

Volume 12

IL COLLE
di
GALILEO

1 · 2023

IL COLLE di GALILEO



ISSN
2281-7727

fi
FIRENZE
UNIVERSITY
PRESS

Il Colle di Galileo

Volume 12, 1, 2023



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, *CNR Istituto Nazionale di Ottica, Direttore*
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



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE



ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

OSSERVATORIO ASTROFISICO DI ARCETRI

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

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

© 2023 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

SOMMARIO

- 5 **Introduzione**
Introduction
Sofia Randich
- 11 **150 anni di Osservatorio ad Arcetri**
150 years of Observatory in Arcetri
Simone Bianchi
- 25 **Astrofisica delle Alte Energie ad Arcetri**
High Energy Astrophysics in Arcetri
Rino Bandiera, Barbara Olmi
- 35 **La radioastronomia all'Osservatorio di Arcetri: le antenne italiane, ALMA e SKA**
Radioastronomy at Arcetri Observatory: Italian antennas, ALMA and SKA
Gianni Comoretto
- 45 **Lo studio delle stelle e della formazione stellare ad Arcetri**
The study of stars and star formation at Arcetri
Daniele Galli, Sofia Randich
- 55 **Venti anni di spettroscopia da terra e dallo spazio**
Twenty years of spectroscopy from the ground and from space
Andrea Tozzi
- 63 **Astronomia extragalattica ad Arcetri**
Extragalactic Astronomy at Arcetri
Filippo Mannucci, Leslie K. Hunt, Roberto Maiolino
- 69 **L'ottica adattiva ad Arcetri e il *Large Binocular Telescope***
The Arcetri Adaptive Optics group and the Large Binocular Telescope
Simone Esposito

- 79 I 150 volti dell'Osservatorio: proposte innovative per le scuole e sul territorio
The 150 faces of the Observatory: innovative projects for school education and
science communication
Edvige Corbelli, Alessandra Zanazzi
- 85 Storia, scienza e musica all'Osservatorio di Arcetri
History, science and music at the Arcetri Observatory
Antonella Gasperini



Introduzione

Introduction

Sofia Randich

Direttrice dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Il 27 ottobre 1872 ebbe luogo la seconda e definitiva inaugurazione dell'Osservatorio di Arcetri, che fece seguito alla prima provvisoria installazione del telescopio Amici avvenuta tre anni prima (vedi il contributo di Bianchi, questo volume). Per celebrare questo evento, l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri ha organizzato l'iniziativa "150 anni di ricerca all'Osservatorio di Arcetri". Le celebrazioni, distribuite su un periodo di tre settimane, sono iniziate il 27 ottobre 2022 con un convegno storico-scientifico durante il quale si sono ripercorse le fasi più importanti dello sviluppo dell'Osservatorio e delle ricerche che oggi vi vengono svolte. L'iniziativa si è chiusa il 17 novembre 2022 con un evento istituzionale che ha visto la partecipazione del Presidente dell'INAF Marco Tavani, del Consiglio di Amministrazione e rappresentanti del Consiglio Scientifico INAF, dell'Assessora del Comune di Firenze Maria Federica Giuliani, della Presidente della V Commissione della Regione Toscana Cristina Giachi, della pro-rettrice alla ricerca dell'Università degli Studi di Firenze Debora Berti, di rappresentanti delle istituzioni cittadine e regionali, di colleghi ed amici. Nel periodo compreso tra i due eventi si sono realizzate numerose attività per il pubblico, sia all'Osservatorio (eclissi di sole, osservatorio aperto) che in città (conferenze pubbliche, passeggiata astro-turistica). Questo volume riporta gli atti del convegno. La breve introduzione che segue è una sintesi dei saluti di benvenuto da me rivolti ai presenti nelle giornate del 27 ottobre e 17 novembre.

The second and definitive inauguration of the Arcetri Observatory was held on the 27th of October 1872, following the first provisional installation of the Amici telescope three years earlier (see Bianchi's contribution, this volume). To celebrate the anniversary of this event, the Arcetri Astrophysical Observatory organized "150 Years of Research at the Arcetri Observatory". The celebrations began on the 27th of October 2022 with a historical-scientific conference, during which the most important phases of the Observatory's development and the research being carried out there today were retraced, and were spread over a period of three weeks. They ended on the 17th of November 2022, with an institutional event attended by INAF President Marco Tavani, the Board of Directors and representatives of the INAF Scientific Council, the Councillor of the Municipality of Florence Maria Federica Giuliani, the President of the Fifth Commission of the Region of Tuscany Cristina Giachi, the pro-rector for research at the University of Florence Debora Berti, representatives of the city and regional institutions, colleagues and friends. Between the two events, numerous activities were organized for the

L'ambizione di Donati

Nel discorso scritto per l'inaugurazione dell'Osservatorio, il suo fondatore e primo direttore Giovan Battista Donati sottolineava: *Le ere della storia, le date degli imperi, sono poco, al paragone quell'era memorevole e gloriosa che Galileo segnò nella scienza: e ciò nondimeno, io oso affermare che il sorgere in Italia di un Osservatorio come questo, segnerà in avvenire nella nostra storia scientifica una data quasi altrettanto importante e memorabile.*

Dopo 150 anni, l'ambizione di Donati è ancora viva e vibrante; la sua eredità è stata raccolta e arricchita negli anni. Non solo all'Osservatorio si svolge oggi ricerca di punta, ma, dopo 150 anni, l'Osservatorio, con le sue diverse anime, costituisce una comunità sempre più proiettata verso nuovi orizzonti, sfide scientifiche, e culturali in generale.

Certamente i risultati di oggi sono anche frutto del grande contributo dei colleghi che ci hanno preceduto e dei direttori che mi hanno preceduto; grazie ad una continuità di intenti e ad una sempre rinnovata ambizione all'eccellenza, l'Osservatorio, le sue attività, la rete di collaborazioni, la partecipazione ai grandi progetti internazionali sono cresciute negli anni.

L'Osservatorio oggi

L'Osservatorio Astrofisico di Arcetri è una delle sedi più grandi dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF); a questo proposito è importante ricordare che

public, both at the Observatory (solar eclipse, open observatory) and in the town (public lectures, astro-tourism walk). This volume contains the conference proceedings. The brief introduction that follows is a summary of my welcome to those present on the 27th of October and on the 17th of November.

Donati's ambition

In the speech written for the Observatory's inauguration, its founder and first director Giovan Battista Donati said: *"The eras of history, the dates of empires, are little in comparison to the memorable and glorious era that Galileo marked in science: nevertheless, I dare to affirm that the birth in Italy of an Observatory like this will mark an almost equally important and memorable date in our scientific history in the future."*

150 years later, Donati's ambition is still alive and kicking. His legacy has been taken up and enriched over the years. Not only does cutting-edge research take place at the Observatory today, but 150 years on, the Observatory, with its various souls, is a community that is increasingly projected towards new horizons, scientific challenges and cultural challenges in general.

Without doubt, today's results are also the fruit of the great contribution of the colleagues who preceded us and the directors who preceded me. Thanks to a continuity of intent and an ever-renewed ambition to achieve excellence, the Observatory, its activities, its network of collaborations and its participation in major international projects have grown over the years.

la spinta verso la creazione di un istituto nazionale, più di 20 anni fa, è venuta anche da Franco Pacini stesso. Essere parte di INAF ha arricchito e potenziato la progettualità dell'Osservatorio, valorizzando le competenze già presenti. L'Osservatorio e le sue attività sono in continua crescita, non solo quantitativa; il personale di ricerca, da una parte è aumentato numericamente, in particolare negli ultimi anni; dall'altra, si trova in prima linea su una ampia varietà di ricerche sia di astrofisica di frontiera, sia relative alle tecnologie d'avanguardia per l'astrofisica.

Le tematiche scientifiche, affrontate dal punto di vista teorico e con osservazioni astronomiche, spaziano dalla formazione ed evoluzione delle galassie, all'astrofisica delle alte energie; dalla archeologia Galattica, alla formazione stellare e planetaria, ai pianeti extrasolari; dall'astrochimica, all'astrobiologia e sistema solare. In campo tecnologico, le attività "storiche", come ottiche adattive e studio della turbolenza, sviluppo di tecnologie di piano focale, e radioastronomia si sono ulteriormente rafforzate; a queste si è recentemente aggiunta la partecipazione allo sviluppo di missioni spaziali rivolte ad eso-pianeti. I ricercatori e tecnologi dell'Osservatorio sono coinvolti con ruoli di rilievo e spesso di guida in molti dei grandi progetti/survey osservativi, così come nello sviluppo dei futuri grandi telescopi e della loro strumentazione, quali per esempio, lo Extremely Large Telescope (ELT), lo Square Kilometer Array (SKA) e la missione spaziale ARIEL. Sottolineo che lo sviluppo di tecnologie innovative ha anche un'importante ricaduta sulla società, la partecipazione alle attività INAF rivolte allo studio e contrasto alla diffusione del COVID-19 ne sono un esempio. Infine, è importante evidenziare anche la trasversalità e/o la multidisciplinarietà di alcune ri-

The Observatory today

The Arcetri Astrophysical Observatory is one of the largest sites of the National Institute of Astrophysics (INAF) and, with this in mind, it is important to remember that it was Franco Pacini who pushed for the creation of a national institute, more than 20 years ago. Being part of INAF has enriched and strengthened the Observatory's projects, enhancing the skills already present. The Observatory and its activities are growing constantly, not only in terms of quantity. On one hand, the research staff has increased numerically, particularly in recent years, and on the other, it is at the forefront of a wide variety of research activities, both in frontier astrophysics and in cutting-edge technologies for astrophysics.

Scientific topics, addressed from a theoretical point of view and with astronomical observations, range from the formation and evolution of galaxies, to high-energy astrophysics; from galactic archaeology, to star and planetary formation, to extrasolar planets; from astrochemistry, to astrobiology and the solar system. In the technological field, "historical" activities, such as adaptive optics and the study of turbulence, the development of focal plane technologies and radio astronomy have been further strengthened. A recent addition has been the participation in the development of space missions aimed at exo-planets. The Observatory's researchers and technologists are involved in prominent and often leading roles in many of the large observational projects/surveys, as well as in the development of future large telescopes and their instrumentation, e.g., the Extremely Large Telescope (ELT), the Square Kilometer Array

cerche (l'astrobiologia e l'astrochimica, per esempio) e la forte sinergia fra coloro che sviluppano strumentazione e chi si occupa di temi scientifici, tutti elementi senza dubbio vincenti.

I risultati eccellenti non si limitano alla ricerca, ma si estendono a molti altri aspetti ed attività, dei quali la ricerca stessa beneficia. Fra questi ricordo in modo sintetico le collaborazioni in particolare quella con il Dipartimento di Fisica e Astronomia con il quale sono condivisi molti progetti e attività; le relazioni professionali con il sistema delle aziende/imprese/industrie a livello locale e nazionale ed il trasferimento tecnologico; l'attenzione verso i giovani e la loro formazione; l'internazionalizzazione; la cura e valorizzazione del patrimonio storico (vedi il contributo di Gasperini). Un altro elemento fondamentale e caratterizzante è l'apertura verso la società; l'Osservatorio è da decenni in prima linea nella diffusione della cultura e della ricerca scientifica tramite un'ampia rosa di attività, anche inclusive, rivolte al pubblico, alla cittadinanza e alle scuole in particolare (vedi il contributo di Corbelli e Zanazzi). Non è necessario sottolineare che questa è una missione di primaria importanza alla quale numerosi colleghi partecipano con impegno, tempo, ed entusiasmo. Per mille motivi, la ricerca deve essere condivisa, raccontata e spiegata, dai bambini delle scuole elementari ai pensionati.

Non posso non menzionare infine il supporto fondamentale, le competenze, l'efficienza, la dedizione e il senso di appartenenza dell'amministrazione, del personale della biblioteca, del comparto tecnico nelle sue diverse articolazioni; supporto che non è diminuito nonostante la contrazione numerica del personale impegnato in questi settori. È certamente grazie a tutti loro se siamo capaci di

(SKA), and the ARIEL space mission. I would like to emphasize that the development of innovative technologies also has an important impact on society: participation in INAF activities aimed at studying and containing the spread of COVID-19 is an example of this. Finally, it is also important to highlight the transversality and/or multidisciplinary nature of some research (astrobiology and astrochemistry, for example) and the strong synergy between those who develop instrumentation and those who deal with scientific issues, all of which are undoubtedly winning elements.

Excellent results are not limited to research but extend to many other aspects and activities, from which the research itself benefits. These include, briefly, collaborations, particularly with the Department of Physics and Astronomy, with which many projects and activities are shared; professional relations with the system of companies/enterprises/industries on a local and national level and technology transfer; attention to young people and their training; internationalization; and the care and enhancement of historical heritage (see Gasperini's contribution).

Another fundamental and characterizing element is openness towards society. For decades the Observatory has been at the forefront in the dissemination of culture and scientific research through a wide range of activities, some of which inclusive, aimed at the public, citizens and schools in particular (see Corbelli and Zanazzi's contribution). There is no need to stress that this is a mission of primary importance in which numerous colleagues participate with commitment, time, and enthusiasm. For a thousand reasons, research must be shared, disclosed and explained to audiences ranging from primary school children to pensioners.

fronteggiare un'evoluzione e crescita delle attività così veloce e su fronti così diversificati. A tutti loro va il mio riconoscimento.



Figura 1. Il personale dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri al Teatro del Cielo il 27 ottobre 2022.

Figure 1. The staff of the Arcetri Astrophysical Observatory at the Teatro del Cielo on the 27th of October 2022.

Lastly, I cannot fail to mention the fundamental support, skills, efficiency, dedication and sense of belonging of the administration, the library staff and the various areas of the technical department, This support has never waned, despite the reduction in the number of staff working in these areas. It is undoubtedly thanks to all of them that we are able to cope with such rapid evolution and growth of activities on so many diverse fronts. My sincerest appreciation goes to all of them.



150 anni di Osservatorio ad Arcetri

150 years of Observatory in Arcetri

Simone Bianchi

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. In occasione della ricorrenza dei 150 anni dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, viene riproposto il discorso inaugurale del direttore e fondatore Giovanni Battista Donati.

Parole chiave. Arcetri, 150 anni, celebrazioni, G. B. Donati

Introduzione

Domenica 27 ottobre 1872, 150 anni fa, si tenne l'inaugurazione dell'edificio principale dell'Osservatorio Astronomico (allora) di Arcetri. La cerimonia rappresentò il culmine di un processo durato più di un decennio, durante il quale il direttore Giovanni Battista Donati (1826-1873) era riuscito ad ottenere lo spostamento dell'Osservatorio dalla vecchia *Specola* di Via Romana ad un luogo più adatto per l'astronomia¹.

Per ironia della sorte, Donati non poté partecipare alla festa: il giorno precedente, infatti, si era rotto un femore; fu costretto a rimanere a letto nel suo alloggio a poche centinaia di metri dall'Osservatorio, quella *Villetta della Cappella* oggi nota come *Villino Donati* all'ingresso principale del comprensorio del *Colle di Galileo*. Di fronte ai numerosi ospiti (Fig. 1) fu Adolfo Targioni Tozzetti (1823-

Abstract. To coincide with the 150th anniversary of the Astrophysical Observatory of Arcetri, the inaugural speech of the director and founder Giovanni Battista Donati is reproduced.

Keywords. Arcetri, 150 years, celebrations, GB Donati

Introduction

On Sunday the 27th of October 1872, 150 years ago, the main building of what was then the Astronomical Observatory of Arcetri was inaugurated. The ceremony represented the culmination of a process that lasted more than a decade, during which the director, Giovanni Battista Donati (1826-1873), had succeeded in obtaining the transfer of the Observatory from the old *Specola* of Via Romana to a more suitable place for astronomy¹.

Ironically, Donati was unable to attend the party: the previous day, he had broken a thigh-bone; he was forced to stay in bed in his lodgings a few hundred metres from the Observa-



Figura 1. Inaugurazione dell'Osservatorio, 27 ottobre 1872 (archivio INAF-Osservatorio Astronomico di Monte Porzio).

Figure 1. Inauguration of the Observatory, 27 October 1872 (INAF-Monte Porzio Astronomical Observatory archive).

tory, at *Villetta della Cappella*, now known as *Villino Donati*, at the main entrance to the *Colle di Galileo*. In front of the numerous guests (Fig. 1), Adolfo Targioni Tozzetti (1823-1902), professor of Zoology at the Istituto di Studi Superiori of Florence, read the speech on behalf of the injured astronomer.

Donati's inaugural speech

The inaugural address (Donati 1872) is reproduced here in full, interspersed with some notes:

HONOURABLE GENTLEMEN AND COLLEAGUES,

Three years ago, many scholars from all the most learned nations of Europe, meeting in Florence for fraternal and scientific congresses, came in large and select numbers to visit this same place where we now find ourselves. They came because our illustrious guests wanted to pay reverent homage to the glorious memory of the great Galileo, who spent the last years of his troubled life on this very hill, and because, since then, it had already been decreed that a new temple should arise here consecrated to the cult of that science into which that overwhelming and truly supreme Genius infused a vigour of new and unexpected life.

Then, not far from here, but in not so high a place, there was only a small building, which was improvised to temporarily house Amici's great Refractor, and which will (when it has been extended and completed) be reduced to a Magnetic Observatory. But the precise place in which we are now assembled was still the fertile ground of the industrious colonist, nor had Ceres yet ceded it to Urania.

1902), professore di Zoologia dell'Istituto di Studi Superiori di Firenze, a leggere il discorso in vece dell'astronomo infortunato.

Il discorso inaugurale di Donati

Riportiamo qui integralmente il discorso inaugurale (Donati 1872), inframezzato da alcune note:

ONOREVOLI SIGNORI E COLLEGHI,

Molti dotti di tutte le più colte Nazioni d'Europa, trovandosi, tre anni or sono, riuniti a Firenze in fraterni e scientifici Congressi, vennero in numero grande ed eletto a visitare questo istesso luogo, ove or noi ci troviamo. Vi vennero: sì perché, quei nostri ospiti illustri desiderarono di rendere con quella visita un riverente omaggio alla gloriosa memoria del gran Galileo, il quale appunto su questa collina passò gli ultimi anni della travagliata sua vita; e sì perché, fin d'allora era stato decretato che qui dovesse sorgere un nuovo tempio consacrato al culto di quella scienza, a cui quel Genio soverchiante e veramente sommo infuse un vigore di vita nuova e inattesa. Allora, non lungi da qui, ma in un luogo molto meno elevato, esisteva soltanto un'angusta sede, che fu improvvisata per ricovrarvi temporariamente il gran Refrattore di Amici, e che in avvenire (quando sia ampliata e compiuta) sarà ridotta a Osservatorio Magnetico. Ma lo spazio preciso, sul quale or noi siamo ragunati, era sempre il campo ferace dell'industre colono, né Cerere lo aveva per anche ceduto ad Urania.

Today you see this solid and well-organised building already built, while in 1869 I was only able to show a drawing of it to those who came here.

In the incipit, Donati remembers the ceremony held on the 26th of September 1869, the *first inauguration*, in which the temporary installation of the Amici Telescope was presented to the scientists gathered in Florence for the works of the International Geodetic Association for the Measurement of the European Degree (Randich & Bianchi 2019). A similar attendance of "many foreign scholars" was not possible at the *second inauguration* in 1872; the very few foreigners present included the French astronomer and popularizer Camille Flammarion (1842-1925) (Fig. 2).

The first proposals for a new Observatory in Florence date back to 1862; but a complete and formal proposal could not be presented to the royal government until the beginning of 1864. The years that have now passed will certainly not seem to anyone to be a short interval. For me, they have been very long and painful, because I had to count and recount them in anxious and forced silence. I often believed that the New Observatory could be built in a very short time and, indeed, not infrequently, I imagined it to be already fully completed. However, all this was but a raving of thought; since the Building that I saw in my mind was an illusion, which vanished and was completely lost among the myriad of all those other illusions which fill the Building of Formalities, and of the too often superstitious Regulations.

In reality, even in 1861, Donati had presented -in vain- a first project to move the Observatory to Fort Belvedere. Subsequently, in 1864, the Garden of the Cavaliere in Boboli was

Oggi Voi vedete di fatto costruito questo saldo e ben disposto Edificio, che nel 1869 potei solo mostrare in disegno a coloro che qui convennero.

Nell'incipit Donati ricorda la cerimonia del 26 settembre 1869, la *prima inaugurazione*, in cui venne presentata l'installazione provvisoria del Telescopio Amici agli scienziati riuniti a Firenze per i lavori dell'Associazione Geodetica Internazionale per la Misura del Grado Europeo (Randich & Bianchi 2019). Un'analoga partecipazione di "molti dotti" stranieri non fu possibile durante la *seconda inaugurazione* del 1872; fra i pochissimi stranieri, era presente l'astronomo e divulgatore francese Camille Flammarion (1842-1925) (Fig. 2).

Le prime proposte di un nuovo Osservatorio in Firenze rimontano al 1862; ma una proposta completa e formale non poté essere presentata al regio Governo che ai primi del 1864. Gli anni oramai trascorsi non sembreranno certamente ad alcuno un breve intervallo. Per me poi, sono stati lunghissimi e penosi, ch  gli ho dovuti contare e ricontare in ansioso e forzato silenzio. Spesso mi   accaduto di credere che il Nuovo Osservatorio potesse sorgere in un tempo assai breve: e anzi, non rade volte me lo sono immaginato gi  interamente compiuto. Ma tutto ci  non era che un vaneggiar del pensiero; poich  l'Edifizio che vedevo con la mia mente, era una illusione, la quale si dileguava e perdevasi affatto in mezzo alla miriade di tutte quelle altre illusioni, di cui   ingombro l'Edifizio delle Formalit , e dei Regolamenti troppo spesso superstiziosi.

