. Romé, P. Tomassini *NIM A* 909, 160 (2018).

Sommario | Table of contents

Volume 10 – 2 · 2021

PILLOLE DI STORIA / HISTORICAL PILLS

Come fu che l'Osservatorio Astronomico di Arcetri divenne Astrofisico | How the Arcetri Astronomical Observatory became Astrophysical 5
SIMONE BIANCHI

Arcetri, 1934: una nuova via per le Scienze | Arcetri, 1934: A new road for the Sciences 21
MASSIMO MAZZONI

RAPPORTI DI ATTIVITÀ / ACTIVITY REPORTS

INO Annual Symposium 2020. *Quantum for Renaissance* 43
GIACOMO ROATI

IN EVIDENZA / HIGHLIGHTS

La fase supersolida della materia | *The supersolid phase of matter* 45
GIOVANNI MODUGNO

Stelle massicce svelano l'origine del gigantesco anello di gas nel Leone | *Massive stars unveil the origin of the giant HI ring in Leo* 55
EDVIGE CORBELLI

A caccia di galassie nane all'alba dell'Universo | *Hunting for dwarf galaxies at cosmic dawn* 61
VIOLA GELLI, STEFANIA SALVADORI

Teorie alternative della gravità e stelle di neutroni | *Alternative theories of gravity and neutron stars* 67
JACOPO SOLDATESCHI, NICCOLÒ BUCCIANTINI

Nuove prospettive per l'adroterapia con gli acceleratori laser-plasma | *New perspectives for hadron therapy with laser-plasma accelerators* 73
GIADA PETRINGA, GIULIANA MILLUZZO, PABLO CIRRONI, DARIO GIOVE, LUCA LABATE, LEONIDA A. GIZZI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

INAF



ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
OSSERVATORIO ASTRONOMICICO 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