In realt , gi  nel 1861 Donati aveva presentato -invano- un primo progetto di spostare l'Osservatorio nel Forte Belvedere. Successivamente, nel 1864, si pens 

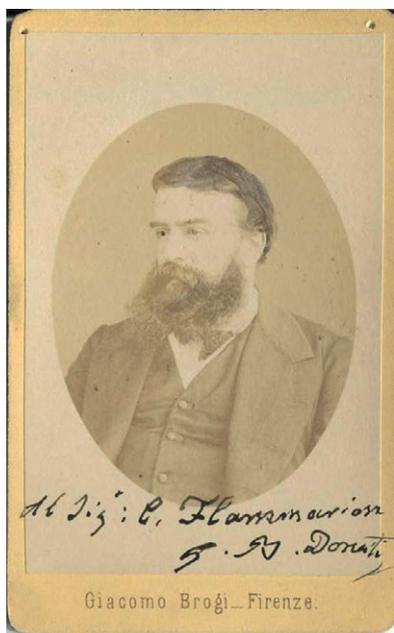


Figura 2. Fotografia di Giovan Battista Donati (1870 circa) con dedica autografa a Camille Flammarion, probabilmente donata all'astronomo francese in occasione della visita del 1872 (archivio INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri).

Figure 2. Photograph of Giovan Battista Donati (around 1870) with handwritten dedication to Camille Flammarion, probably donated to the French astronomer on the occasion of his visit in 1872 (INAF-Arcetri Astrophysical Observatory archive).

al Giardino del Cavaliere di Boboli. Anche in questo caso il progetto fu respinto, perché il vicino Palazzo Pitti divenne la Reggia di Firenze, nuova capitale del Regno d'Italia. In questi progetti, come in quello definitivo per Arcetri maturato nel 1865, Donati si dovette scontrare con le rigidità dei regolamenti, che impedivano la rapida realizzazione dell'opera.

Ma io non voglio turbare la serena gioia di questo giorno felice con querele inutilmente garrule in bocca mia, né con malinconiche e inopportune memorie: e anzi mi piace oggi di ricordare, come io mi sia abbattuto in tanti pubblici ufficiali, che (sebbene diversissimi e per ordine e per grado) erano pur tutti concordi nel desiderare e procurare veracemente che riuscissi a conseguire la mèta tanto anelata. E mi è pure gratissimo il rammentare come nel tempo che il Nuovo Osservatorio era ben lungi dall'essere apparecchiato alle osservazioni (onde la fama ne incominciava appena a mormorar l'esistenza), pure non pochi dotti, sì italiani che stranieri, vennero a visitarlo; e tutti mi rinfrancavano e mi accendevano maggiormente a proseguire nella bene incominciata intrapresa; elogiandola e giudicandola con favore grandissimo.

Venne qui, fra gli altri, lo Struve, insigne astronomo russo, il quale in varie Relazioni richiestegli dal suo Governo intorno allo stato, in cui trovasi l'Astronomia pratica nei molti paesi da lui visitati, non ha mai cessato di deplorare le condizioni infelici degli Osservatorii italiani, e la cui voce autorevole, essendo giunta fino al nostro Governo, ha certamente avuto una non lieve influenza nel concepimento e nell'attuazione di questo Osservatorio nostro. Lo Struve dirige sapientemente il vasto Osservatorio di Pulkova, che è una vera e splendida Reggia scientifica, ov'egli sta principe.

chosen. This project was rejected too, because the nearby Palazzo Pitti became the Royal Palace of Florence, the new capital of the Kingdom of Italy. In these projects, as in the final one for Arcetri presented in 1865, Donati came up against the rigidity of the regulations, which prevented the rapid completion of the work.

But I don't want to disturb the serene joy of this happy day with uselessly garrulous complaints in my mouth, nor with melancholy and inopportune memories: and indeed today I would like to remember how I came across so many public officials, who (although very different in order and in rank) were all in agreement in desiring and sincerely ensuring that I succeeded in achieving the longed-for goal.

And it is also gratifying for me to recall how, at a time when the new Observatory was far from being ready for observations (whence its fame was just beginning to whisper its existence), numerous scholars, both Italian and foreign, came to visit it; and everyone cheered me up and encouraged me to continue with the well begun undertaking; praising it and judging it with the greatest favour. The visitors included Struve, the illustrious Russian astronomer, who, in the several reports his Government asked him to draw up on the state of practical astronomy in the numerous countries he visited, never ceased to moan of the miserable conditions of Italian observatories, and whose authoritative voice, having been heard by our own Government, certainly had no small influence on the conception and realization of this Observatory. Struve skilfully directs the vast Pulkova Observatory, which is a truly splendid scientific royal palace, of which he is the prince. And while this place was visited by princes among the learned, the learned among the princes came too.

Ma se qui vennero dei Principi fra i Dotti, non mancò pur di venirvi il Dotto fra i Principi.

Il saggio Monarca del Brasile, Don Pedro II, vero esempio di regale sapienza (il quale appunto in questo momento sta ordinando nei suoi Stati gli studii astronomici), venne nel passato dicembre ad esaminare minutamente le costruzioni di questo Osservatorio, che appariva allora una mole indigesta.

E oltre a questi, e a tanti altri ricordi lietissimi, di cui mi è qui forza tacere, di quanto conforto non deve essere per ognuno il considerare che al compimento di questo Osservatorio hanno contribuito, non solamente il generoso e impareggiabile nostro Re e il Regio Governo, ma anche il nostro Municipio e la Provincia nostra?

Donati ricorda le visite al cantiere dell'Osservatorio, alla fine del 1871, dell'astronomo russo-tedesco Otto Wilhem Struve (1819-1905) e dell'imperatore Pedro II del Brasile (1825-1891). Donati attribuiva a Struve un ruolo molto importante nella realizzazione dell'Osservatorio e l'avrebbe voluto come ospite d'onore alla cerimonia. Ma Struve non poté essere presente (Bianchi & Galli 2015). L'imperatore, invece, tornò ad Arcetri anche successivamente, nel 1877 e nel 1888 (Bianchi 2012). Donati ringrazia inoltre i finanziatori dell'opera: in aggiunta al Ministero della Pubblica Istruzione, il 70% della spesa preventivata fu coperta dal Comune e dalla Provincia di Firenze, e dalla Casa Reale.

La molteplice e concorde cooperazione prestata al compimento di una tale opera, deve in fatti rincorare chiunque sa, essere oramai impossibile che abbiano florida vita le operose discipline della Fisica, se una protezione efficace non le nutrisce.

The wise Monarch of Brazil, Don Pedro II, a true example of royal wisdom (who is at this very moment ordering astronomical studies in his States), came last December to meticulously examine the constructions of this Observatory, which at the time seemed to be an indigestible mass. And in addition to these, and many other very happy memories, which I am forced to keep silent about, there must be much comfort for everyone to consider that, not only have our generous and incomparable King and the Royal Government contributed to the completion of this Observatory, but our Municipality and our Province have contributed to it also.

Donati remembers the visits to the construction site of the Observatory, at the end of 1871, by the German-Russian astronomer Otto Wilhem Struve (1819-1905) and by Emperor Pedro II of Brazil (1825-1891). Donati assigned Struve a very important role in the creation of the Observatory and would have wanted him as a guest of honour at the ceremony. But Struve could not be present (Bianchi & Galli 2015). The emperor, on the other hand, returned to Arcetri again later, in 1877 and 1888 (Bianchi 2012). Donati also thanks the sponsors of the works: in addition to the Ministry of Public Education, 70% of the estimated expenditure was covered by the Municipality and Province of Florence, and by the Royal House.

The multiple and concerted cooperation lent to the accomplishment of such a work must hearten anyone who knows that it is now impossible for the disciplines of Physics to have a flourishing life, if they are not nourished by effective protection. Without material strength, scientific strength also languishes today; if this is otherwise lacking, that too fails. Woe to those Nations who cannot prevent such a ring from breaking!

Senza la forza materiale languisce oggi anche la forza scientifica; se questa per altro difetta, quella pure vien meno. Guai a quei popoli che non sanno impedire che un tale anello si rompa!

Questo Nuovo Osservatorio non è dunque nato per soddisfare a qualche bisogno circoscritto, e molto meno a qualche capriccio particolare: sì bene, perché era comune il sentimento che in Italia dovessero sorgere alla perfine degli Osservatorii degni dei tempi nuovi; ed anche, perché pareva bene naturale, e doveva essere universalmente gradito, che una riforma di questo genere (la quale sarà senza dubbio proseguita, e con la costruzione di altri nuovi Osservatorii, e col miglioramento di alcuni degli esistenti) venisse iniziata colà, dove per il potente impulso del gran Galileo nacque quella celebre Scuola che ebbe per divisa il motto *PROVANDO E RIPROVANDO*, e da dove si partirono i primi fulgidissimi raggi che illuminarono il mondo intiero di una luce nuova e feconda.

Le ere della storia, le date degli imperi, sono poco, al paragone di quell'era memorabile e gloriosa che Galileo segnò nella scienza: e ciò nondimeno, io oso affermare che il sorgere in Italia di un Osservatorio come questo, segnerà in avvenire nella nostra storia scientifica una data quasi altrettanto importante e memorabile. È fuori di dubbio che per certi riguardi la nostra Nazione non è rimasta, né rimane indietro alle altre, neppure nello studio degli astri, e Voi miei egregi confratelli qui presenti ne siete la prova più bella: ma se si tolgono le celebri osservazioni del Piazzì e poche altre (che costituiscono i fondamenti della meccanica del cielo, perché furon fatte in tempi da noi remoti, quantunque con istrumenti e in luoghi incapaci di far conseguire la precisione moderna), tutti gli altri lavori o scoperte,

This New Observatory has not been created to satisfy some circumscribed need, and much less some particular whim, but because there was a shared sentiment that observatories worthy of the new times should finally arise in Italy; and also, because it seemed natural, and must have been universally acceptable, that a reform of this kind (which will undoubtedly be continued, both with the construction of other new Observatories and with the improvement of some of the existing ones) should be initiated there, where thanks to the powerful impulse of the great Galileo, that famous School which had as its uniform the motto "TRYING AND TRYING AGAIN" was born and from where the first very bright rays of light that illuminated the whole world with a new and fruitful light were sent.

The eras of history, the dates of empires, are small in comparison with that memorable and glorious era that Galileo marked in science: and yet, I dare to affirm that the setting up of an Observatory like this in Italy will mark in the future in our scientific history an almost equally important and memorable date.

There is no doubt that, in certain respects, our nation has not remained, nor does it remain now behind the others, not even in the study of the stars, and you, my dear brothers present here, are the most wonderful proof of this: but if we remove the famous observations of Piazzì and a few others (which constitute the foundations of the mechanics of the sky, because they were made in ancient times, albeit with instruments and in places incapable of achieving modern precision), all other works or discoveries, even those that are excellent and of great value, are more often to be attributed to individual efforts and to the happiness of our skies, than to an order capable of and willing to keep our most glorious scientific traditions in due honour. The first and greatest discoveries of the sky were already made by Galileo and a few other

comeché di gran pregio ed eccellenti, sono più presto da attribuirsi a sforzi individuali e alla felicità del nostro cielo, che ad un ordinamento atto e predisposto a mantenere nel dovuto onore le nostre più gloriose tradizioni scientifiche.

Le prime e più grandi scoperte del cielo furono già fatte dal Galileo e da pochi altri sommi: e noi siamo ora ridotti ad andar spigolando per quegli istessi campi, ove già mieterono tanta mèsse quei forti ed esperti cultori. Il frutto che ancor può ottenersi è, senza dubbio, sempre abbondantissimo, anzi inesauribile; ché l'albero della scienza mette sempre nuove radici, e getta sempre nuovi ed inaspettati germogli: ma i nuovissimi frutti non si possono più raccogliere, né con gli arnesi, né entro le case di una volta.

Come dunque io diceva, il primo nascere in Italia di un Edificio come questo, costruito con tutte le regole dell'arte, e ordinatamente disposto per servire ai molteplici e più recenti bisogni della scienza progredita, segnerà nella storia dei nostri studii una data importantissima. E tanto importante e memorabile, che non è da vero per affettata modestia se io dico di sentirmi affatto indegno dell'altissimo onore, cui mi ha serbato la sorte e che l'ufficio mi ha imposto, di far sentire cioè la mia debil parola dinanzi a Voi, in tanta solenne occasione.

In questi brani Donati allude allo scopo con cui l'Osservatorio di Arcetri era stato fondato, quello di contribuire alle misure fondamentali dell'astronomia classica, ovvero alla determinazione accurata delle coordinate dei corpi celesti. Per questo erano necessari strumenti di precisione come il cerchio meridiano, che Donati intendeva acquisire per l'Osservatorio ma che non era ancora disponibile

great men: and we are now reduced to gleaning those same fields, from which those strong and expert cultivators have already reaped so much harvest. The fruit that can still be obtained is, without doubt, always very abundant, indeed, inexhaustible; because the tree of science always puts down new roots, and always throws out new and unexpected shoots: but brand-new fruits can no longer be gathered, either with the instruments or within the houses of the past. So as I said, the first birth in Italy of a building like this, built in observance of all the rules of the art and arranged in an orderly manner to serve the multiple and more recent needs of advanced science, will mark a very important date in the history of our studies. It is so important and memorable that it is not really out of affected modesty if I say that I feel completely unworthy of the highest honour which fate has reserved for me and which my office has imposed upon me, that is, to make my feeble word heard before you, on such a solemn occasion.

In these passages, Donati alludes to the purpose with which Arcetri Observatory was founded, that of contributing to the fundamental measurements of classical astronomy, i.e. to the accurate determination of the coordinates of celestial bodies. This required precision instruments such as the meridian circle, which Donati intended to purchase for the Observatory but which was not yet available at Arcetri - and never would be! Using a rhetorical device, Donati has Galileo Galilei, an essential figure of reference for astronomy and for Arcetri, pronounce the last sentences of the speech:

But it is not me, it is the immortal Galileo, whose voice still echoes mysteriously and powerfully through these places sacred to him, who tells you:

ad Arcetri – e non lo sarà mai! Con un artificio retorico, Donati fa pronunciare le ultime frasi del discorso a Galileo Galilei, imprescindibile figura di riferimento per l'astronomia e per Arcetri:

Ma non son io, è l'immortale Galileo, la cui voce echeggia tuttora arcana e potente per questi luoghi a lui sacri, il quale vi dice:

O rappresentanti del Governo italiano, e del Municipio, e della Provincia di Firenze, Voi avete innalzato un Monumento, il quale (poiché si rivolge e guarda al cielo) mi è il più gradito di quanti altri mai furono fino ad ora consacrati alla mia memoria. Esso attesta il vostro amore e la riverenza vostra alla scienza: accresce il lustro e l'onore di questa nostra Città, e dell'intera Nazione.

Questi luoghi, quantunque sempre benedetti dal sorriso della natura, pure erano all'età mia tanto appartati e negletti, che io vi fui ingiustamente e stolidamente costretto a confine. Ma ora che Voi di tanto ne aiutaste e nobilitaste con l'arte la naturale bellezza, è ben giusto che invece dell'evitata mia cella, ove ogni luce fu muta, sorga sovr'essi la mia Casa onorata, ove si riverberino quei purissimi raggi che io per il primo insegnai a raccogliere dai più remoti spazi del cielo. E una tal Casa renderà questi colli maestosamente severi, come già le altre opere da Voi compiutevi li resero maestosamente piacevoli.

Gli splendidi, prosperi ed utili edifici, sorgono solo colà, ove uomini virtuosi e generosi sono capaci di apprezzarli e onorarli. Di tali edifici è ben ricca Firenze: e quello che oggi mi consacrate, propaga sempre più la vostra fama, e l'assicura perennemente.

Oh, representatives of the Italian Government and of the Municipality, and of the Province of Florence,

You have erected a Monument, which (as it turns and looks to the sky) is more pleasing to me than any others that have ever been consecrated to my memory up to now. It attests to your love and reverence for science: it increases the prestige and honour of this city of ours, and of the entire nation.

These places, although always blessed by the smile of nature, were so isolated and neglected in my days that I was unjustly and stupidly forced to confine myself here. But now that you have so much helped and ennobled their natural beauty with art, it is only right that, instead of my avoided cell, where every light was silent, my honoured house should rise above them, where those purest rays which I taught -the first to do so- to collect from the most remote spaces of the sky, reverberate. And such a house will make these hills majestically severe, just as the other works you have completed there have made them majestically pleasant.

The splendid, prosperous, and useful buildings arise only there, where virtuous and generous men are capable of appreciating and honouring them. Florence is rich in such buildings: and what you consecrate to me today, spreads your fame more and more, and assures it perennially. You, to whom the care of these Florentine and flourishing districts is bound; now that the tide of population, which always flows towards capitals, has somewhat vanished from here; now that the many and multiform Sirens, who always dwell near political rocks, have gone elsewhere to show off their seductive attractions, so that the waves here now show themselves less violent and angry; seize the favourable time swiftly and safely, and as vigilant and expert helmsmen,

O Voi, cui stringe la cura di queste fiorentine e fiorenti contrade; or che la marea della popolazione, che sempre affluisce verso le capitali, si è alquanto di qui deleguata; or che le molte e multiformi Sirene, le quali dimoran sempre dappresso ai politici scogli, son ite altrove a far pompa delle loro seducenti attrattive, talché i flutti or si mostran qui meno commossi e adirati; afferrate celeri e sicuri il tempo propizio, e da vigili ed esperti nocchieri drizzate la nave, di cui avete il governo, verso lo sterminato mar del sapere, che solo può condurre ai desiati lidi della prospera, giusta e virtuosa fortuna.

In realtà il riflusso della marea, causato dal definitivo spostamento della Capitale del Regno a Roma, non ebbe influssi tanto positivi sul progetto dell'Osservatorio di Arcetri. Un effetto si vide anche nella cerimonia: mentre nel 1869 erano presenti il Presidente del Consiglio dei Ministri ed il Ministro della Pubblica Istruzione, nel 1872 c'erano solo dei delegati del Governo. In particolare "L'assenza del Ministro della pubblica istruzione, in una occasione come questa, fu vivamente notata, e vivamente biasimata. [...] Non c'è paese mediocremen- te culto, dove il Governo non si sarebbe creduto a debito e non si sarebbe tenuto onorato il concorrere con la persona e con ogni altra maniera a siffatta solennità. Non ci saremmo aspettati di essere testimoni di questa insipiente scortesìa e trascuranza in Italia, in Firenze [...]" (*La Nazione* 29/10/1872). Infine, Galileo (Donati) conclude il discorso:

Ma voi ben sapete che il firmamento è l'eterno è l'unico cronometro che può far sicure ai naviganti le infide vie dell'Oceano. La prudenza non vada dunque di-

steer the ship, of which you hold command, towards the boundless sea of knowledge, which alone can lead to the desired shores of prosperous, just and virtuous fortune.

In actual fact, the ebb of the tide, caused by the definitive relocation of the Kingdom of Italy's capital to Rome, did not have such a positive influence on the Arcetri Observatory project. An effect was also seen in the ceremony: while in 1869 the President of the Council of Ministers and the Minister of Public Education were present, in 1872 there were only government delegates. In particular "The absence of the Minister of Public Education, on an occasion like this, was warmly noted, and strongly blamed. [...] There is no country of mediocre culture, where the Government would not have believed itself indebted and would not have deemed honourable to contribute in person and in any other way to such a solemnity. We would not have expected to witness this foolish discourtesy and negligence in Italy, in Florence [...]" (*La Nazione* 29/10/1872). Finally, Galileo (Donati) concludes the speech:

But you well know that the firmament is eternal and it is the only chronometer that can make the treacherous ways of the ocean safe for sailors. Prudence must not, therefore, be separated from courage; nor shall you shrink from ensuring that this chosen Lookout of yours always stays alert. Equip it with all those learned apparatuses with which, both in the heat of noon and in the rigors of the night, the arcane laws of the universe are scrutinized, for the purpose of disciplining the minds to the most sublime speculations, and of making heaven serve the civil needs of the earth. But already every incitement is superfluous for you, who give unquestionable proof of an enlightened and vigorous action with this celebration, opportune beyond all words. For even

sgiuata dal coraggio; né vi ristate dal procurare che questa eletta Vedetta vostra possa sempre star vigile. La munite pertanto di tutti quei dotti apparati, coi quali, e nell'ardor del meriggio, e nel rigor della notte, si scrutano le arcane leggi dell'universo, allo scopo di disciplinare le menti alle più sublimi speculazioni, e di far servire il cielo ai civili bisogni della terra.

Ma già ogni incitamento è soverchio per Voi, che di un'azione illuminata e vigorosa date una prova non dubbia con questa festa, oltre ogni dire opportuna. Ché pur le feste (se giustificate e brevi) hanno nella scienza un posto degno ed acconcio ad infonderle nuova lena nei diuturni travagli, e ad accrescerne il culto.

Dunque: non più parole; si ponga mano all'opra; si dien presto dei fatti.

Conclusioni

Malgrado gli auspici, l'esistenza dell'Osservatorio fu inizialmente molto travagliata: lo sforamento del preventivo iniziale, il contenzioso fra Ministero e costruttori a causa di problemi all'impermeabilizzazione dell'edificio e, soprattutto, la morte di Donati nel 1873, ne impedirono il regolare sviluppo. Fu solo a partire dalla fine del XIX secolo che l'Osservatorio iniziò a funzionare regolarmente, nell'ambito previsto inizialmente da Donati, quello dell'astronomia classica.

Ma la vera svolta si ebbe a partire dal 1921, quando l'Osservatorio, divenuto *Astrofisico*, e affidato alla direzione di Giorgio Abetti (1882-1982), diventò un centro promotore dell'astrofisica in Italia. È quindi suggestivo che il 150° anniversario

celebrations (if justified and short) have a worthy and suitable place in science to instil new energy into daily toil, and to increase its appreciation.

Therefore: no more words; let the work begin; let the actions begin soon.

Conclusions

Despite the auspices, the existence of the Observatory was initially very troubled: the over-running of the initial budget, the dispute between the Ministry and the builders due to problems with the waterproofing of the building and, above all, the death of Donati in 1873, prevented its regular progress. It was only from the end of the 19th century that the Observatory began to function properly, in the context originally envisaged by Donati, that of classical astronomy.

But the real turning point came in 1921, when the Observatory, which had become *Astrophysical* and been entrusted to the direction of Giorgio Abetti (1882-1982), became a promoter of astrophysics in Italy. It is therefore befitting that the 150th anniversary of the foundation of Arcetri coincides with the 40th anniversary of the death of Abetti, "*Founder of the modern School of Italian Astrophysics*", as he was defined – in the telegram announcing his death to the scientific world – by Franco Pacini (1939-2012), director of the Arcetri Astrophysical Observatory from 1978.

sario della fondazione di Arcetri ricorra insieme al 40° anniversario dalla morte di Abetti, “*Fondatore della moderna Scuola Astrofisica Italiana*”, come lo definì – nel telegramma che ne annunciava al mondo scientifico la scomparsa – Franco Pacini (1939-2012), direttore dell’Osservatorio Astrofisico di Arcetri dal 1978.

Note

¹ Gli eventi più significativi e curiosi del processo di realizzazione dell’Osservatorio di Arcetri sono stati descritti in una serie di articoli per il web pubblicati in italiano fra il 2014 ed il 2022 a questo indirizzo: <https://www.arcetri.inaf.it/articoli/ricerca-storica/150-anni-fa>. Per un conciso resoconto si veda Bianchi, Galli & Gasperini (2013), mentre rimandiamo a Bianchi (2020) per una trattazione più estesa e contestualizzata (in inglese).

Bibliografia

- Bianchi, S. (2012). Un imperatore ad Arcetri. *Giornale di Astronomia*, Vol. 38, n. 2, 2.
- Bianchi, S. (2020). The founding of Arcetri Observatory in Florence. *Journal of Astronomical History and Heritage*, Vol. 23, N. 3, pp. 553-581.
- Bianchi, S., Galli, D. (2015). Les Observatoires astronomiques en Italie. An 1863 report by Otto Wilhelm Struve. *Nuncius*, Vol. 30, n. 1, pp. 195-227.

Notes

¹ The most significant and curious events of the process leading to the foundation of Arcetri Observatory have been described in a series of articles for the web published in Italian between 2014 and 2022 at this address: <https://www.arcetri.inaf.it/articoli/ricerca-storica/150-anni-fa>. For a concise account, see Bianchi, Galli & Gasperini (2013), while reference should be made to Bianchi (2020) for a more extensive and contextualized dissertation (in English).

Bibliography

- Bianchi, S. (2012). Un imperatore ad Arcetri. *Giornale di Astronomia*, Vol. 38, n. 2, 2.
- Bianchi, S. (2020). The founding of Arcetri Observatory in Florence. *Journal of Astronomical History and Heritage*, Vol. 23, N. 3, pp. 553-581.
- Bianchi, S., Galli, D. (2015). Les Observatoires astronomiques en Italie. An 1863 report by Otto Wilhelm Struve. *Nuncius*, Vol. 30, n. 1, pp. 195-227.
- Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2013). “The first Astronomical Observatory of Italy”. The birth of the Arcetri Observatory (1861-1873). *Il Colle di Galileo*, Vol.1, N. 1-2, pp. 55-70.
- Donati, G. B. (1872). Parole pronunciate [...] per la solenne inaugurazione del nuovo Osservatorio di Firenze in Arcetri. Firenze, succ. Le Monnier.

- Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2013). “Il primo Osservatorio Astronomico d’Italia”. Lanascita dell’Osservatorio di Arcetri (1861-1873). *Il Colle di Galileo*, Vol. 1, N. 1-2, pp. 55-70.
- Donati, G. B. (1872). Parole pronunciate [...] per la solenne inaugurazione del nuovo Osservatorio di Firenze in Arcetri. Firenze, succ. Le Monnier.
- 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.

Randich, S., Bianchi, S. (2020). INAF Arcetri Astrophysical Observatory at 150. *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, particularly its beginnings.



Il Colle di
Galileo

Astrofisica delle Alte Energie ad Arcetri

High Energy Astrophysics in Arcetri

Rino Bandiera, Barbara Olmi
INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Con questo breve resoconto, necessariamente incompleto, spero di poter dare un assaggio sia dei progressi compiuti negli anni dal nostro gruppo in alcuni settori più tradizionali, sia della grande varietà di argomenti trattati, soprattutto in tempi più recenti.

Gli inizi

Tutto ebbe inizio nel 1978, quando Franco Pacini accettò l'incarico di professore ordinario all'Università di Firenze e fu anche nominato Direttore dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (OAA). Egli portò con sé un patrimonio di conoscenze, idee e progettualità grazie al quale l'OAA ha notevolmente ampliato i propri ambiti di ricerca e l'eredità della sua azione è continuata fino ad oggi.

Uno dei suoi campi di ricerca preferiti è sempre stato l'Astrofisica delle Alte Energie e già prima di arrivare ad Arcetri Franco Pacini era uno dei maggiori esperti internazionali di stelle di neutroni. A lui si deve l'intuizione che tali stelle emettano energia sotto forma di radiazione di dipolo magnetico e, in particolare, che proprio una stella di neutroni alimentasse la Nebulosa del Granchio. Questo avveniva nel 1967, quasi in coincidenza con la scoperta di impulsi radio estremamente regolari da una sorgente, poi identificata con una stella di neutro-

Abstract. With this short and necessarily incomplete report, we hope to offer a taste of the progress achieved by our group over the years in some more traditional sectors, and of the wide variety of topics covered, especially in more recent times.

The beginnings

Everything began in 1978, when Franco Pacini accepted a position as full professor at the University of Florence, and was also appointed Director of the Arcetri Astrophysical Observatory (OAA). He brought with him a wealth of knowledge, ideas, and planning, thanks to which OAA considerably expanded its areas of research, and the legacy of his action continues today.

One of his favorite fields of research was always High Energy Astrophysics and, even before arriving in Arcetri, Franco Pacini had become a leading international expert in neutron stars. He had had the great intuition that rotating magnetised neutron stars emit energy in the

ni rotante (una “pulsar”). Lo studio delle pulsar e delle loro nebulose (le “pulsar wind nebulae” – PWNe) non solo proseguì attivamente negli anni successivi, ma è anche rimasto centrale nella storia delle Alte Energie ad Arcetri.

A metà degli anni '80 nacque ufficialmente il gruppo di Astrofisica delle Alte Energie ad Arcetri, con l'arrivo di Marco Salvati (dal CNR di Frascati) e di Rino Bandiera (da ESO Garching).

L'arricchimento del gruppo a cavallo del millennio

A partire dal 2000 il gruppo ha iniziato a crescere, sia in numero che nelle idee e nelle competenze. Alcuni di noi si sono formati in OAA/Università di Firenze, come:

- Elena Amato che, dopo un anno trascorso a Berkeley, nel 2001 conseguì il PhD a Firenze e subito dopo diventò Ricercatore ad OAA.
- Niccolò Bucciantini, che conseguì il PhD nel 2004 e, dopo anni trascorsi a Berkeley e NORDITA, nel 2011 tornò come Ricercatore.
- Barbara Olmi, che dopo il dottorato di ricerca nel 2015 ha lavorato come PostDoc Fellow fino al 2019, anno in cui è stata assunta come Ricercatore.

Alcuni altri sono venuti da fuori, come:

- Pasquale Blasi, arrivato da FermiLab nel 2001, poi passato nel 2017 al GSSI, dove è ora Professore Ordinario.
- Giovanni Morlino, PostDoc Fellow dal 2008 al 2012 e che, dopo un periodo

form of magnetic dipole radiation and that one such neutron star could be the energy source responsible for the activity observed in the Crab Nebula. This took place in 1967, almost coinciding with the discovery of extremely regular radio pulses from a source subsequently recognised to be a rotating neutron star (a “pulsar”). The study of pulsars, and especially their nebulae (“pulsar wind nebulae” – PWNe) not only continued actively in the following years, but also remained central to the history of High Energies at Arcetri.

The High Energy group at OAA was officially founded in the mid '80s, with the arrival of Marco Salvati (from CNR Frascati) and Rino Bandiera (from ESO Garching).

The enrichment of the group at the turn of the millennium

As of the year 2000, our group began to grow, in number as well as in ideas and expertise. Some of us were educated at the OAA/University of Florence:

- Elena Amato, who, after a year at Berkeley, attained her PhD in Florence in 2001 and became a researcher at the OAA soon after.
- Niccolò Bucciantini, who attained his PhD in 2004 and, after some years at Berkeley and NORDITA, came back as a researcher in 2011.
- Barbara Olmi, who, after attaining her PhD in 2015, worked as a postdoc fellow until 2019, when she was hired as a researcher.

Others came from abroad:

trascorso in Francia (APC), USA (Purdue) e presso il GSSI, a partire dal 2019 è tornato come Ricercatore.

- Damiano Caprioli, in arrivo dalla Scuola Normale Superiore, che fu PostDoc Fellow ad Arcetri dal 2011 al 2014, per poi trasferirsi a Princeton. Ora è Professore Associato all'Università di Chicago.
- Roberto Aloisio, ricercatore ad Arcetri dal 2011 al 2017, e ora Professore Ordinario al GSSI.
- Martina Cardillo, PostDoc Fellow ad Arcetri dal 2014 al 2017, e ora Ricercatore ad INAF/IAPS.

Negli anni si sono poi instaurate strette collaborazioni con i colleghi del Dipartimento di Astronomia – Università degli Studi di Firenze. Tra loro Luca Del Zanna e Delia Volpi.

Il gruppo ha negli anni ampliato i suoi interessi, restando legato soprattutto a sorgenti Galattiche e concentrandosi su processi fisici o su alcuni problemi fondamentali.

Fisica, struttura ed evoluzione di PWNe

Una PWN è schematizzabile come una bolla formata da campo magnetico e particelle relativistiche.

Il gruppo di Arcetri ha contribuito profondamente (e continua tutt'ora) alla comprensione del funzionamento di queste sorgenti, soprattutto dal punto di

- Pasquale Blasi arrived from FermiLab in 2001 and moved to the GSSI in 2017, where he is now full professor.
- Giovanni Morlino, postdoc fellow between 2008 and 2012, who, after some time in France (APC), the US (Purdue) and at the GSSI, returned to the OAA as a researcher in 2019.
- Damiano Caprioli, from the Scuola Normale Superiore, who was a postdoc fellow in Arcetri between 2011 and 2014, and then moved to Princeton. He is now associate professor at the University of Chicago.
- Roberto Aloisio was a researcher at Arcetri between 2011 and 2017 and is now full professor at the GSSI.
- Martina Cardillo, postdoc fellow in Arcetri between 2014 and 2017, and now a researcher at INAF/IAPS.

Close collaborations have been established over the years with colleagues of the Astronomy Department - University of Florence, including Luca Del Zanna and Delia Volpi.

Our group's research has expanded its interests over the years to a wider range of topics, mostly related to Galactic sources, but essentially focusing on physical processes or some fundamental problems.

Physics, structure and evolution of PWNe

A PWN can be considered as a bubble made of magnetic fields and relativistic particles.

vista della modellizzazione teorica e numerica. Il confronto tra la nebulosa simulata e lo spettro di emissione multibanda ci ha permesso di vincolare alcune proprietà non direttamente osservabili del vento di pulsar, come la sua magnetizzazione e il contenuto in particelle, ingredienti essenziali per svelare come le particelle vengano accelerate in queste sorgenti, note per essere i più efficienti acceleratori nella Galassia.

Recentemente la modellizzazione è stata estesa anche ad oggetti evoluti, quando la PWN inizia ad interagire con il resto di supernova (SNR). In questo caso è fondamentale determinare la compressione che il SNR esercita sulla PWN: la compressione può infatti provocare il bruciamento di gran parte delle particelle di alta energia nella nebulosa, cambiandone l'aspetto spettrale, soprattutto nei raggi gamma, dove gli oggetti evoluti sono generalmente più brillanti. Questo aspetto è fondamentale, in vista di stimare il numero di PWNe rivelabili dai futuri telescopi gamma, come il Cherenkov Telescope Array (CTA), nella nostra Galassia.

Pulsar bow-shock nebulae

Quando una pulsar attiva e con alta velocità alla fine sfugge al suo SNR originale, inizia a interagire con il mezzo ambiente e in questo modo si forma un bow shock. La PWN è ancora presente, ma più piccola e distorta. Una delle prime “*pulsar bow shock nebulae*” ad essere scoperte, in emissione della linea di Balmer, è stata la Guitar Nebula, seguita poi da alcune altre (viste in ottico, radio o X). Nel 2007 è

The Arcetri group contributed largely (and still does) to the comprehension of the mechanisms governing these sources, especially thanks to theoretical and numerical models. The comparison between the simulated nebula and the multiband observed emission spectrum allowed us to constrain some of the hidden properties of the pulsar outflow, like its magnetization and particle content, elements that were key to unveiling how particles are accelerated in these sources, which are known as the most efficient accelerators in the Galaxy.

Recently the modelling has been extended also to evolved sources, when the interaction with the SNR begins. In this case, it is essential to determine the amount of compression exerted by the SNR on the PWN: compression might cause the burn-off of a large part of the high energy particles in the nebula, completely changing its spectral features especially in gamma-rays, where evolved systems are generally brighter. This aspect is fundamental with a view to estimating the number of PWNe that future gamma-ray telescopes, like the Cherenkov Telescope Array, will detect in our Galaxy.

Pulsar bow-shock nebulae

When an active and fast-moving pulsar eventually escapes its original SNR, it begins interacting with the ambient medium and a bow shock is formed. The PWN is still present, but smaller and distorted. One of the first pulsar bow shock nebulae to be discovered, in Balmer line emission, was the Guitar Nebula, followed by a few others (seen in optical, radio or X-

stato osservato il primo esempio di “coda X disallineata” (“*misaligned X-ray tail*”) proprio nella Guitar Nebula: una struttura apparentemente originata dalla testa del *bow shock*, quasi lineare e molto estesa (~ 1 pc), fortemente disallineata dalla direzione di moto della pulsar e vista solo ai raggi X. Strutture simili sono state in seguito viste in altri sistemi (e.g. la Lighthouse Nebula (2014) e PSR J2030+4415 (2020)). Il nostro gruppo ha lavorato attivamente sulla modellizzazione sia delle sorgenti (recentemente anche con modelli numerici 3D, si veda Fig. 1), che sull’interpretazione delle code X. L’interpretazione comunemente accettata ad oggi si basa su un’idea di uno di noi, secondo cui gli elettroni di più alta energia riescano a fuoriuscire dalla testa del *bow shock* e fluire passivamente lungo le linee del campo magnetico interstellare. Questa ipotesi è stata recentemente confermata grazie a modelli numerici 3D di fuga delle particelle sviluppati da una parte degli altri membri del gruppo.

La connessione delle PWNe evolute con la fuga di particelle, in alcuni casi visibile come alone estesi al TeV attorno alla sorgente piuttosto che come strutture filamentari nei raggi X (come nel caso dell’alone attorno alla PWN Geminga), rende lo studio di queste particolari sorgenti estremamente attuale, di nuovo in connessione con i futuri strumenti gamma.

Accelerazione di particelle in SNR, origine e trasporto dei raggi cosmici nella Galassia

I SNR sono laboratori unici per testare problemi relativi a molti argomenti diversi, come l’evoluzione e la chimica stellare, i processi di emissione, la fisica del plasma e la teoria cinetica.

rays). In 2007, the first example of “misaligned X-ray tail” was observed in the Guitar Nebula: apparently originating from the bow shock head, quasi-linear and extremely extended (~ 1 pc), severely misaligned with respect to the direction of the pulsar and only seen in X-rays. Similar structures were then detected in other systems (e.g. the Lighthouse Nebula (2014) and PSR J2030+4415 (2020)). Our group worked actively on the modelling of both bow shock nebulae (recently also with 3D simulations, see Fig. 1) and of misaligned tails. The commonly accepted interpretation to date is based on the idea that one of us had regarding the fact that the highest energy electrons are able to escape from the bow shock head and passively flow along interstellar magnetic field lines. This hypothesis has been recently confirmed by 3D numerical models of the escape of particles developed by some of the other members of the group.

The link between evolved PWNe with particle escape, in some cases visible as an extended halo at TeVs around the source rather than as filamentary structures in X-rays (as in the case of the halo around the PWN Geminga), makes the study of these particular sources extremely topical, again in connection with future gamma instruments.

Particle acceleration in SNRs, origin and transport of cosmic rays in the Galaxy

SNRs are unique laboratories for testing problems related to many different topics, like stellar evolution and chemistry, emission processes, plasma physics and kinetic theory. Over the years, our group has investigated these sources from different points of view, paying particular

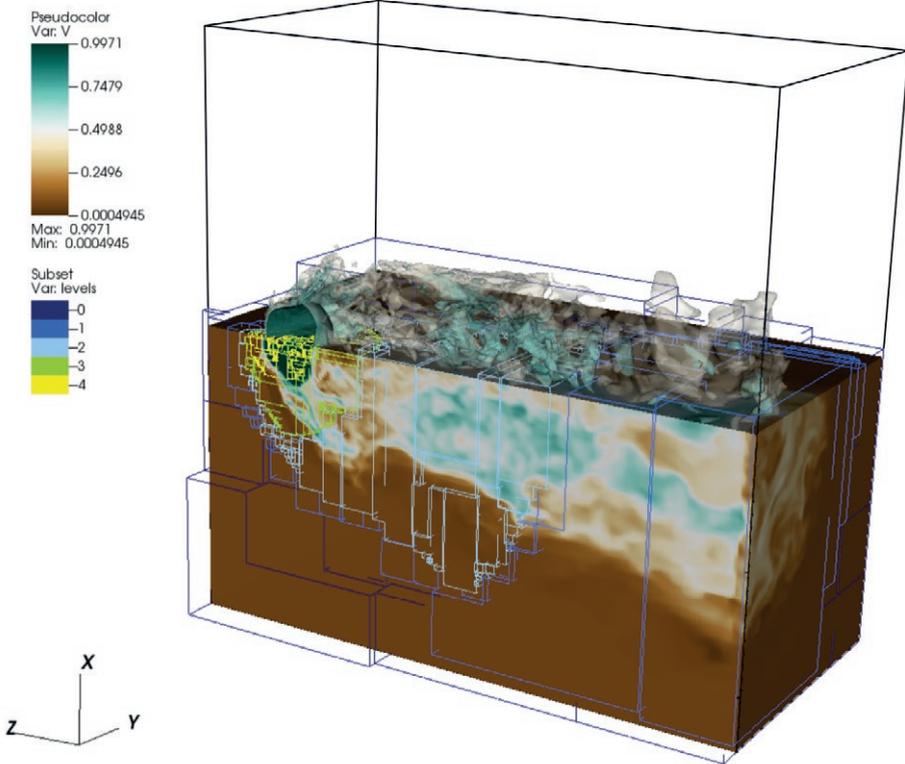


Figura 1. Mappa della magnitudine della velocità del flusso (in unità di c), derivata da una simulazione MHD 3D relativistica di una *pulsar bow shock nebula*. La pulsar è in moto lungo Z . La parte inferiore (colori pieni) rappresenta un taglio 2D lungo i piani ortogonali $X=Y=0$, mentre la parte superiore mostra isocontorni 3D. I rettangoli colorati (secondo la scala di colori più in basso, denominata “levels”) mostrano le zone della griglia numerica (adattiva) a diversa risoluzione. Immagine tratta da Olmi & Bucciantini 2019a.

Figure 1. Map of the flow velocity magnitude (in c units), derived from a relativistic 3D MHD simulation of a pulsar bow shock nebula. The pulsar is moving along Z . The bottom part (solid colours) shows a 2D section along the orthogonal planes $X=Y=0$, while the upper part shows 3D isocontours. The coloured boxes (following the bottom colour scale indicated as “levels”) show the different zones with different resolutions of the (adaptive) numerical grid. Image taken from Olmi & Bucciantini 2019a.

Nel corso degli anni il nostro gruppo ha studiato queste sorgenti sotto diversi punti di vista, con particolare attenzione ai meccanismi di accelerazione delle particelle allo shock, ai meccanismi di fuga e propagazione e al contributo di queste particelle allo spettro di raggi cosmici (CR) Galattici.

Tra i principali risultati del gruppo in questo campo possiamo citare lo sviluppo di un modello cinetico in grado di mappare le popolazioni di atomi neutri sia a valle dello shock che nel precursore che, tramite confronto con le osservazioni (specialmente righe Balmer), permette di stimare direttamente la frazione di energia dello shock che viene convertita in CR; lo studio della propagazione dei CR nella Galassia e gli effetti di feedback delle particelle sul mezzo, come la generazione di instabilità e la possibile amplificazione di campi magnetici turbolenti; il *grammage* (la quantità di materia attraversata dai CR prima di lasciare la Galassia) come vincolo alle condizioni di trasporto dei CR nella Galassia; l'identificazione delle pulsar, in particolare associate a *bow shock nebulae*, come sorgenti primarie dell'eccesso di positroni misurato da PAMELA nello spettro dei CR leptonici.

Accelerazione di particelle dai venti degli ammassi stellari

Un problema fondamentale è l'origine dei CR a più alta energia nella nostra Galassia. Seppur restando i migliori candidati ad essere sorgenti di CR, i SNR tipici riescono a spiegare al massimo particelle fino ad energie di 10-100 TeV, mentre si

attention to the particle acceleration mechanisms at the shock, to the escape and propagation mechanisms and to the contribution of these particles to the Galactic cosmic rays (CRs) spectrum.

Some of the group's major achievements in this field include the development of a kinetic model capable of mapping several populations of neutrals both downstream of the shock and in the precursor which, thanks to comparison with observations (especially Balmer lines), allows the direct estimate of the fraction of the shock energy converted into CRs; the study of CR propagation in the Galaxy and the effects of particle feedback on the ambient medium, such as the formation of instability with possible amplification of turbulent magnetic fields; the *grammage* (the amount of matter traversed by CRs before leaving the Galaxy) as a restriction of the transport conditions of CRs in the Galaxy; the identification of pulsars, especially those associated with bow shock nebulae, as primary sources of the positron excess measured by PAMELA in the leptonic CR spectrum.

Particle acceleration from winds of star clusters

A fundamental problem is the origin of the highest-energy CRs in our Galaxy. While SNRs are still the best candidate CR factories, it has been shown that the effective maximum energy reached during the life of a typical SNR is in the 10-100 TeV range, whereas all CRs below 3 PeV (the so called "knee") in the CR spectrum must be of Galactic origin. Consequently, a quest is open for the Galactic PeVatrons (non-occasional sources of CRs with $E > 1$ PeV). Some

ritiene che tutti i CR ad energie inferiori ai 3 PeV (sotto il cosiddetto “ginocchio”) debbano essere di origine Galattica. Pertanto si è recentemente aperta una caccia ai PeVatroni Galattici (vale a dire fonti non occasionali di CR con $E > 1$ PeV). Recentemente una parte del nostro gruppo si è dedicata proprio alla ricerca di possibili sorgenti alternative ai SNR, dimostrando che sia gli shock terminali in ammassi stellari che le galassie di tipo *starburst* sono candidati perfetti per raggiungere energie di accelerazione fino a centinaia di PeV.

Modelli numerici

Fin dagli anni 2000, grazie anche all’assidua collaborazione con L. Del Zanna, il nostro gruppo si è dedicato allo sviluppo di codici numerici applicati allo studio di sistemi astrofisici relativistici e plasmi relativistici, con molte declinazioni diverse: PWNe giovani o evolute; fuga di particelle; studio di oggetti collassati (tra cui equilibri di magnetars e getti relativistici); instabilità di dinamo relativistiche in dischi di accrescimento spessi attorno a buchi neri rotanti; deformazione di stelle di neutroni secondo teorie tensore-scalare.

Uno sguardo osservativo

Sebbene il gruppo sia sempre stato a traino teorico, non sono mancate, fin dai tempi di Marco Salvati (convolto in progetti di aerostati spaziali per l’astrono-

members of our group recently devoted their attention to the search for possible alternative sources to SNRs, showing that both the terminal shocks of stellar cluster winds and starburst galaxies are perfect candidates for reaching acceleration energies up to hundreds of PeV.

Numerical models

Since the 2000s, thanks partly to assiduous collaboration with L. Del Zanna, our group has worked on the development of numerical codes for high energy astrophysics and very different plasma physics applications: young and evolved PWNe; escape of particles; studies of collapsed objects (including equilibrium solutions in magnetars and relativistic jets); relativistic dynamo instabilities in thick accretion disks around rotating black holes; deformations of neutron stars in scalar-tensor theories.

An observational look

Although the group has always been theory-driven, there has been no shortage of direct involvement in high-profile observational projects since the days of Marco Salvati (involved in space balloon projects for gamma ray astronomy, such as FIGARO I-II and Beppo-SAX). In more recent times, members of the group have played prominent roles in some of the most important experiments/observatories for High Energy astrophysics (as coordinators for CTA

mia gamma, come i FIGARO e Beppo-SAX) i coinvolgimenti diretti in progetti osservativi di alto rilievo. Nei tempi più recenti membri del gruppo hanno infatti avuto ruoli di rilievo in alcuni dei più importanti esperimenti/osservatori per l'astrofisica delle Alte Energie (come coordinatori di gruppi di lavoro in CTA – E. Amato, G. Morlino e B. Olmi – o come responsabile del gruppo di lavoro su PWNe per il polarimetro X della NASA IXPE – N. Bucciantini).

Rino Bandiera è Astronomo Associato in INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Ha iniziato a lavorare ad Arcetri nei primi anni '80. I suoi principali campi di ricerca sono le *pulsar wind nebulae*, i resti di supernova e i processi di accelerazione in questi oggetti.

Barbara Olmi è Ricercatrice in INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri, dal 2020. I suoi principali campi di interesse sono le *pulsar wind nebulae*, i modelli numerici e i fenomeni di emissione non termica.

working groups – E. Amato, G. Morlino, B. Olmi – or as team leader for the PWNe topical group for the NASA X-ray polarimeter IXPE – N. Bucciantini).

Rino Bandiera is associate astronomer at INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri. He began working at Arcetri in the early '80s. His main fields of research are pulsar wind nebulae, supernova remnants and acceleration processes in these objects.

Barbara Olmi has been a researcher at INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri since 2020. Her main research fields are pulsar wind nebulae, numerical models and non-thermal radiation phenomena.



La radioastronomia all'Osservatorio di Arcetri: le antenne italiane, ALMA e SKA

*Radioastronomy at Arcetri Observatory: Italian antennas,
ALMA and SKA*

Gianni Comoretto
INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. La radioastronomia ad Arcetri inizia negli anni '50 con i primi radiotelescopi solari. Dagli anni '80 il gruppo si è specializzato nel disegno di sistemi di ottica elettromagnetica e nelle tecniche di processamento di segnali radio, contribuendo a diversi ricevitori e spettrometri per le antenne italiane e per satelliti astronomici, ed a correlatori in grandi interferometri come ALMA e SKA.

Parole chiave. Radioastronomia, radiotelescopi, antenne, correlatori.

Arcetri ha una lunghissima tradizione di osservazioni radioastronomiche. Negli anni '50 il direttore Guglielmo Righini pensò di affiancare le osservazioni ottiche del Sole a osservazioni nelle bande radio. Dopo primi prototipi realizzati con dipoli e reti da pollaio, nel 1957 venne costruito il primo vero radiotelescopio italiano, con un array di 5 antenne elicoidali montato su una struttura equatoriale (Fig. 1). Lo strumento, costato 10 milioni di lire dell'epoca, aveva una sensibilità

Abstract. Radioastronomy at Arcetri began in the '50s, with the first solar radiotelesopes. As of the '80s, the radioastronomy group focused on digital signal processing techniques and the design of electromagnetic optical components. It contributed to several receivers and spectrometers for Italian antennas and for astronomic satellites and to correlators for large interferometers like ALMA and SKA.

Keywords. Radioastronomy, radiotelesopes, antennas, correlators.

Arcetri has a long-standing history of radioastronomical observations. In the '50s, Director Guglielmo Righini advanced the idea of observing the Sun, not only in visible light, but also in the radio band. After the first prototypes built with dipoles and chicken wire, the first real Italian telescope was built in 1957, made up of an array of 5 helix antennas on an equatorial mount (Fig. 1). The instrument, which cost 10 million Italian lire, was sensitive enough to reliably measure the radio flux of the quiet sun. In 1959, it was joined by a dish measuring two

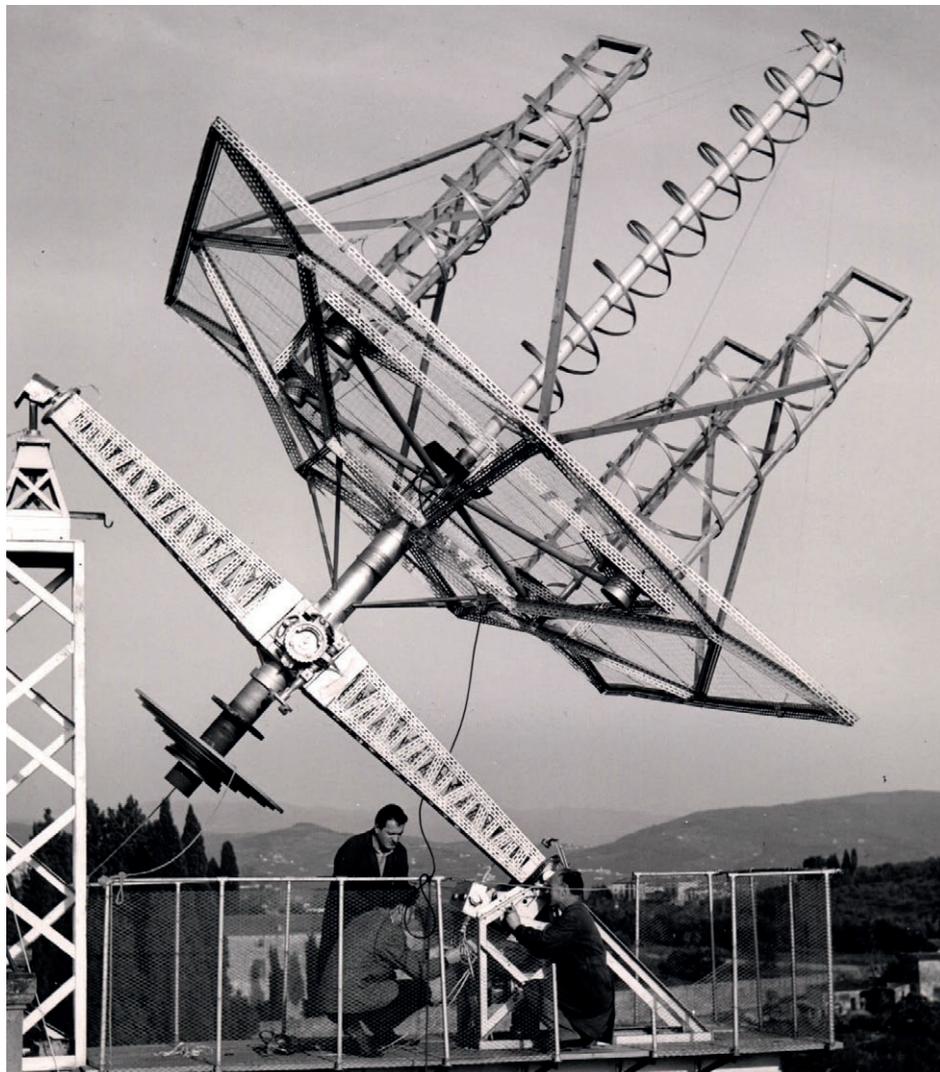


Figura 1. Il primo radiotelescopio di Arcetri nel 1957 (crediti: Archivio fotografico OAA).
Figure 1. The first radiotelescope at Arcetri in 1957 (credits: Photographic Archives OAA).

sufficiente a misurare il flusso del Sole quieto. Nel 1959 gli si affiancò una parabola di 2 metri di diametro, operante a 10 GHz. Per ottenere una risoluzione sufficiente a risolvere l'immagine del Sole vennero costruite nuove antenne paraboliche: una prima di 5 metri a 1400 MHz, a cui fu affiancata una piccola antenna laterale in configurazione interferometrica. Nel 1962 si concluse la costruzione di una seconda antenna parabolica di 10 metri di diametro, con un ricevitore a 10 GHz costruito da Gianni Tofani e Paolo Pampaloni, rimasta operativa fino al 1998, ed immortalata nel retro della banconota da 2000 lire dedicata a Galileo. Questi strumenti verranno utilizzati principalmente per osservazioni solari, ma il 10 metri aveva una sensibilità sufficiente per osservare altri tipi di sorgenti astronomiche.

Negli anni '60 furono lanciati dagli USA satelliti della famiglia Solrad in grado di osservare il Sole nella banda dei raggi X. Righini comprese e sfruttò questa opportunità scientifica, realizzando sistemi di ricezione della telemetria per questi satelliti, con antenne ad hoc e successivamente installando 16 antenne Yagi sul perimetro del parabolone di 10 metri. Con quest'ultimo sistema, e utilizzando un ricevitore Microdyne, nel 1969 si riuscì ad ascoltare in diretta le voci degli astronauti dallo sbarco sulla Luna dell'Apollo 11.

Nel 1974 Gianni Tofani e Marcello Felli visitarono l'università di Stanford, dove iniziarono ad osservare regioni HII in banda radio. Nacque quello che poi diverrà il gruppo di formazione stellare, per 20 anni sostanzialmente integrato nel gruppo di radioastronomia con un fruttuosissimo scambio tra aspetti tecnologici ed osservativi/teorici, sia nel radio che nell'infrarosso. A questo nuovo campo di indagine diede un notevole impulso la direzione di Franco Pacini.

metres in diameter, operating at 10 GHz. To obtain a resolution sufficient to resolve the image of the Sun, new dishes were built: a first one measuring 5 metres at 1400 MHz, with a small side dish in an interferometric configuration. In 1962, the construction of a second 10-metre dish was completed, with a 10 GHz receiver built by Gianni Tofani and Paolo Pampaloni. This telescope remained operational until 1998 and was pictured on the back of the 2000 lire banknote dedicated to Galileo. These instruments were used mainly for solar observations but the 10-metre dish was sensitive enough to detect other astronomical sources.

In the 1960s, the US launched a family of satellites (Solrad) capable of observing the Sun in X rays. Righini understood and exploited this scientific opportunity. He built and installed telemetry receivers for these satellites, with dedicated antennas, and subsequently installed 16 Yagi antennas on the perimeter of the 10-metre dish. With the latter system and using a Microdyne receiver, it was possible, in 1969, to listen live to the voices of the astronauts engaged in the Apollo 11 moon landing.

In 1974, Gianni Tofani and Marcello Felli visited Stanford University, where they began to observe HII regions in the radio band: what would later become the star formation group was born. For the next 20 years, the observative and technological groups were strongly integrated, with a very fruitful exchange between technological and observational/theoretical aspects, both in radio and infrared. The direction of Franco Pacini strongly boosted this new field of investigation.

In 1978, the Institute of Radio Astronomy (then part of the Italian CNR) proposed the construction of two 32-metre radio telescopes, located in Medicina and Noto, to be part of the

Nel 1978 l'Istituto di Radioastronomia (allora parte del CNR) propose la costruzione di due radiotelescopi da 32 metri, da integrare alla rete VLBI europea, posti a Medicina e Noto. Il gruppo di Arcetri si propose come partner di questo progetto, acquisendo nuovo personale e competenze. In particolare iniziò a specializzarsi in quelli che saranno sempre i suoi punti di forza: la progettazione e realizzazione di ottica elettromagnetica, come *feed*, polarizzatori, trasduttori di modo (G. Tofani, M. Catarzi) e le tecniche di processamento digitale dei segnali radio, con il primo spettrometro a 50 MHz di banda poi usato per osservazioni di transizioni molecolari (G. Comoretto, F. Palagi). Arcetri ha avuto in carico il progetto e realizzazione dei *feed* e relativi componenti elettromagnetici per quasi tutti i ricevitori installati a Medicina e Noto e dell'integrazione e criogenia per alcuni di questi, e realizzò il software di puntamento e gestione delle osservazioni del radiotelescopio di Medicina. Negli stessi anni Arcetri acquisì la gestione del telescopio infrarosso del Gornergrat (TIRGO), formalmente con la creazione del CAISMI-CNR. Tra i gruppi strumentali radio e infrarosso e il dipartimento di Astronomia dell'Università di Firenze iniziò una strettissima collaborazione relativa alle competenze di tecniche criogeniche, elettronica e software, e integrando osservazioni radio ed infrarosse. Alcuni strumenti dell'epoca si ritrovano con un collage di etichette di inventario dei tre enti.

L'attività osservativa negli anni tra il 1985 ed il 2000 riguardò soprattutto l'utilizzo delle antenne di Medicina e Noto, con la realizzazione di un catalogo dei maser dell'acqua galattici, diventato una base per gli studi del settore, il monitoraggio di un sottoinsieme di questi che andrà avanti per 25 anni, ed osservazioni

European VLBI network. The Arcetri group launched a partnership in this project, enlisting new people and the necessary skills. It began specializing in what will always be its strengths: the design and construction of electromagnetic optics, such as feeds, polarizers, orthomodes (G. Tofani, M. Catarzi) and digital radio signal processing techniques, with the first 50 MHz bandwidth spectrometer used to observe molecular transitions (G. Comoretto, F. Palagi). Arcetri was responsible for the design and implementation of the feeds and related electromagnetic components for almost all the receivers installed in Medicina and Noto, and for the integration and cryogenics for some of these. It also wrote the software for pointing and managing the observations of the Medicina radio telescope.

During those same years, Arcetri took charge of the TIRGO infrared telescope, formally with the creation of the CAISMI-CNR. A very close collaboration began between the radio and infrared groups and the Astronomy Department of the University of Florence, working on cryogenic techniques, electronics and software, and integrating radio and infrared observations. Some of the instruments built at the time ended up with a collage of inventory labels from the three institutions.

Between 1985 and 2000, the observational activity was devoted mainly to the use of the Medicina and Noto antennas: the creation of a catalog of galactic H_2O masers which became a basis for studies in the sector, the monitoring of a subset of these, to be continued for 25 years, and observations of methanol masers (F. Palagi, L. Moscadelli), for which a dedicated receiver was built. Several molecular species were observed in collaboration with the Insti-

del maser del metanolo (F. Palagi, L. Moscadelli), per cui verrà costruito un ricevitore dedicato. In collaborazione con l'Istituto di Spettroscopia Molecolare del CNR si osservarono varie specie molecolari in nubi interstellari: nasceva l'attività di astrochimica, con Claudio Codella e Paola Caselli.

Nel 1987 iniziò la collaborazione con il gruppo di Radio Science diretto da Bruno Bertotti: venne sviluppato il primo ricevitore digitale italiano, impiegato per *tracking* Doppler di precisione di sonde interplanetarie, ed un *transponder* a 32 GHz (banda Ka), realizzato dalla ditta SMA, che volerà sulla sonda Cassini. L'obiettivo, molto ambizioso (e non raggiunto), era quello di rivelare onde gravitazionali usando una sonda a qualche ora luce dalla Terra come massa libera. Il sistema comunque consentì di effettuare le misure più precise mai realizzate per il ritardo relativistico del segnale radio nella buca di potenziale gravitazionale del Sole. La collaborazione continuò, in modo sporadico, fino ad oggi, nella realizzazione di sistemi di misura Doppler per l'ESA.

Nel 1998 l'Osservatorio di Arcetri si propose ad ESO per contribuire al nascente interferometro millimetrico ALMA, relativamente ai *feed* per le bande fino a 100 GHz, e con un interesse verso il correlatore. Il progetto di quest'ultimo era già in fase avanzata, per cui un consorzio comprendente Arcetri, IRAM (Francia), l'Osservatorio di Bordeaux e ASTRON (Olanda) esplorò idee per un correlatore successivo, che sarebbe potuto divenire operativo dopo una decina d'anni. Una di queste idee, proposta e sviluppata dal gruppo di Arcetri, risultò immediatamente applicabile al disegno esistente: sostituendo una scheda di filtro digitale con un sistema di 32 ricevitori digitali indipendenti fu possibile incrementare di 32 vol-

tute of Molecular Spectroscopy of the CNR: the astrochemical activity was born, with Claudio Codella and Paola Caselli.

1987 marked the start of the collaboration with the Radio Science group directed by Bruno Bertotti. Arcetri developed the first Italian digital receiver, which was used for the precision Doppler tracking of interplanetary probes, and a 32 GHz transponder (Ka band), built by the SMA industry, which was flown on the Cassini spacecraft. The very ambitious (but unfortunately unfulfilled) goal was to detect gravitational waves using a probe a few light hours from Earth as free mass. However, the system allowed the most precise measurements ever taken for the relativistic delay of the radio signal in the gravitational well of the Sun. The collaboration has continued, sporadically, to the present day, working on the creation of Doppler measurement systems for ESA.

In 1998, the Arcetri Observatory approached ESO about contributing to the new ALMA millimeter interferometer, regarding the design of feeds for bands up to 100 GHz, and with an interest in designing the correlator. The correlator was already in the advanced design stages so a consortium including Arcetri, IRAM, the Bordeaux Observatory and ASTRON explored ideas for a state-of-the-art correlator, to become operational about ten years later. One of these ideas, proposed and developed by the Arcetri group, was applied immediately to the existing design: by replacing a digital filter card with a system of 32 independent digital receivers, it was possible to increase the spectral resolution of the instrument 32 fold, and to analyze larger sub-portions of the band observed, allowing simultaneous observation of mul-

te la risoluzione spettrale dello strumento, ed analizzare a risoluzione maggiore sotto-portioni della banda osservata, permettendo l'osservazione simultanea di più righe molecolari (Fig. 2). La modifica venne immediatamente accettata da ESO, che la propose come contributo europeo al correlatore. Questo disegno di un "correlatore ibrido" con una struttura di canalizzazione in frequenza a due stadi è attualmente uno standard diffuso in molti correlatori esistenti.

Nei primi anni 2000 il gruppo partecipò al progetto del nuovo radiotelescopio Sardinia Radio Telescope (SRT). Gianni Tofani, che nel frattempo aveva assunto la direzione dell'Istituto di Radioastronomia, contribuì in collaborazione con l'Università di Firenze al disegno elettromagnetico della parabola e del complesso sistema ottico. Venne realizzato un ricevitore a 7 pixel a 18-26 GHz, che richiese lo studio di una finestra da vuoto di grandi dimensioni, con uno spettropolarimetro digitale a 16 ingressi che sfruttò l'esperienza fatta con il correlatore di ALMA. Si sperimentarono inoltre filtri superconduttori, in grado di eliminare interferenze radio senza introdurre rumore termico. Questi strumenti costituiranno il ricevitore di prima luce dopo l'inaugurazione del telescopio, avvenuta nel 2013.

Tra il 2000 ed il 2010 il gruppo ha partecipato allo sviluppo di strumenti per esperimenti da satellite, contribuendo alla realizzazione dello spettrometro acusto-ottico HiFi per il satellite Herschel (E. Natale), con un ulteriore contributo al relativo software di riduzione dati (A. Lorenzani), ed al progetto elettromagnetico dei *feed* nelle bande tra 27 e 77 GHz del *Low Frequency Instrument* del satellite Planck. Nello stesso periodo ha contribuito allo sviluppo di un nuovo tipo di ricevitore che utilizzava la tecnica dei *phased array feed* (PAF), e che servirà da

multiple molecular lines (Fig. 2). The alteration was immediately accepted by ESO, who proposed it as a European contribution to the correlator. This "hybrid correlator" design with a two-stage frequency channeling structure is now a widespread standard in many existing correlators.

In the early 2000s, the group took part in the project for the new SRT radio telescope. Gianni Tofani, who in the meantime had taken over the direction of the Institute of Radio Astronomy, contributed in collaboration with the University of Florence to the electromagnetic design of the parabola and the complex optical system. An 18-26 GHz 7-pixel receiver was built, requiring the study of a large vacuum window, with a 16-input digital spectropolarimeter which exploited the experience gained with the ALMA correlator. Superconducting filters, capable of eliminating radio interference without introducing thermal noise, were also tested. These instruments made up the receiver for the first light observations, following the inauguration of the telescope in 2013.

Between 2000 and 2010, the group also participated in the construction of the HiFi acousto-optic spectrometer for the Herschel satellite (E. Natale), with a further contribution to the relative data reduction software (A. Lorenzani), and in the design of the feeds for the Low Frequency Instrument in the Planck satellite, in the bands between 27 and 77 GHz. At the same time, it contributed to the design of a new kind of receiver based on phased array technology. This experience served as the basis for work on SKA's phased array feeds. Due to several retirements and the impossibility of offering young researchers stable positions, the group shrank in size, and in 2013 or thereabouts, the work was carried out by just three scientists and three technicians.

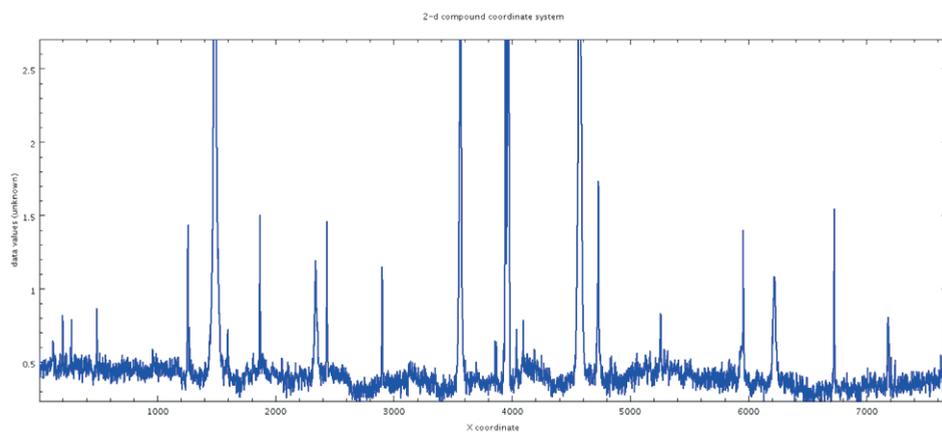
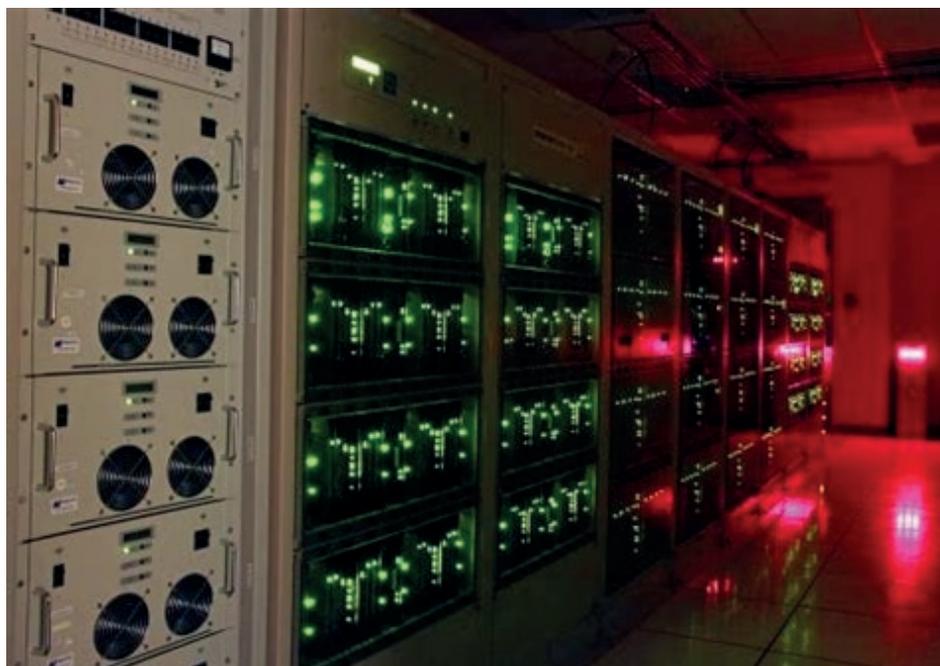


Figura 2. Sopra: il correlatore di ALMA. Sotto: la prima osservazione di righe molecolari in Orione, con 8000 canali spettrali.

Figure 2. Above: the ALMA correlator. Below: the first observation of molecular lines in Orion, with 8000 spectral channels (credits: G. Comoretto).

base per l'attuale lavoro sui *phased array feed* di SKA. In questi anni il gruppo, a causa di diversi pensionamenti e dell'impossibilità di fornire posizioni stabili ai giovani ricercatori che ci si avvicendarono, si ridusse numericamente: intorno al 2013 il lavoro era portato avanti solamente da 3 scienziati e 3 tecnici.

Nel 2018 iniziò il progetto PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 per il potenziamento di SRT. Dei 9 obiettivi realizzativi del progetto, due hanno un PI nel gruppo di Arcetri: il sistema di *back end* digitali (G. Comoretto), ed un ricevitore in grado di ricevere simultaneamente 3 bande di frequenza (P. Bolli). Arcetri è significativamente presente in altri 3 obiettivi, relativamente a due ricevitori multi-pixel e al sistema di calcolo. Arcetri ha contribuito a quasi tutti i ricevitori attualmente in funzione a SRT. Per i nuovi ricevitori multi-pixel sono state studiate tecniche per semplificare la costruzione di *feed* e polarizzatori, riducendone il costo in una produzione in serie, ed utilizzate nel ricevitore nella banda Q (33-50 GHz) a 19 pixel del PON.

Nel 2013 il gruppo entrò a far parte del consorzio per il correlatore di SKA. Al progetto si associarono Carlo Baffa ed Elisabetta Giani, che contribuiranno in modo importante al software di gestione. SKA è composto da due telescopi indipendenti, rispettivamente a bassa (fino a 350 MHz) e alta frequenza. Arcetri ha contribuito con diversi elementi ad entrambi i correlatori, ma dopo il 2015 si è spostato sul sistema di *beamforming* del telescopio *low*, e sullo studio teorico/simulativo delle caratteristiche del sistema digitale. Pietro Bolli, trasferito in quegli anni a Firenze, iniziò a studiare le antenne per questo elemento. Il gruppo acquisì Carolina Belli (ingegnere di sistema), Simone Chiarucci (modellizzazione del se-

The 2014-2020 PON Research and Innovation project for the enhancement of SRT was launched in 2018. Of the project's nine goals, two have a PI in the Arcetri group: the digital back-end system (G. Comoretto), and a receiver capable of simultaneously receiving three frequency bands (P. Bolli). Arcetri is significantly present in three more goals, relating to two multi-pixel receivers and the computing system. Arcetri has contributed to nearly all the receivers currently in operation at SRT. In particular, for the 19-pixel PON Q-band receiver (33-50 GHz), techniques have been studied to simplify the construction of feeds and polarizers, reducing their cost in mass production.

In 2013, the group joined the SKA correlator consortium. Carlo Baffa and Elisabetta Giani joined the project, contributing significantly to the operating software. SKA consists of two independent telescopes, at low (up to 350 MHz) and high frequency respectively. Arcetri contributed various elements to both correlators but after 2015, the activity moved to the beamforming system of the low telescope and to the theoretical study/simulation of the characteristics of the digital system. Pietro Bolli, who moved to Florence around about then, began studying antennas for this element. The group engaged Carolina Belli (system engineering), Simone Chiarucci (signal modeling), and Paola Di Ninni (antenna simulations). This, together with the consistent group of the Institute of Radio Astronomy, which had already been working on the project for years, and the IASF in Milan, formed a very robust group, capable of taking charge of the complete design and construction of the low aperture array system, made up of 131 thousand antennas, receivers and the demanding digital signal processing system.

gnale), Paola Di Ninni (simulazione di antenne). Assieme al consistente gruppo dell'Istituto di Radioastronomia, che già lavorava da anni al progetto, e dell'IASF di Milano si formò così un gruppo molto solido, in grado di prendere in carico in modo completo il disegno e la realizzazione di tutto il sistema del *Low Frequency Aperture Array*, composto da 131 mila antenne e ricevitori e dell'impegnativo sistema di *signal processing* digitale.

Oggi e nei prossimi anni l'impegno del gruppo sarà soprattutto rivolto a SKA. Per ALMA Arcetri è coinvolta nella realizzazione di un ricevitore tra 67 e 116 GHz (banda 2+3) con un sistema di *feed* che, grazie alle competenze in progettazione elettromagnetica, permette di risparmiare un ricevitore coprendo 2 bande. È stata approvata nell'ambito del PNRR la realizzazione di una camera anecoica di grandi dimensioni, che diventerà una *facility* nazionale per il test di antenne.

Gianni Comoretto lavora dal 1982 nel gruppo di radioastronomia di Arcetri, che dirige dal 2006. Si è occupato principalmente dello sviluppo di strumentazione ed algoritmi per l'acquisizione e l'analisi di dati astronomici e di software di controllo.

Today and in the years to come, the group will be committed mainly to SKA. Arcetri is involved in the creation of a receiver between 70 and 115 GHz (band 2+3) for ALMA, with a feed system which, thanks to its electromagnetic design expertise, saves a receiver by covering two bands. The construction of a large anechoic chamber approved within the framework of the PNRR will provide a national facility for testing antennas.

Gianni Comoretto joined the Arcetri radioastronomy group in 1982 and has led it since 2006. His main interests are the design and construction of radio and infrared instrumentation, radio signal processing algorithms and data analysis, as well as instrumentation control software.



Lo studio delle stelle e della formazione stellare ad Arcetri

The study of stars and star formation at Arcetri

Daniele Galli, Sofia Randich

INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Questo contributo ripercorre gli sviluppi degli studi di spettroscopia stellare e di formazione stellare che cominciarono ad emergere all'Osservatorio di Arcetri intorno ai primi anni '70, grazie all'impulso dato dall'introduzione di nuove tecniche nei tradizionali studi di fisica solare.

Parole chiave. Formazione stellare, radioastronomia, astronomia infrarossa, spettroscopia.

Gli esordi negli anni '70

Dagli anni '20 fino alla fine degli anni '60 del novecento, l'attività di ricerca all'Osservatorio Astrofisico di Arcetri si sviluppò principalmente nell'ambito della fisica solare, portando avanti un programma di osservazioni e fotografia astronomica prevalentemente in banda ottica. Naturalmente non erano mancate le eccezioni: una per tutte la tesi di laurea di Margherita Hack nel 1945 sulla variabile cefeide FF Aql, a testimonianza della sopravvivenza dell'interesse antico per l'astrofisica stellare che aveva reso famoso il fondatore dell'Osservatorio, Giovanni Battista Donati. A partire dai primi anni '70, cominciarono a emergere dalla fisica solare nuove linee di ricerca dedicate allo studio dei fenomeni di emis-

Abstract. This contribution traces the developments in stellar spectroscopy and star formation studies that began to emerge at the Arcetri Observatory around the early 1970s, thanks to the impetus given by the introduction of new techniques into traditional solar physics studies.

Keywords. Star formation, radio astronomy, infrared astronomy, spectroscopy.

The beginnings in the 1970s

From the 1920s until the late 1960s, research activity at the Osservatorio Astrofisico di Arcetri developed mainly in the area of solar physics, pursuing a program of astronomical observations and astronomical photography mainly in the optical band. Of course, there had been exceptions: one for all was Margherita Hack's dissertation in 1945 on the Cepheid variable FF Aql, testifying to the survival of the early interest in stellar astrophysics that had made the Observatory's founder, Giovanni Battista Donati, famous. Beginning in the early 1970s,

sione delle stelle e delle regioni di formazione stellare. Questi sviluppi presero avvio dall'introduzione di nuove tecniche dedicate espressamente allo studio della corona solare, che avevano permesso di estendere le osservazioni tradizionali in banda ottica ad altre regioni dello spettro elettromagnetico. Si cominciarono a fare osservazioni a lunghezze d'onda radio, applicando le tecniche radioastronomiche che l'allora direttore Guglielmo Righini aveva studiato a Cambridge alla fine degli anni '40, e, in parallelo, si iniziò a studiare l'emissione solare nelle bande UV e X grazie all'installazione ad Arcetri di antenne per ricevere dati dai satelliti artificiali statunitensi SOLRAD.

Intorno a queste due nuove “finestre” aperte sulla fisica solare si vennero a formare piccoli gruppi di ricercatori che cominciarono a compiere escursioni sempre più ampie in territori diversi da quelli tradizionali: Marcello Felli e Gianni Tofani insieme ad altri cominciarono ad interessarsi allo studio dell'emissione radio continua di regioni HII, mentre Roberto Pallavicini ed altri si occuparono dell'analisi e dell'interpretazione dell'emissione coronale UV e X di stelle attive e di tipo T-Tauri. Tra i più significativi risultati di questo periodo vanno segnalate diverse campagne osservative sulle sorgenti radio compatte in banda centimetrica, condotte al VLA da Felli (in collaborazione con Ed Churchwell) dal 1970 al 1990, e un importante lavoro del 1975 di Felli e Nino Panagia sullo spettro dell'emissione free-free di stelle con venti o involucri con gradienti di densità. In ambito stellare sono invece da ricordare i lavori di Pallavicini con vari collaboratori italiani e stranieri pubblicati alla fine degli anni '70 ed inizio anni '80 utilizzando dati dei satelliti EXOSAT e Einstein, in particolare la determinazione della correlazione

new lines of research dedicated to the study of stellar emission phenomena and star-forming regions began to emerge from solar physics. These developments began with the introduction of new techniques dedicated expressly to the study of the solar corona, which had made it possible to extend traditional optical-band observations to other regions of the electromagnetic spectrum: observations started to be carried out in the radio band, applying the radio astronomy techniques that then-director Guglielmo Righini had studied at Cambridge in the late 1940s; at the same time solar emission in the UV and X-bands began to be studied thanks to the installation at Arcetri of antennas specifically designed to receive data from the U.S. SOLRAD artificial satellites.

Small groups of astronomers gathered around these two new “windows” opened on solar physics and they began to make increasingly large excursions into territories other than those traditionally covered by the Observatory. Marcello Felli and Gianni Tofani, along with others, took an interest in the study of the continuous radio emission of HII regions, while Roberto Pallavicini and others were gradually involved in the analysis and interpretation of the UV and X coronal emission of active stars and T-Tauri stars. Among the most significant achievements during this period were several observational campaigns on centimeter-band compact radio sources, conducted at the VLA by Felli and Ed Churchwell from 1970 to 1990, and the seminal work by Felli and Nino Panagia in 1975 on the free-free emission spectrum of stars with winds or envelopes with density gradients. In the stellar research field, on the other hand, works by Pallavicini and collaborators published in the late 1970s and early 1980s using data from the

tra la luminosità X, luminosità bolometrica e velocità di rotazione per stelle di vari tipi spettrali. Pallavicini ebbe inoltre un ruolo di rilievo nello sviluppo del satellite XMM-Newton dell'Agenzia Spaziale Europea, del quale fu *Mission Scientist* e in quello del satellite italiano/olandese BeppoSAX.

La direzione di Franco Pacini (1978)

La nomina di Franco Pacini a direttore dell'Osservatorio nel 1978 fornì una spinta notevole agli studi sulla materia interstellare. Pacini contribuì a promuovere lo sviluppo dell'astronomia in banda millimetrica e submillimetrica e favorì l'inserimento ad Arcetri di nuovi ricercatori con competenze teoriche e modellistiche, come Antonella Natta, Carlo Giovanardi, e Francesco Palla. Sotto la direzione di Pacini si intensificò la partecipazione a conferenze internazionali dedicate al settore allora nascente della formazione stellare. Era nato ad Arcetri il primo nucleo del "gruppo di formazione stellare" i cui interessi spaziavano dalle osservazioni radio e infrarosse alla modellizzazione dei processi radiativi e dinamici.

Lo sviluppo dell'astronomia infrarossa (1980)

L'astronomia infrarossa in particolare ricevette negli anni '80 un interesse crescente da tutti i punti di vista: osservativo, teorico e tecnologico. Si trattava di un campo nuovo, e pochissimo rappresentato in Italia; tuttavia proprio nel 1980

EXOSAT and Einstein satellites determined the correlation between X-luminosity, bolometric luminosity and rotational velocity for stars of various spectral types. Pallavicini also played a leading role in the development of the XMM-Newton satellite of the European Space Agency, as well as in the BeppoSAX Italian/Dutch space mission.

Franco Pacini's directorship (1978)

The appointment of Franco Pacini as director of the Observatory in 1978 gave a major boost to research into interstellar matter. Pacini helped promote the development of millimeter- and submillimeter-band astronomy and fostered the inclusion at Arcetri of new researchers with theoretical and modeling expertise, such as Antonella Natta, Carlo Giovanardi, and Francesco Palla. Under Pacini's directorship, participation in international conferences devoted to the then nascent field of star formation was intensified. The first nucleus of the "star formation group", whose interests ranged from radio and infrared observations to the modeling of radiative and dynamical processes, had been born at Arcetri.

The development of infrared astronomy (1980)

Infrared astronomy in particular received increasing interest in those years from all points of view: observational, theoretical and technological. It was a new field, and very poorly repre-

era stato compiuto un passo avanti importante con la costituzione del Centro per l'Astronomia Infrarossa e lo Studio del Mezzo Interstellare del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CAISMI-CNR), ente preposto anche alla gestione del Telescopio Infrarosso da 1.5m del Gornergrat sulle alpi svizzere (TIRGO). Del centro fecero parte tra gli altri Tofani, direttore dal 1987, e Piero Salinari, responsabile del progetto TIRGO. Per questo telescopio fu progettata e interamente realizzata ad Arcetri una strumentazione che comprendeva due spettrometri e tre camere. Con il telescopio TIRGO, operativo fino al 2005, furono ottenuti diversi risultati significativi nel campo della formazione stellare galattica ed extragalattica, e furono compiuti anche studi di comete e occultazioni lunari, contribuendo alla formazione di un'eccellente "scuola infrarossa" ad Arcetri.

Gli sviluppi degli anni '90

Dagli anni '80 in poi il settore dell'astronomia infrarossa e della formazione stellare furono in continua espansione. In banda radio fu sfruttata in maniera intensiva l'antenna di 32 m di Medicina per uno studio sistematico di tutte le sorgenti maser di H₂O a 22.2 GHz esistenti a nord di -30° di latitudine, allo scopo di fornire un database omogeneo su cui condurre analisi di variabilità; in banda millimetrica furono invece utilizzati soprattutto gli strumenti dell'*Institut de Radioastronomie Millimétrique* (IRAM), il radiotelescopio da 30 m di Pico Veleta in Spagna e le 6 antenne di Plateau de Bure nelle Alpi francesi, oltre al VLA già

sented in Italy. However, in 1980 a major step forward had been taken with the establishment of the Center for Infrared Astronomy and the Study of the Interstellar Medium of the National Research Council (CAISMI-CNR), an organization also responsible for the management of the 1.5m Gornergrat Infrared Telescope in the Swiss Alps (TIRGO). The center's staff included Tofani, director from 1987, and Piero Salinari, TIRGO project manager. The instrumentation for the TIRGO telescope was designed and built entirely at Arcetri and included two spectrometers and three chambers. With the TIRGO telescope, operational until 2005, several significant results were obtained in the field of galactic and extragalactic star formation, and studies of comets and lunar occultations were also carried out, contributing to the formation of an excellent "infrared school" at Arcetri.

Developments in the 1990s

From the 1980s onward, the fields of infrared astronomy and star formation were in continuous expansion. In the radio band, the 32 m antenna at Medicina was intensively exploited for a systematic study of all existing 22.2 GHz H₂O maser sources north of -30° latitude in order to provide a homogeneous database on which to conduct variability analyses. In the millimeter band, the Arcetri group sought access to the instruments of the Institut de Radioastronomie Millimétrique (IRAM), the 30-m radio telescope at Pico Veleta in Spain and the six antennas at Plateau de Bure in the French Alps, in addition to the VLA. These facilities were

citato. Con questi strumenti furono compiute importanti osservazioni dell'emissione continua di condensazioni molecolari e dischi protostellari, e dell'emissione di riga di vari traccianti molecolari allo scopo di studiare la cinematica di *infall/outflow* delle regioni di formazione stellare.

Verso ALMA

A partire dagli anni '90, il numero dei ricercatori coinvolti aumentò considerevolmente: oltre agli astronomi già nominati, al volgere del millennio la componente osservativa radioastronomica/infrarossa comprendeva Maria Teresa Beltrán, Claudio Codella, Riccardo Cesaroni, Fabrizio Massi, Luca Moscadelli, Luca Olmi e Riccardo Valdetaro; la componente stellare includeva Elena Franciosini, Laura Magrini, e Sofia Randich. Ad essi si aggiunsero successivamente Anna Brucalassi, Davide Fedele, Andrea Lorenzani, Marco Padovani, Elena Pancino, Lorenzo Pino, Linda Podio, Germano Sacco e Nicoletta Sanna. Tra la fine degli anni '90 e i primi anni 2000 lavorarono attivamente nel gruppo stelle/formazione stellare Malcolm Walmsley (dal 1995 al 2008), Paola Caselli (dal 1996 al 2005), e Leonardo Testi (dal 1998 al 2007).

Negli anni '90 l'accesso ad una strumentazione millimetrica di punta era diventato per il gruppo di Arcetri ormai una necessità imprescindibile. Grazie anche al lavoro di persuasione di Franco Pacini in qualità di membro dell'ESO Council, nel dicembre 1998 si giunse alla firma di un *Memorandum of Understanding* tra la

used to conduct important observations of the continuous emission of molecular cloud cores and protostellar disks, and of the line emission of various molecular tracers, for the purpose of studying the infall/outflow kinematics of star-forming regions. The research activity carried out at the time developed in the most diverse directions, also opening up to theoretical topics such as protostellar and main pre-sequence evolution, and primordial star formation.

Towards ALMA

In the 1990's, the number of researchers involved increased considerably: in addition to the astronomers already named, by the turn of the millennium the radio astronomy/infrared observing component included Maria Teresa Beltrán, Claudio Codella, Riccardo Cesaroni, Fabrizio Massi, Luca Moscadelli, Luca Olmi, and Riccardo Valdetaro; the stellar component included Elena Franciosini, Laura Magrini, and Sofia Randich. They were later joined by Anna Brucalassi, Davide Fedele, Andrea Lorenzani, Marco Padovani, Elena Pancino, Lorenzo Pino, Linda Podio, Germano Sacco, and Nicoletta Sanna. Between the late 1990s and the early 2000s, Malcolm Walmsley (1995 to 2008), Paola Caselli (1996 to 2005), and Leonardo Testi (1998 to 2007) worked actively in the star formation group.

During the 1990s, access to state-of-the-art millimeter instrumentation had become an unavoidable necessity for the Arcetri group. Thanks in part to the persuasive effort of Franco Pacini as a member of the ESO Council, a Memorandum of Understanding was signed in

National Science Foundation e varie organizzazioni scientifiche europee, tra cui ESO, per “la progettazione e realizzazione di un grande interferometro millimetrico/sub-millimetrico denominato Atacama Large Millimeter Array (ALMA)” che iniziò ad essere operativo già dal 2007 durante la sua costruzione, ultimata nel 2011. A partire dai primi anni 2000, alcuni membri del gruppo di Arcetri furono coinvolti in prima persona nella gestione di ALMA: ad esempio Walmsley e Testi ricoprono il ruolo di rappresentanti per l’Italia nell’*ALMA Advisory Committee* rispettivamente dal 2000 al 2003 e dal 2003 al 2006. Grazie ad ALMA, il gruppo di Arcetri poté realizzare numerosi e importanti progetti di ricerca nel campo dell’astrochimica, dei dischi protoplanetari, della dinamica delle nubi molecolari e in generale nella caratterizzazione delle proprietà fisiche delle regioni di formazione di stelle di piccola e grande massa. Queste tematiche si sono ulteriormente sviluppate negli anni e costituiscono ancora oggi alcune fra le ricerche di punta svolte all’Osservatorio.

La spettroscopia ottica (1988)

Dalla fine degli anni '80 Roberto Pallavicini e alcuni collaboratori, pur continuando ad utilizzare in modo intenso le osservazioni in banda X e radio per lo studio delle corone stellari, capirono l’importanza della spettroscopia ottica ad alta risoluzione per l’indagine complementare delle cromosfere delle stelle. Cominciarono in quel periodo numerose campagne osservative con i telescopi

December 1998 between the National Science Foundation and various European scientific organizations, including ESO, for “the design and construction of a large millimeter/sub-millimeter interferometer called the Atacama Large Millimeter Array (ALMA)”, which began to be operational as early as 2007, during its construction, completed in 2011. Starting in the early 2000s, some members of the Arcetri group were personally involved in the management of ALMA: Malcolm Walmsley and Leonardo Testi, for example, served as representatives for Italy on the ALMA Advisory Committee from 2000 to 2003 and from 2003 to 2006, respectively. Thanks to ALMA, the Arcetri group was able to carry out several important research projects in the field of astrochemistry, protoplanetary disks, molecular cloud dynamics and, in general, in the characterization of the physical properties of low- and high-mass star-forming regions. These research lines further developed during the years that followed and now represent some of the most cutting-edge investigations areas at the Observatory.

Optical Spectroscopy (1988)

While continuing to make intensive use of X-band and radio observations for the study of stellar coronae, at the end of the '80s, Roberto Pallavicini and a few collaborators realized the importance of high-resolution optical spectroscopy for the complementary investigation of the chromospheres of the stars. Numerous observing campaigns at the time began with the telescopes of the European Southern Observatory (ESO), particularly with the CAT telescope

dell'ESO, in particolare con il telescopio CAT e lo spettrografo ad alta risoluzione CES. Successivamente la spettroscopia ad alta risoluzione fu estesa alla più generale indagine di altre proprietà stellari e allo studio dell'abbondanza del litio, elemento chiave per la caratterizzazione delle stelle, della loro età ed evoluzione. Con il ritorno ad Arcetri di Sofia Randich a metà degli anni '90, la spettroscopia stellare si è progressivamente aperta a tematiche di ricerca diverse, rivolte sia a popolazioni stellari giovani sia a stelle ed ammassi stellari vecchi e alla cosiddetta "archeologia Galattica". Queste attività sono culminate nella *survey* spettroscopica Gaia-ESO, un progetto più che decennale, guidato ad Arcetri e realizzato con il Very Large Telescope (VLT) dell'ESO. Gaia-ESO rappresenta la più grande campagna osservativa stellare mai svolta su un telescopio della classe degli 8m.

La consapevolezza dell'importanza della spettroscopia ottica motivò l'interesse di Pallavicini anche nello sviluppo di nuova strumentazione. In particolare, fu PI italiano dello spettrografo X-Shooter, il primo degli strumenti di seconda generazione installati al VLT. X-Shooter fu sviluppato da un consorzio che oltre ad ESO includeva Danimarca, Francia, Italia ed Olanda; purtroppo Pallavicini, scomparso nel 2009, non ha potuto vedere la prima luce di questo strumento che è stato ed ancora è fondamentale per molte ricerche di punta dell'astrofisica stellare ma non solo.

Gli studi teorici

La fruttuosa collaborazione tra Francesco Palla e Steve Stahler, iniziata nei primi anni '80 alla Cornell University di Ithaca, New York, sotto la guida di Ed

and the CES high-resolution spectrograph. Subsequently, high-resolution spectroscopy was extended to the more general investigation of other stellar properties and to the study of the abundance of lithium, a key element for the characterization of stars, their ages and evolution. With the return to Arcetri of Sofia Randich in the mid-1990s, the research based on stellar spectroscopy gradually opened up to different topics, aimed at the both the investigation of young stellar populations and to the field of old stars, star clusters and so-called "Galactic archaeology". These activities culminated in the Gaia-ESO Spectroscopic Survey, a more than 10-year long project coordinated at Arcetri (Fig. 3) and carried out using ESO's Very Large Telescope (VLT); Gaia-ESO represents the largest stellar observation campaign ever carried out using an 8m-class telescope.

Awareness of the importance of optical spectroscopy motivated Pallavicini's interest also in the development of new instrumentation. In particular, he was the Italian PI of the X-Shooter spectrograph, the first of the second-generation instruments installed at the VLT. X-Shooter, was developed by a consortium that, in addition to ESO, included Denmark, France, Italy and the Netherlands. Unfortunately, Pallavicini, who passed away in 2009, was unable to see the first light of this instrument which was and still is fundamental to many key researches in stellar astrophysics, as well as other projects. Lastly, we should point out that, in 1995, Pallavicini organized the IX "Cool Stars, Stellar Systems and The Sun" conference in Florence, where future Nobel Prize winners, Michel Mayor and Didier Queloz, announced the discovery of the first exoplanet.

Salpeter, produsse una serie di importanti lavori teorici sull'evoluzione stellare protostellare e di pre-sequenza principale pubblicati in un arco di venti anni tra il 1980 e il 2000, e portò alla realizzazione del fondamentale libro di testo *The Formation of Stars*, pubblicato nel 2004, a tutt'oggi la principale opera di riferimento nel settore. Gli interessi di Francesco Palla si estendevano anche alla formazione delle prime stelle nell'Universo, alla chimica dell'universo primordiale e all'evoluzione chimica galattica degli elementi leggeri (con Daniele Galli). La sua scomparsa prematura nel 2016 costituì una perdita incolmabile per il gruppo di formazione stellare e per tutto l'Osservatorio. Gli studi teorici si svilupparono anche in altre direzioni: negli anni '90 Francesca Bacciotti e Daniele Galli iniziarono lo studio dei fenomeni associati al campo magnetico nei getti protostellari e nella fase di collasso gravitazionale. Entrambe queste linee di ricerca si sono poi sviluppate anche in stretta collaborazione con gruppi osservativi, sia dell'Osservatorio (il gruppo di radioastronomia) che stranieri. Recentemente, a questi studi si è affiancata una linea di ricerca teorica/osservativa (Marco Padovani) focalizzata sugli effetti dei raggi cosmici nell'evoluzione chimica e dinamica della materia interstellare.

Daniele Galli è Astronomo Associato all'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, dove si occupa di formazione stellare. Dal 2017 insegna Fisica della Materia Interstellare all'Università di Firenze.

Sofia Randich è Dirigente di Ricerca presso INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri di cui è direttrice da gennaio 2018. La sua ricerca si rivolge all'astrofi-

Theoretical studies

The fruitful collaboration between Francesco Palla and Steve Stahler (University of California, Berkeley), which began in the early 1980s at Cornell University in Ithaca, New York, under the leadership of Ed Salpeter, produced a series of important theoretical works on protostellar and pre-main sequence stellar evolution published between 1980 and 2000, and resulted in the seminal textbook "The Formation of Stars", published in 2004, which is still the leading reference work in the field. Francesco Palla's interests also extended to the formation of the first stars in the Universe, the chemistry of the early universe and the galactic chemical evolution of light elements (with Daniele Galli). His untimely death in 2016 was an unbridgeable loss for the star formation group and for the entire Observatory. Theoretical studies also developed in other directions: in the 1990s, Francesca Bacciotti and Daniele Galli began studying the phenomena associated with magnetic fields in protostellar jets and in the gravitational collapse phase. Both of these lines of research later developed in close collaboration with observational groups, both from the Observatory (the radio astronomy group) and from abroad. Recently, these studies have been joined by a theoretical/observational line of research (Marco Padovani) focused on the role of low-energy cosmic rays in the chemical and dynamical evolution of interstellar matter.



Figura 1. Il gruppo stelle e formazione stellare a Villa Galileo nel 2018. Da sinistra: F. Hersant, C. Codella, V. Taquet, L. Olmi, F. Bacciotti, L. Moscadelli, R. Cesaroni, E. Bianchi, F. Fontani, M. Padovani, C. Favre, F. Massi, A. Lorenzani, L. Podio, V. Roccatagliata, D. Galli, N. Sanna, E. Franciosini, G. Guidi, T. Margheri, C. Mininni, L. Colzi, E. Pancino, L. Bravi, C. Toci, S. Randich, D. Fedele, G. Sacco (crediti: archivio OAA).

Figure 1. The star and star formation group at Villa Galileo in 2018. From left: F. Hersant, C. Codella, V. Taquet, L. Olmi, F. Bacciotti, L. Moscadelli, R. Cesaroni, E. Bianchi, F. Fontani, M. Padovani, C. Favre, F. Massi, A. Lorenzani, L. Podio, V. Roccatagliata, D. Galli, N. Sanna, E. Franciosini, G. Guidi, T. Margheri, C. Mininni, L. Colzi, E. Pancino, L. Bravi, C. Toci, S. Randich, D. Fedele, G. Sacco (credits: OAA archives).

sica stellare e allo studio della formazione ed evoluzione della nostra Galassia. È Co-Principal Investigator della Gaia-ESO Survey.

Daniele Galli is Associate Astronomer at INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, where he works on star formation. He has been teaching a course on Physics of the Interstellar Medium at the University of Florence since 2017.

Sofia Randich is Director of Research at INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, and has been Director of the Institute since January 2018. Her research activity focuses on stellar astrophysics and on Galactic archaeology. She is Co-Principal Investigator of the Gaia-ESO Survey.



Il Colle di
Galileo

Venti anni di spettroscopia da terra e dallo spazio

Twenty years of spectroscopy from the ground and from space

Andrea Tozzi

INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. la spettrometria è sempre stata uno degli elementi portanti dell'osservazione astronomica. Presso l'Osservatorio di Arcetri si progettano e realizzano moduli spettrografici fin dagli anni novanta del secolo scorso. La complessità di questi strumenti è cresciuta nel tempo e di pari passo sono aumentate le loro dimensioni e performance, sempre mantenendo l'idea originale e lo schema di base, sapientemente trasmessi da una generazione di ricercatori a quella successiva.

Parole chiave. Spettroscopia, spettrografi, ARIEL, MOONS, GIANO, ANDES

Lo spettrografo è stato il primo strumento che gli astronomi hanno collegato otticamente ad un telescopio nel tentativo di comprendere la natura delle stelle e spiegare la loro origine, formazione ed evoluzione. Alla fine del XIX secolo Gian Battista Donati (1826-1873) e Angelo Secchi (1818-1878) misero a punto i primi spettrometri che potessero essere usati con un telescopio astronomico: il primo fece uso di una serie di prismi di vetro disposti in cascata, il secondo di un singolo prisma che funzionava anche da obiettivo. Con questi strumenti realizzarono una prima classificazione spettrale delle stelle, replicando accuratamente su carta gli

Abstract. Spectrometry has always been one of the cornerstones of astronomical observation. At the Arcetri Observatory, spectrographic modules have been designed and built since the 1990s. The complexity of these instruments has grown over time, as have their size and performance, always maintaining the original idea and basic scheme, skillfully transmitted from one generation of researchers to the next.

Keywords. Spectroscopy, spectrographs, ARIEL, MOONS, GIANO, ANDES.

The spectrograph was the first instrument that astronomers connected to a telescope in an attempt to understand the nature of the stars and explain their origin, formation and evolution. At the end of the 19th century Gian Battista Donati (1826-1873) and Angelo Secchi (1818-1878) developed the first spectrometers that could be used with an astronomical telescope: the former made use of a series of glass prisms arranged in a cascade, the latter of a single prism also working as a lens. With these instruments they made a primitive spectral classification of

spettri osservati, facendo un uso sapiente e raffinato dei colori dello spettro visibile. Il metodo osservativo usato da questi pionieri del XIX secolo tutto sommato è identico a quello usato nella moderna strumentazione: un sistema ottico per raccogliere i fotoni, un elemento dispersivo e un sistema ottico per focalizzare la luce dispersa su un rivelatore. Non mancava la lampada di calibrazione: se oggi-giorno si ambisce all'uso di *laser comb* o Fabry Perot, all'epoca ci si accontentava delle poche sorgenti spettrali a disposizione, in primis la lampada al sodio, la cui luce usata come riferimento, veniva messa a confronto diretto con quella proveniente dall'astro in osservazione con ottimi risultati: si consideri che un occhio allenato è in grado di discernere la lunghezza d'onda associata ad un certo colore con una precisione di pochi nanometri.

All'Osservatorio di Arcetri la tradizione spettroscopica è sempre stata presente e con essa una vera e propria scuola di costruzione degli spettrografi. Volendo cercare il capo di questo filo rosso che unisce almeno due generazioni di ricercatori e tecnologi ante litteram, potremmo identificare con il *LongSlit Infrared Spectrometer* (LonGSp) il primo moderno apparato spettroscopico realizzato su questa collina. I suoi ingredienti sono del tutto assimilabili a quelli attualmente usati per progettare gli strumenti dei futuri grandi telescopi che daranno modo ai nostri giovani ricercatori l'opportunità di osservare il cielo con una risoluzione spettrale e con una capacità osservativa che farebbero felici Donati e Secchi. LonGSp faceva uso di un reticolo diffrattivo, un *detector* Rockwell basato sul HgTeCd (il glorioso NICMOS 256x256 pixel), un'elettronica di lettura autocostruita, un criostato operante alla temperatura di 77K e infine un sorprendente computer 486

stars, painstakingly reproducing by hand the spectra they observed, making skillful and refined use of the colors of the visible spectrum. The observational method used by these 19th-century pioneers is the same as that used in modern times: an optical system to collect photons, a dispersive element, and an optical system to focus the scattered light on a detector. There was no lack of a calibration lamp: while we now aspire to use a laser comb or a Fabry Perot, at that time few spectral sources were available, primarily the sodium lamp, the light of which was compared directly with that coming from the astronomical source under observation with excellent results: bear in mind that a trained eye can discern the wavelength associated with a certain color with an accuracy of a few nanometers.

At the Arcetri Observatory, the spectroscopic tradition has always been present, along with a real school of spectrograph construction. Wanting to look for the end of this thread linking at least two generations of ante litteram researchers and technologists, we could identify the LongSlit Infrared Spectrometer (LonGSp) as the first modern spectroscopic apparatus built on the Arcetri hill in the early 1990s. Its components were entirely comparable to those currently used to design the instruments of future large telescopes that will give our young researchers the opportunity to observe the sky with a spectral resolution and observational capability that would be astonishing for Donati and Secchi. LonGSp made use of a diffractive grating, a Rockwell detector based on HgTeCd (the glorious 256x256-pixel NICMOS), self-built readout electronics, a cryostat operating at a temperature of 77K, and finally an amazing 486 computer on which the procedures for decoding the analog signal based on the C language ran (even

sul quale giravano le procedure per la decodifica del segnale analogico basate sul linguaggio C (già negli anni novanta i dati spettrali erano registrati e analizzati da un codice numerico). Questo strumento era collegato al Telescopio Infrarosso del Gornergrat (TIRGO), nei pressi dell'omonimo ghiacciaio sopra Zermatt in Svizzera, dove operò con successo dal 1994 al 1997.

Nei primi anni del secolo odierno, partì una nuova avventura non dissimile dalla precedente per i suoi tratti costituenti: nel 2002 una *call* di INAF selezionò il progetto GIANO per dotare il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) di uno spettrometro infrarosso ad alta risoluzione spettrale. La *Preliminary Design Review* (PDR) nel 2004, la *Final Design Review* (FDR) nel 2009, la fase di assemblaggio (MAIT) fra il 2007 e il 2011 e infine il *commissioning* nel 2012 al TNG, situato a La Palma nelle isole Canarie. Lo spettrometro ha dimensioni considerevoli: il criostato che lo contiene somiglia ad una bombola del gas di 3 m di lunghezza per 1.5 m di diametro il cui ingombro fu progettato a misura degli angusti spazi dei nostri laboratori e dei corridoi: memorabile la procedura di uscita di GIANO che prevedeva lo smontaggio degli infissi e il suo trasporto millimetrico. La risoluzione spettrale, tutt'ora invidiata, è pari a 50000 in un range spettrale che va da 0.9 micron a 2.4 micron con un rumore elettronico di acquisizione inferiore al singolo elettrone: elettronica progettata e realizzata presso il laboratorio elettronico di Arcetri.

Nel 2014, durante una cena a Montreal in occasione del congresso SPIE, partì l'avventura per un nuovo spettrometro: MOONS, spettrometro a doppia risoluzione spettrale per il VLT. Il consorzio comprendeva molte nazioni e il piccolo

back in the 1990s spectral data were recorded and analyzed by a numerical code). This instrument was connected to the Gornergrat Infrared Telescope (TIRGO) near the glacier of the same name above Zermatt in Switzerland, where it operated successfully from 1994 to 1997.

A new adventure, not dissimilar to the previous one, began in the early years of this century: in 2002 an INAF call selected the GIANO project to equip the Galileo National Telescope (TNG) with an infrared spectrometer with high spectral resolution. The Preliminary Design Review (PDR) in 2004, the Final Design Review (FDR) in 2009, the assembly phase (MAIT) in 2007-2011 and, finally, the commissioning in 2012 at TNG. The spectrometer is very large, the cryostat that contains it resembles a gigantic gas cylinder about three meters long and 1.5 meters in diameter, designed to fit into the narrow spaces of our laboratories and corridors: GIANO's exit procedure, which involved the disassembly of the fixtures and its millimetric transportation, is memorable. The spectral resolution, still envied, is equal to 50000 in a spectral range that goes from 0.9 to 2.4 micron with an electronic acquisition noise lower than a single electron: the electronics were invented and created in the Arcetri electronic laboratory.

The adventure for a new spectrometer began in 2014, during a dinner at the SPIE congress in Montreal. The spectrometer was MOONS, a dual spectral resolution spectrometer for the VLT. The consortium included many nations, and the small Arcetri group was responsible for an important part of the project: the optical design! Then we also ended up being responsible for the mechanical design of the collimation optics, the dichroic filters and the disperser handling apparatus: half a ton of aluminum, glass, and lots of cutting-edge technology to move by 350 mm in a couple

gruppo di Arcetri era responsabile per la progettazione di una parte importante: il disegno ottico! Poi finimmo anche a fare la progettazione meccanica dell'ottica di collimazione, dei filtri dicroici e dell'apparato di movimentazione dei dispersori: mezza tonnellata di alluminio, vetro e tanta tecnologia di punta da spostare di 350 mm in un paio di minuti a -210°C . Il tutto in un telescopio notoriamente soggetto a violenti terremoti. MOONS opera da 647 nm a 1650 nm (bande RI, I, YJ, H) con una duplice risoluzione spettrale, osservando 1000 oggetti contemporaneamente grazie ad altrettante fibre ottiche posizionate sul gigantesco piano focale del VLT. Attualmente questo mastodontico strumento è in fase di collaudo presso l'*integration room* del Royal Observatory di Edimburgo (UK): questo strumento non sarebbe mai entrato nei laboratori di Arcetri!

Nel 2019, in pieno periodo pandemico, un nuovo grande progetto prese vita ad Arcetri: un piccolo gruppo di tecnologia spaziale fu coinvolto nel progetto ARIEL (*Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey*), una missione spaziale ESA per la realizzazione di uno spettrofotometro che sarà lanciato nel 2029 verso il punto lagrangiano L2 per l'osservazione delle atmosfere dei pianeti extrasolari. L'Osservatorio di Arcetri è responsabile di una importante parte elettronica, la *Instrument Control Unit* (ICU) e la *Detector Control Unit* (DCU) del modulo FGS, nonché del *Telescope Assembly*, un innovativo progetto di telescopio spaziale interamente realizzato in alluminio, compreso lo specchio primario parabolico di forma ellittica da 1.1x0.75 metri. Di nuovo uno spettrometro, spaziale questa volta, che ha curiosamente degli aspetti simili al LongSp, ma che opera su una banda da 0.7 micron a 7.8 micron.

of minutes at -210°C . All in a telescope notoriously prone to violent earthquakes. MOONS operates from 647 nm to 1650 nm (RI, I, YJ, and H bands) with dual spectral resolution, observing 1,000 objects simultaneously thanks to the presence of 1,000 optical fibers on the VLT's giant focal plane. This mammoth instrument is currently being tested in the integration room of the Royal Observatory in Edinburgh, UK: this instrument would have never fitted inside the Arcetri laboratories!

A major new project came to life at Arcetri in 2019. A small space technology group was involved in the ARIEL (Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey) project, an ESA space mission to build a spectrophotometer that will be launched towards the Lagrangian L2 point in 2029 to observe the atmospheres of extrasolar planets. The Arcetri Observatory is responsible for an important electronic part, the Instrument Control Unit (ICU) and the Detector Control Unit (DCU) of the FGS module, as well as the Telescope Assembly, an innovative project for a space telescope made entirely of aluminum, including the 1.1x0.75-meter elliptical parabolic primary mirror. This spectrometer has curious similarities to LongSp, but hosted by a spacecraft and operating on a band ranging from 0.7 to 7.8 microns..

Lastly, since 2019, the Arcetri Observatory has been involved in the design of a new spectrometer for ESO's upcoming EELT telescope: 39 meters of optics, mechanics, electronics and software for the world's largest telescope, located in Cerro Amaltes in Chile. ANDES is the size of a loft: four cryostats will operate from the U-band (350-410 nm) to the K-band (1.8-2.4 microns) and numerous operating modules will allow these cryostats to observe the clear Chilean sky. The Observatory's technology groups are responsible for important modules: the Fiberlink

Infine, dal 2019, l'Osservatorio di Arcetri è coinvolto nel progetto di un nuovo spettrometro per il costruendo telescopio EELT di ESO: 39 metri di ottica, meccanica, elettronica e software per il più grande telescopio del mondo, ubicato a Cerro Amazonas in Cile. ANDES ha le dimensioni di un loft: quattro criostati opereranno dalla banda U (350-410 nm) alla K (1.8-2.4 micron), molti i moduli operativi permetteranno a questi criostati di osservare il limpido cielo del Cile. I gruppi tecnologici dell'Osservatorio detengono la responsabilità di importanti moduli: il modulo Fiberlink e l'IFU-SCAO. Il primo permetterà il trasporto della luce dal piano focale ai quattro spettrometri e la gestione delle sorgenti di calibrazione, il secondo permetterà di realizzare una *Integral Field Unit* (IFU), una particolare modalità osservativa degli spettrometri che permette di realizzare immagini spettrali di aree di cielo via via più piccole, usando l'impareggiabile potere risolutivo messi a disposizione dalle dimensioni dell'ELT e dalla sua ottica adattiva. In particolare il modulo *Single Coniugate Adaptive Optics* avrà il compito di misurare il contributo dell'atmosfera, delle deformazioni meccaniche e delle vibrazioni di una tale struttura, e di inviare i comandi per correggere questi disturbi allo specchio adattivo più grande del pianeta. Di nuovo una realtà resa possibile dall'Osservatorio di Arcetri sia per quanto riguarda la misura dell'aberrazione ottica introdotta dall'atmosfera che per il necessario specchio deformabile, la cui invenzione ha origine proprio ad Arcetri. Queste componenti lavorano in sinergia con un modulo spettrografico, nella cui progettazione è di nuovo coinvolto, per alcune parti essenziali, un gruppo di ricerca dell'Osservatorio di Arcetri.

module and the IFU-SCAO. The former will enable the transport of light from the focal plane to the four spectrometers and the management of calibration sources, the latter will enable the realization of an Integral Field Unit (IFU), a special spectrometer observation mode that allows spectral imaging of progressively smaller areas of sky, using the unparalleled resolution made available to us by the size of the ELT and its adaptive optics, particularly the Single Conjugate Adaptive Optics module, which will measure the contribution of the atmosphere, the mechanical deformations and vibrations of a similar structure, and sending commands to the largest adaptive mirror on the planet to correct these disturbances. Again, this has been made possible by the Arcetri Observatory both in terms of measuring the optical aberration introduced by the atmosphere and the necessary deformable mirror, the invention of which originated at Arcetri. These components work in synergy with a spectrographic module, in the design of which a research group at the Arcetri Observatory is again involved for some essential parts.

Andrea Tozzi is Technologist of the Arcetri Astrophysical Observatory. He graduated from LENS (European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy) in 1997, and was hired by INAF-OAA in 2000. From 2000 to 2009, he worked as part of the Adaptive Optics group, designing and realizing modules such as the FLAO of LBT and HOT-ESO, centered on the pyramid wavefront sensor. Since 2009, he has been working on spectrometer projects such as GIANO, MOONS, GIARPS, ARMES, ANDES. Since 2019, he has been System Engineer of the Telescope Assembly for the ARIEL-ESA space mission and of the IFU-FiberLink module of ANDES.

Andrea Tozzi è Tecnologo dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Laureatosi al LENS (*European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy*) nel 1997, è stato assunto nel 2000 presso INAF-OAA. Dal 2000 al 2009 ha lavorato nel gruppo delle Ottiche Adattive progettando e realizzando moduli quali il FLAO di LBT e HOT-ESO, centrati sul sensore di fronte d'onda a piramide. Dal 2009 lavora su progetti di spettrometri quali GIANO, MOONS, GIARPS, ARMES, ANDES. Dal 2019 è il *System Engineer del Telescope Assembly* per la missione spaziale ARIEL-ESA e del modulo IFU-FiberLink di ANDES.

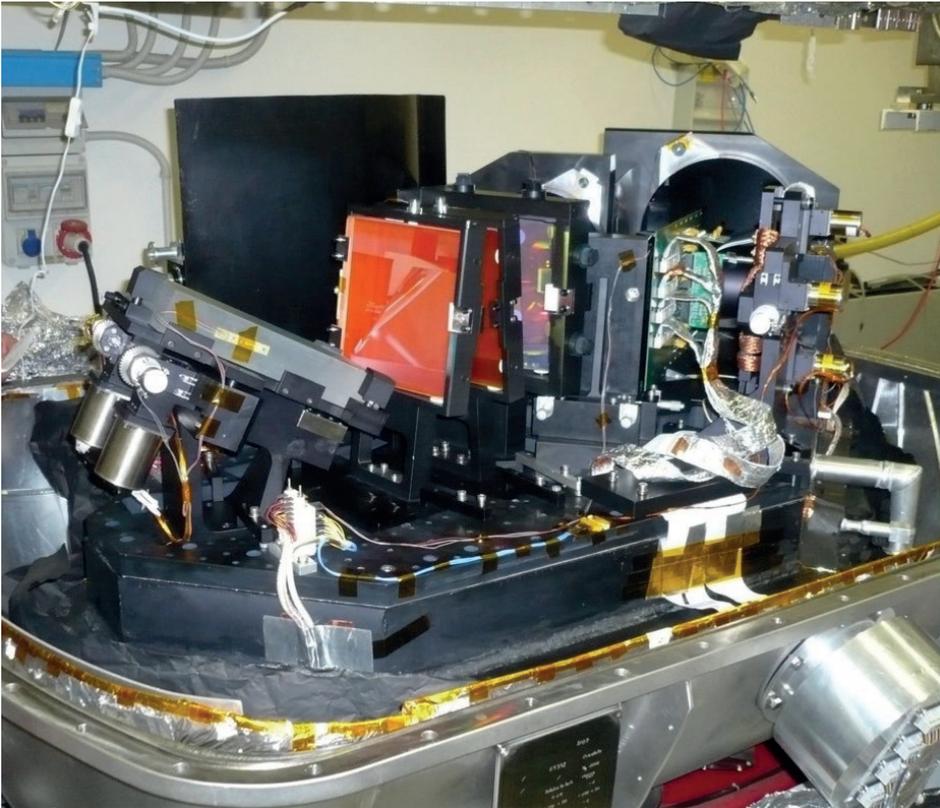


Figura 1. Lo spettrografo GIANO in fase di montaggio presso l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (crediti: A. Tozzi).

Figure 1. The GIANO spectrograph under assembly at the Arcetri Astrophysical Observatory (credits: A. Tozzi).

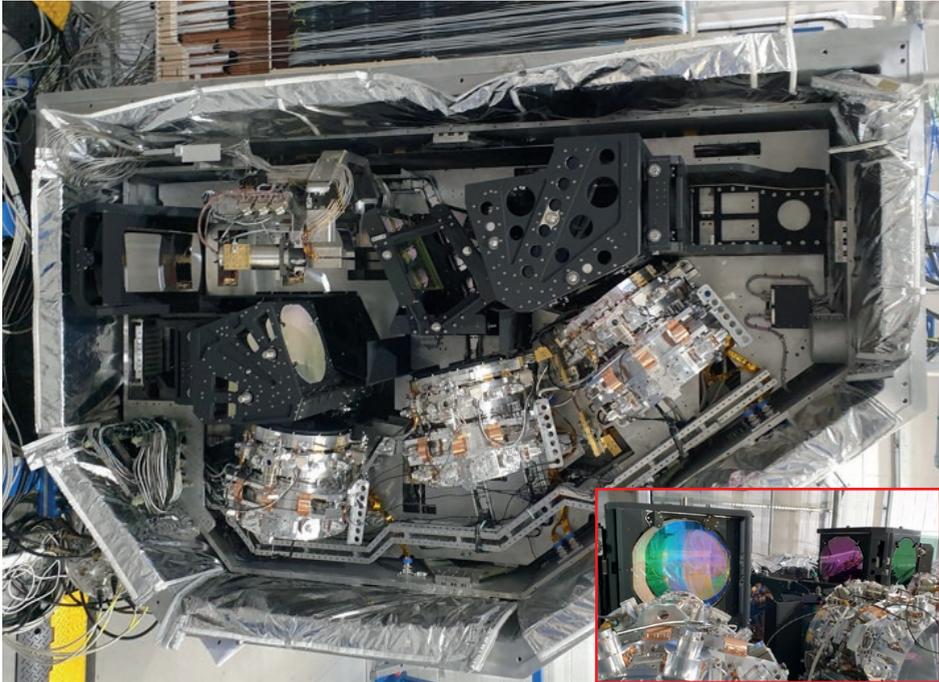


Figura 2. Lo spettrografo MOONS in fase di assemblaggio: i moduli in nero sono quelli realizzati da INAF-OAA: collimatore (in basso), modulo dicroico (nel mezzo) e i due sistemi di movimentazione dei moduli H (in alto) e YJ (in basso). Nel riquadro un particolare delle ottiche (crediti: Phil Rees).

Figure 2. The MOONS spectrograph under assembly: the modules in black are those made by INAF-OAA: collimator (bottom), dichroic module (in the foreground) and the dual-module handling systems H (top) and YJ (bottom). Details of the optics are shown in the box. (Credits: Phil Rees).

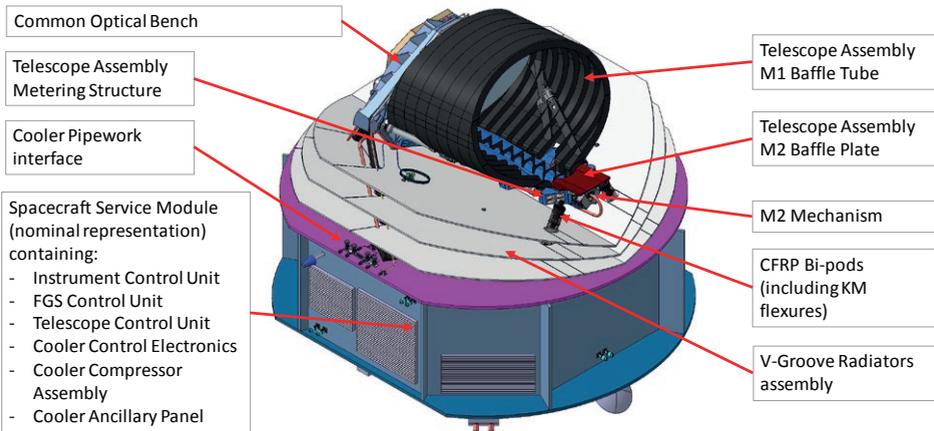


Figura 3. ARIEL è un telescopio spaziale per l'osservazione delle atmosfere dei pianeti extrasolari: sopra il piano color fucsia, il Telescope Assembly (INAF-OAA). Nella parte sottostante sono presenti i moduli ICU e DCU (INAF-OAA) (crediti: ESA).

Figure 3. ARIEL is a space telescope for observing the atmospheres of exoplanets: above the fuchsia plane, the Telescope Assembly (INAF-OAA). The ICU and DCU modules (INAF-OAA) are present below (credits: ESA).



Astronomia extragalattica ad Arcetri

Extragalactic Astronomy at Arcetri

Filippo Mannucci¹, Leslie K. Hunt¹, Roberto Maiolino^{2,3,4}

¹ INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Largo E. Fermi 5, 50125, Firenze

² Kavli Institute for Cosmology, University of Cambridge, UK

³ Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK

⁴ Department of Physics and Astronomy, University College London, UK

Riassunto. L'astronomia extragalattica si sviluppò all'Osservatorio di Arcetri verso la fine degli anni '70, con l'arrivo del nuovo direttore Franco Pacini. La prima linea di ricerca dedicata a questo nuovo settore emerse da una collaborazione con la Cornell University sullo studio dell'idrogeno atomico. Successivamente il gruppo crebbe rapidamente durante gli anni '80 e '90 grazie all'inserimento di giovani ricercatori di talento. Oggi i temi scientifici includono lo studio dei nuclei galattici attivi, l'evoluzione chimica delle galassie, gli ammassi di galassie, la dinamica delle galassie e lo studio del mezzo interstellare. Il futuro degli studi extragalattici ad Arcetri trarrà vantaggio da strutture di osservazione all'avanguardia come l'Extremely Large Telescope, che entrerà in funzione nei prossimi anni.

Parole chiave. Astronomia extragalattica, nuclei galattici attivi, spettroscopia.

La nostra stella, il Sole, fa parte di una galassia, la Via Lattea, che comprende all'incirca 100 miliardi di stelle. Ma la nostra galassia è solo una fra diversi miliardi di galassie nell'Universo, e lo studio di queste galassie è uno dei filoni più

Abstract. Extragalactic science was introduced at the Arcetri Observatory towards the end of the 1970's, upon the arrival of a new director, Franco Pacini. The first dedicated line of research emerged in collaboration with Cornell University and the study of neutral hydrogen. The group grew rapidly during the 80's and the 90's, with the inclusion of talented young researchers. The science themes studied today include active galactic nuclei, the chemical evolution of galaxies, galaxy clusters, galaxy dynamics and the study of the interstellar medium. The future of extragalactic work at Arcetri will profit from state-of-the-art observational facilities such as the Extremely Large Telescope which will become operational in the next few years. **Keywords.** Extragalactic astronomy, active galactic nuclei, spectroscopy.

Our Sun resides in the disk of our galaxy, the Milky Way, comprising roughly 1000 billion stars. But our galaxy is only one among 100 billion galaxies in the Universe, and the study of these galaxies is one of the foundations of modern astrophysics. As it generally requires ac-

importanti dell'astrofisica moderna. Dato che in generale richiede dati accurati su oggetti piuttosto deboli, nasce più tardi rispetto all'astrofisica stellare e si afferma come campo astrofisico separato solo negli anni '30 del secolo scorso. L'Osservatorio di Arcetri comincia ad occuparsi di studi di oggetti fuori dalla nostra galassia alla fine degli anni '70, con l'arrivo di Franco Pacini alla direzione. I primi studi riguardano i nuclei galattici attivi (AGN) e sono sia teorici, sul meccanismo fisico alla base dell'emissione di questi oggetti (Pacini & Salvati 1978, 1982), sia osservativi, galassie di Seyfert nel vicino infrarosso (Moorwood & Salinari 1981). L'inizio di un'attività più continuativa avviene con l'arrivo a Firenze di Carlo Giovanardi, su invito di Pacini desideroso di aprire questo nuovo, promettente campo. Giovanardi, insieme al gruppo di Cornell di E. Salpeter, stava studiando la distribuzione e la dinamica dell'idrogeno neutro in galassie relativamente vicine (Helou et al. 1981; Giovanardi et al. 1983), filone di ricerca che rimarrà a lungo molto attivo all'osservatorio di Arcetri (Corbelli & Salucci 2000; Corbelli et al. 2010).

Negli stessi anni l'Osservatorio di Arcetri, insieme al Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze e il Centro CAISMI del CNR, intraprende la costruzione del nuovo e, per quegli anni, rivoluzionario Telescopio Infrarosso del Gornergrat (TIRGO), sulle alpi svizzere. Oltre a produrre vari lavori molto citati su temi extragalattici (Giovanardi & Hunt 1988; Gavazzi et al. 1996; Mannucci et al. 2001; Hunt et al. 2002, 2004) questo telescopio diventerà una palestra per lo sviluppo di strumentazione e contribuirà a creare un gruppo tecnologico oggi al centro della maggior parte dei più importanti progetti di sviluppo di strumen-

curate data on rather faint objects, extragalactic astrophysics was developed somewhat later than stellar astrophysics, only establishing itself as a separate astrophysical field in the 1930s. The Arcetri Observatory began studying extragalactic objects towards the end of the 1970's, with the arrival of Franco Pacini as Director. The first research focused on active galactic nuclei (AGN) both from theoretical and observational points of view, with formulations of the physical mechanism behind AGN emission (Pacini & Salvati 1978, 1982) and with infrared observations of nearby AGN, Seyfert galaxies (Moorwood & Salinari 1981). The beginning of a dedicated extragalactic line of research emerged at Arcetri with the arrival at the Observatory of Carlo Giovanardi, upon invitation by Pacini who wanted to launch this promising new field. Together with the Cornell group led by Ed Salpeter, Giovanardi was studying the distribution and kinematics of neutral hydrogen in nearby galaxies (Helou et al. 1981, Giovanardi et al. 1983), a line of research which continues to be active at the Arcetri Observatory (Corbelli & Salucci 2000; Corbelli et al. 2010).

At the same time, the Arcetri Observatory, together with the Physics Department of the University of Florence and the Center for Infrared Astronomy and the Study of the Interstellar Medium (CAISMI) of the National Council of Research (CNR), undertook the construction of a new, and for that time, revolutionary, Infrared Telescope of Gornergrat (TIRGO) in the Swiss Alps. Besides enabling a series of well-cited papers on extragalactic themes (Giovanardi & Hunt 1988; Gavazzi et al. 1996; Mannucci et al. 2001; Hunt et al. 2002, 2004), this facility was to become a springboard for instrument development and contribute to the creation of a

tazione per telescopi come il *Very Large Telescope*, il *Large Binocular Telescope*, e l'*Extremely Large Telescope* (VLT, LBT e ELT).

Negli anni '90 il gruppo si sviluppa velocemente a causa dell'arrivo di vari giovani ricercatori formati in istituti stranieri. Le attività si svolgono in maniera sempre molto integrata tra i 3 istituti coinvolti (Osservatorio, Università, CNR). Il centro del CNR viene alla fine unificato all'Osservatorio, mentre quotidiane collaborazioni con i ricercatori astronomi del dipartimento continuano ancora oggi. Negli anni '90 il campo di studio più attivo è quello degli AGN sotto la guida di Marco Salvati, sia dal punto di vista teorico che osservativo a molte lunghezze d'onda, dal lontano infrarosso ai raggi X. Alla fine degli anni '90 il satellite ASI-NIVR Beppo-SAX sta rivoluzionando questo campo, ed il gruppo di Arcetri contribuisce con importanti risultati sul modello unificato di AGN e sulle caratteristiche della polvere (Maiolino et al. 1998; Risaliti et al. 1999). Le interazioni tra AGN e galassia ospite sono anche studiate in dettaglio ottenendo evidenza di correlazioni molto strette tra la massa del buco nero centrale e la massa stellare della componente sferoidale della galassia ospite (Marconi & Hunt 2003; Marconi et al. 2004). Questi studi sugli AGN continuano ancora adesso e hanno portato a sviluppi inaspettati e potenzialmente molto importanti, come la proposta di usare gli AGN per misurare i parametri cosmologici (Risaliti & Lusso 2019).

A partire dall'inizio degli anni 2000 ricercatori di Arcetri iniziano a portare avanti grandi studi con i nuovi telescopi della classe degli 8 metri che allora erano entrati da poco in funzione, in particolare ESO/VLT. La survey K20 osserva un campione di galassie passive lontane ($z \sim 1.7$), scoprendo che, contrariamente

technological group that is now at the center of instrumentation innovation for large ground-based telescopes like the Very Large Telescope (VLT), the Large Binocular Telescope (LBT) and the Extremely Large Telescope (ELT).

The group developed quickly in the 1990's thanks to the arrival of young research scientists with experience abroad. Scientific activity and collaboration became increasingly integrated among the three Arcetri research institutes (Observatory, University, CNR), and ultimately, the CNR CAISMI center became part of the National Institute of Astrophysics (INAF), and finally merged with the Observatory. Today, the scientists of the Observatory and University are fully integrated into the fabric of Arcetri. The dominant extragalactic theme in the 90's led by Marco Salvati, was the study of accreting supermassive black holes (SMBHs) that produce AGN, both from both from theoretical and observational perspectives, across multi-wavelengths, ranging from infrared to X rays. At the end of the 90's, the ASI-NIVR satellite Beppo-Sax revolutionized this field of research and the Arcetri group made important contributions to the unified model of AGN and the understanding of the dust grains surrounding AGN (Maiolino et al. 1998; Risaliti et al. 1999). The study of the relationship between AGN and their host galaxy revealed evidence of very tight correlations between the mass of the central black hole and the stellar mass of the spheroidal component of the host galaxy (Marconi & Hunt 2003; Marconi et al. 2004). Similar studies of AGN continue to this day and have produced unexpected, potentially important results, such as the proposal to use AGN to measure cosmological parameters (Risaliti & Lusso 2019).

a quanto previsto dai modelli allora esistenti, queste galassie sono già vecchie e hanno già grande massa (Cimatti et al. 2002, 2004). Le survey AMAZE e LSD invece studiano le proprietà delle galassie con formazione di stelle, in particolare le abbondanze chimiche e dinamiche, misurando per la prima volta le abbondanze dei principali elementi a redshift ~ 3 (Maiolino et al. 2008; Mannucci et al. 2009). Insieme al problema della formazione della polvere e delle prime molecole (Galli & Palla, 1998; Maiolino et al. 2004; Bianchi & Schneider 2007), il tema delle abbondanze chimiche nel gas e nelle stelle è stato sempre molto presente negli studi del gruppo extragalattico di Arcetri, che ha ottenuto rilevanti risultati e contribuito a definire le più importanti relazioni di scala (Ferrara et al. 2000; Schneider et al. 2002; Gallazzi et al. 2005, Salvadori et al. 2007; Mannucci et al. 2010). Ricercatori del gruppo extragalattico sono stati e sono tuttora attivi in particolare nello studio della distribuzione della massa stellare e degli elementi chimici nelle galassie usando dati *integral field*, contribuendo ai principali studi nel settore (Cresci et al. 2010; Zibetti et al. 2009; Belfiore et al. 2019). Questi strumenti spettroscopici hanno anche permesso lo studio della dinamica di galassie ad alto redshift e lo studio del *feedback* dell'AGN sulla galassia ospite con la formazione di venti molto veloci che possono svuotare la galassia di gas e fermare la formazione di nuove stelle (Cresci et al. 2015). Contemporaneamente l'approccio *multi-wavelength* di molti studi di AGN, galassie e ammassi di galassie ha portato a rilevanti risultati nei raggi X (Nardini et al. 2015; Tozzi et al. 2022).

L'avvento di telescopi a lunghezze d'onda infrarosse come lo *Spitzer Space Telescope* e lo *Herschel Space Observatory* ha permesso ai ricercatori di Arcetri di

From the beginning of the new millennium, Arcetri's extragalactic scientists began conducting large-scale studies using the new 8-metre class of telescopes which had just become operational at the time, particularly the ESO/VLT. The K20 survey (Cimatti et al. 2002, 2004) of remote passive galaxies ($z \leq 1.7$) revealed that, contrary to what had previously been thought, such galaxies are already highly evolved and massive. The AMAZE and LSD surveys of star-forming galaxies (Maiolino et al. 2008; Mannucci et al. 2009) on the other hand, concentrate on chemical abundances and internal kinematics, measuring abundances of redshift $z \geq 3$ for the first time. Together with the problem of dust grain and molecule formation in the primordial universe (Galli & Palla, 1998; Maiolino et al. 2004; Bianchi & Schneider 2007), studies of chemical abundances in gas and stars are still one of the main themes of the Arcetri extragalactic group's research, producing important results and helping define some of the most important modern scaling relations (Ferrara et al. 2000; Schneider et al. 2002; Gallazzi et al. 2005, Salvadori et al. 2007; Mannucci et al. 2010). Researchers from the extragalactic group have also been and continue to be active in the study of distributions of stellar mass and chemical elements in galaxies, using "integral field units", producing some of the main results in the field (Cresci et al. 2010; Zibetti et al. 2009; Belfiore et al. 2019). These spectroscopic instruments have also enabled the study of galaxy dynamics at high redshift and of the effect of AGN on the host galaxy (known as AGN 'feedback'). AGN feedback can produce high-velocity galactic winds that can empty the galaxy of gas and quench star formation (Cresci et al. 2015). At the same time, X-ray studies of AGN, galaxies, and galaxy clusters have produced important results (Nardini et al. 2015; Tozzi et al. 2022).

studiare le proprietà della polvere in galassie vicine (Hunt et al. 2010; Bianchi & Xilouris 2011; Bianchi et al. 2018; di Serego et al. 2013; Hunt et al. 2015), e valutare la relazione della polvere con il gas (Corbelli et al. 2013). Con la costruzione dell'Atacama Large Millimeter Array (ALMA), è stato possibile analizzare le cinematiche di galassie pressoché primordiali (Lelli et al. 2022).

Dagli anni '80, lo studio di galassie è stato uno dei campi importanti ad Arcetri, e la nuova strumentazione sviluppata anche ad Arcetri, montata sui telescopi terrestri più grandi mai costruiti come lo ELT in Chile, renderà questo campo di astrofisica ancora più fruttuoso negli anni a venire.

Filippo Mannucci è Dirigente di Ricerca all'INAF-OAA. È stato direttore dell'Osservatorio di Arcetri dal 2012 al 2017. Si occupa di evoluzione delle galassie e di supernovae.

Leslie K. Hunt è Dirigente di Ricerca in quiescenza a INAF-OAA. I suoi interessi scientifici includono lo studio dell'interazione tra la formazione stellare e il mezzo interstellare in ambienti galattici estremi.

Roberto Maiolino è Professore di Astrofisica all'Università di Cambridge, UK. È anche Professore Onorario all'University College di Londra e Research Professor della Royal Society di Londra. Dal 2016 al 2021 è stato Direttore del Kavli Institute for Cosmology a Cambridge.

The advent of infrared telescopes such as the *Spitzer Space Telescope* and the *Herschel Space Observatory* have enabled Arcetri's scientists to study the properties of dust in nearby galaxies (Hunt et al. 2010; Bianchi & Xilouris 2011; Bianchi et al. 2018; di Serego et al. 2013; Hunt et al. 2015) and assess the relation of gas with dust (Corbelli et al. 2013). With the construction of the Atacama Large Millimeter Array (ALMA), it has been possible to analyze the kinematics of distant galaxies formed at the dawn of the Universe (Lelli et al. 2022).

The study of galaxies has been among the most important research themes at Arcetri since the 1980s and the new instrumentation developed also at Arcetri, mounted on the largest ground-based telescopes ever built (ESO ELT), will render this line of research even more fruitful in the years to come.

Filippo Mannucci is "Dirigente di Ricerca" at INAF-OAA. He was director of the Arcetri Observatory from 2012 to 2017. He works on galaxy evolution and supernovae.

Leslie K. Hunt is a "Dirigente di Ricerca", now "in quiescenza" at INAF-OAA. Her scientific interests include the study of how extreme physical conditions in galaxies affect the way that stars form in them, and the interaction of the interstellar medium with the process of star formation.

Roberto Maiolino is professor of Astrophysics at the University of Cambridge. He is also Honorary Professor at University College London and Royal Society Research Professor. From 2016 to 2021 he was Director of the Kavli Institute for Cosmology, Cambridge.



Figura 1. Il Gruppo extragalattico di Arcetri fotografato il 17 Novembre 2022 nel giorno del 150esimo anniversario dell'Osservatorio. In piedi, da sinistra: B. Trefoloni, S. Bianchi, E. Nardini, T. Oliva, E. Corbelli, F. Mannucci, M. Salvati, L. Hunt, G. Cresci, G. Tozzi, G. Risaliti, M. Rossi, V. Gelli, A. Mori, F. Salvestrini, S. Zibetti. In basso: A. Marconi, R. Maiolino, S. Salvadori, F. Belfiore, L. Ulivi, M. Scialpi, E. Di Teodoro, I. Vanni, C. Marconcini, J. Parenti, A. Gallazzi. Assenti: P. Tozzi, E. Lusso, A. Skúladóttir, D. Aguado, I. Koutsouridou, N. Tomičić, A. Amiri, A. Sacchi, M. Signorini, M. Lepore, R. Lucchesi (crediti: Rossella Spiga).

Figure 1. The Extragalactic Group of Arcetri on November 17, 2022, the day of the Observatory's 150th anniversary. Standing, from left: B. Trefoloni, S. Bianchi, E. Nardini, T. Oliva, E. Corbelli, F. Mannucci, M. Salvati, L. Hunt, G. Cresci, G. Tozzi, G. Risaliti, M. Rossi, V. Gelli, A. Mori, F. Salvestrini, S. Zibetti. Below: A. Marconi, R. Maiolino, S. Salvadori, F. Belfiore, L. Ulivi, M. Scialpi, E. Di Teodoro, I. Vanni, C. Marconcini, J. Parenti, A. Gallazzi. Absent: P. Tozzi, E. Lusso, A. Skúladóttir, D. Aguado, I. Koutsouridou, N. Tomičić, A. Amiri, A. Sacchi, M. Signorini, M. Lepore, R. Lucchesi (credits: Rossella Spiga).



L'ottica adattiva ad Arcetri e il *Large Binocular Telescope*

The Arcetri Adaptive Optics group and the Large Binocular Telescope

Simone Esposito
INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Questo contributo riassume la storia del gruppo di ottica adattiva di Arcetri a partire dalla visione di Franco Pacini e Piero Salinari alla fine degli anni '80 fino ad arrivare alla sua messa in pratica e al riconoscimento internazionale dei suoi risultati intorno al 2010.

Parole chiave. Alta risoluzione angolare, ottica adattiva, strumentazione astronomica.

Introduzione

Il gruppo di ottica adattiva dell'Osservatorio di Arcetri oggi conta una ventina di persone ed è impegnato in vari progetti di grande rilevanza sia nazionale che internazionale che coinvolgono molti telescopi della classe 8 metri e due dei tre telescopi detti Extremely Large Telescopes attualmente in fase di progettazione. Inoltre, il gruppo è considerato come uno dei gruppi principali nello scenario internazionale dell'ottica adattiva. Questo successo nasce dalla visione anticipatrice di alcune persone che hanno coinvolto la comunità astrofisica italiana, ed in particolare l'Osservatorio di Arcetri, nello sviluppo di tecnologie adattive per il grande telescopio Large Binocular Telescope (LBT).

Abstract. This contribution summarizes the history of the adaptive optics group at Arcetri from the vision of Franco Pacini and Piero Salinari at the end of the 1980s to its entry into operation and the international recognition of the achieved results in around 2010.

Keywords. High angular resolution, adaptive optics, astronomical instrumentation.

Introduction

The Adaptive Optics group of the Arcetri Observatory now has about 20 members and is involved in numerous large projects of national and international relevance using many 8m class telescopes and two out of three of the so-called Extremely Large Telescopes currently in the design phase. The group is considered as one of the reference groups in the international scenario of Adaptive Optics for Astronomy. This success stems from the vision of a few farsighted people that involved the Italian astrophysical community and particularly

Il progetto Columbus, poi LBT

È alla fine degli anni '80 che Franco Pacini, al tempo direttore dell'Osservatorio di Arcetri inizia una collaborazione con la University of Arizona (UoA) nella persona del Prof. R. Angel per lo studio di un telescopio interferometrico composto da due telescopi da 8m. Il primo schema di questo telescopio è mostrato in Fig. 1.

Il progetto, che prevede 4 telescopi (come il Very Large Telescope) viene poi semplificato e si concentra sulla realizzazione della sola unità di sinistra, quella con la montatura binoculare che renderà il telescopio unico al mondo. È da notare che anche questa unità verrà pensata sin dall'inizio come una unità interferometrica, quindi capace di ottenere risoluzioni angolari date dalla distanza massima fra i bordi degli specchi, pari in questo caso a 23m circa: stiamo parlando di risoluzioni nel visibile di 6 millisecondi d'arco (mas). Il suo nome è ancora Columbus ma poi cambierà in Large Binocular Telescope. Un disegno di questa seconda versione è visibile in Fig. 2.

Il telescopio è stato poi realizzato così. Una foto del 2008 (Fig. 2, a destra) che lo mostra, ancora privo di molti strumenti, dentro la cupola aperta.

All'inizio degli anni '90, Piero Salinari, chiamato ad Arcetri da Pacini, comincia a creare un piccolo gruppo di persone per lavorare al progetto. Questo piccolo gruppo si occuperà inizialmente del disegno della struttura meccanica del telescopio e dei processi di fabbricazione dei primari da 8m. Poco dopo però, il gruppo di Arcetri comincia a lavorare allo sviluppo di un sistema adattivo per il telescopio. Viene infatti riconosciuto da Angel e Salinari che per raggiungere

the Arcetri Observatory in the development of Adaptive Optics technology for the Large Binocular Telescope (LBT).

The Columbus project and LBT project

It was at the end of 1980s that Franco Pacini, Director of the Arcetri Observatory at the time, began collaborating with Prof. R. Angel from the University of Arizona to study an interferometric telescope made up of four different 8m class telescopes. The first sketch of this instrumentation is shown in Fig. 1.

The project included four telescopes (like the Very Large Telescope) was soon simplified to deal with the unit on the left alone, that with the binocular mount, which was to make the telescope famous all over the world. It should be noted that, right from the start, this unit was conceived as an interferometric unit capable of achieving angular resolutions dictated by the maximum distance between the edges of the two mirrors, which was about 23m in this case, giving a resolution of about six milliarseconds at visible wavelength. The name of the project was still Columbus but it was soon to change to the Large Binocular Telescope, or LBT. A drawing of this second version is shown in Fig. 2.

The telescope was then built like this. A photo from 2008 (Fig. 2, right) showing it, still lacking many instruments, inside the open dome.

At the beginning of the 1990s, Piero Salinari, called by Pacini to work at Arcetri, began

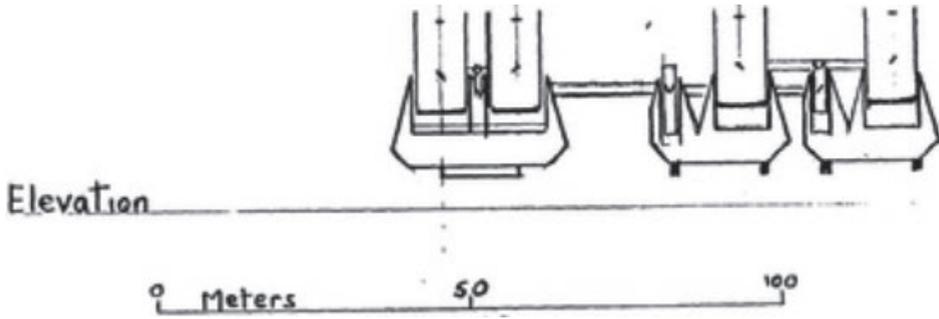


Figura 1. Schema concettuale del telescopio interferometrico Columbus alla fine degli anni 80 (crediti: S. Esposito).

Figure 1. A conceptual sketch of the Columbus interferometric telescope at the end of the 1980s (credits: S. Esposito).

le immagini interferometriche si deve necessariamente correggere il disturbo atmosferico e dunque sviluppare un sistema adattivo.

Il sistema adattivo di LBT: secondari adattivi e sensori a piramide

Il telescopio LBT è sicuramente un esempio di successo di una collaborazione internazionale di più partner. Qua in particolare ci occuperemo di riassumere brevemente l'attività svoltasi in Italia e ad Arcetri in particolare che ha portato allo sviluppo del sistema di ottica adattiva di LBT. Nella realizzazione di questo

setting up a small group to work on the design of the telescope's mechanical structure and the realization of the 8m primaries. Shortly afterwards, the Arcetri group began working on the

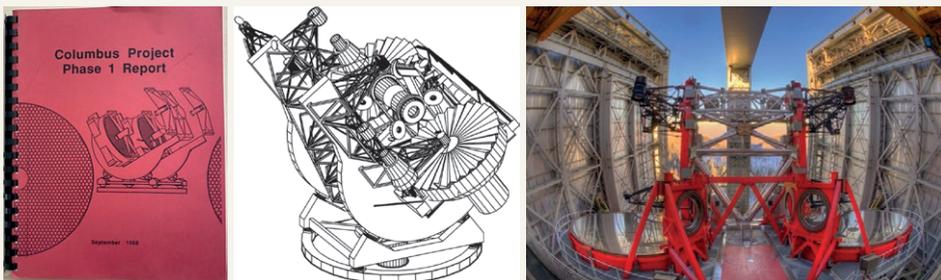


Figura 2. A sinistra: il *blue book* del telescopio LBT. Al centro: un disegno CAD del telescopio. Si noti la montatura binoculare che supporta i due specchi da 8m. A destra: una vista del telescopio LBT con i due primari da 8.4m e le due *prime focus camera red e blue* sviluppate dalla comunità astronomica italiana (crediti: Archivio OAA).

Figure 2. Left: the LBT "Blue book". Center: a CAD drawing of the telescope. Note the binocular mount that supports the two 8m mirrors. Right: a view of the LBT telescope with the two 8.4m primaries and the two prime focus cameras, red and blue, developed by the Italian astronomical community (credits: OAA Archives).

sistema la comunità italiana ha introdotto due nuove idee che oggi sono alla base di due componenti chiave di moltissimi dei sistemi adattivi attualmente in funzione o in fase di progetto: il secondario adattivo introdotto da Salinari nel 1994, e il sensore a piramide introdotto da Roberto Ragazzoni nel 1996.

I secondari adattivi

L'idea del secondario adattivo nasce naturalmente considerando la semplicità di utilizzo di un tale sistema rispetto ai normali correttori adattivi che richiedono ottiche complesse per essere accoppiati allo strumento e al telescopio a cui sono asserviti. Il concetto di funzionamento è semplice: si utilizza una lamina di vetro sottile (2mm di spessore) come specchio correttore e gli si dà la forma necessaria per il secondario richiesto per un dato telescopio. Sulla lamina sono attaccati alcuni magneti che tramite la forza esercitata su di essi da circuiti elettrici a bobina permettono di deformare la superficie riflettente a piacere.

Dal 1994 fino al 2003 ad Arcetri si è progredito con lo sviluppo di secondari adattivi passando attraverso vari prototipi il più importante dei quali è rappresentato in Fig. 3. Proprio questa notevole attività di R&D ha portato nel 2003 al completamento della realizzazione dell'unità del telescopio MMT di 600mm di diametro con 336 attuatori.

development of an adaptive optics system for the LBT telescope. Angel and Salinari immediately realized that, in order to reach the interferometric images, it was necessary to develop an adaptive system for the telescope in order to necessarily correct the atmospheric disturbance.

The Adaptive system of the LBT: adaptive secondaries and pyramid sensors

The LBT telescope is definitely a good example of a successful international collaboration between numerous partners. Here we deal particularly with resuming the activity that took place in Italy and at the Arcetri Observatory, which led to the development of the adaptive optics system for the LBT. In realizing this new system, the Italian community introduced two new ideas that are now the basis for two key components of many AO systems currently in operation or in the design phase: the adaptive secondary mirror technology introduced by Salinari in 1994 and the pyramid sensor introduced by Roberto Ragazzoni 1996.

Adaptive secondaries

The idea of an adaptive secondary comes naturally considering the simplicity of use of a similar system compared to normal adaptive correctors, which require complex relay optics to be coupled to the telescope and instrument they are serving. The functional concept is simple: a thin glass shell (2mm thick for the LBT) is used as the correcting mirror and is polished to give

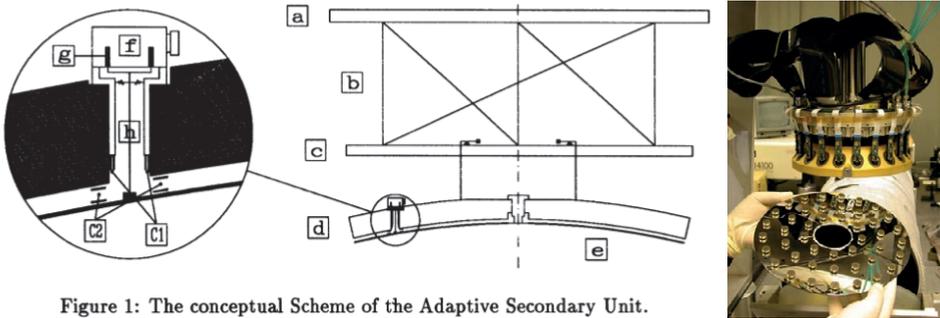


Figure 1: The conceptual Scheme of the Adaptive Secondary Unit.

Figura 3. A sinistra: schema concettuale del secondario adattivo in un articolo del 1994 di P. Salinari e collaboratori. A destra: foto del prototipo più importante (P30) che ha portato alla realizzazione dell'unità secondaria adattiva per il telescopio MMT installata con successo nel 2003 (crediti: SPIE, S. Esposito).

Figure 3. Left: conceptual sketch of the adaptive secondary unit in a paper by Salinari and collaborators dated 1994. Right: pictures of the most important prototype (P30) which led to the realization of the adaptive secondary unit for the MMT, successfully installed in 2003 (credits: SPIE, S. Esposito).

Il sensore a piramide: Padova e Firenze

Come riportato sopra, un innovativo tipo di sensore di fronte d'onda, altro componente fondamentale di moltissimi degli attuali sistemi adattivi, fu introdotto da Ragazzoni nel 1996. Questo sensore aveva alcuni vantaggi importanti rispetto al più correntemente utilizzato (al tempo!) sensore di Shack-Hartmann. In particolare, aveva una capacità di lavorare con stelle più deboli ed aveva (cosa scoperta in seguito) una sensibilità e quindi un'accuratezza maggiore nella mi-

it the right shape for the secondary mirror required of a given telescope. Permanent magnets are attached to the back of the shell and the electric force exerted on these by some electric coil circuits allow us to change the shape of the shell at will. The concept is shown in Fig. 3 (left).

From 1994 to 2003, work at Arcetri continued on the development of adaptive secondary mirrors via different prototypes, the most important one being shown in Fig. 3 (right). It was this extensive R&D activity that led, in 2003, to the completion of the realization of the adaptive secondary unit for the MMT telescope with a diameter of about 600 mm and 336 actuators.

The pyramid sensor: Padua and Florence

As mentioned above, an innovative type of wavefront sensor, another fundamental component of many of today's systems, was introduced by Ragazzoni in 1996. This sensor has some advantages with respect to the more commonly used (at the time!) Shack-Hartmann sensor. In particular, it has the ability to work with fainter stars and (something discovered later) it offers greater sensitivity and consequently greater accuracy in the measurement of wavefront disturbance because it benefits from the correction introduced by the AO system. One of the first pyramid sensors was built by the Padua group for installation in the adaptive optics system of the Galileo National Telescope (TNG).

In 1996, the Arcetri group began working with the sensor introduced by Ragazzoni, launching a collaboration between the two adaptive optics groups in Padua and Florence. This col-

sura del fronte d'onda perché beneficiava della correzione introdotta dal sistema adattivo. Uno dei primi esemplari di sensore a piramide fu costruito dal gruppo di Padova per essere installato sul sistema adattivo del Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

È già nel 1996 che il gruppo di Arcetri si interessa al sensore introdotto da Ragazzoni e comincia così una collaborazione fra i due gruppi adattivi di Padova e Firenze che dura tutt'oggi e che ha contribuito molto allo sviluppo dell'ottica adattiva in Italia. Fra il 1997 e il 2000 nei laboratori di Arcetri si sviluppano prototipi di sensore a piramide e si partecipa allo stesso tempo al *commissioning* del sistema adattivo del TNG guadagnando così un'esperienza preziosa su questi sistemi e sul sensore a piramide in particolare.

Il disegno del sistema adattivo di LBT

È proprio sulla base dei risultati ottenuti negli anni 1996-2002 che nel 2002 viene presentato allo SPIE il sistema adattivo di LBT come composto da un secondario adattivo a 672 attuatori e 911mm di diametro e un sensore a piramide con 30'30 sotto-aperture. Sulla carta è il sistema più performante mai proposto fino ad ora. Vale la pena ricordare che un anno dopo, nel 2003, ci sarà la prima luce dell'unità secondario adattivo da 600mm per il telescopio MMT. È interessante notare come l'articolo del 2002 abbia 20 autori a riprova del fatto che il progetto era considerevolmente cresciuto di dimensioni.

laboration is still ongoing today and has made significant contributions to the development of adaptive optics in Italy. Between 1997 and 2000 in the Arcetri optical labs, the group developed some pyramid sensor prototypes, participating at the same time in the commissioning activities of the TNG adaptive optics system, gaining valuable experience in these systems and in the pyramid sensor in particular.

The LBT adaptive system design

Using the results achieved from 1996 to 2002 as the basis, in 2002, the Arcetri group presented the adaptive optics system of the LBT telescope, made up of an adaptive secondary unit with 672 actuators and a 911mm diameter, and a pyramid sensor with a 30x30 subaperture, at the SPIE conference. On paper, it was the most powerful system proposed to date. It is worth remembering that 2003 was the year of the first successful first light of the 600mm adaptive secondary unit for the MMT. Interestingly, the 2002 article had 20 authors, showing that the project had grown considerably in size.

Development, commissioning, and first on-sky results

The years between 2002 and 2009 were characterized by the development of the LBT adaptive optics system, which led to the installation of the system on the telescope at the be-

Sviluppo, *commissioning*, e primi risultati in cielo

Gli anni fra il 2002 ed il 2009 sono gli anni di sviluppo del sistema adattivo di LBT che porteranno poi alla installazione del sistema al telescopio all'inizio

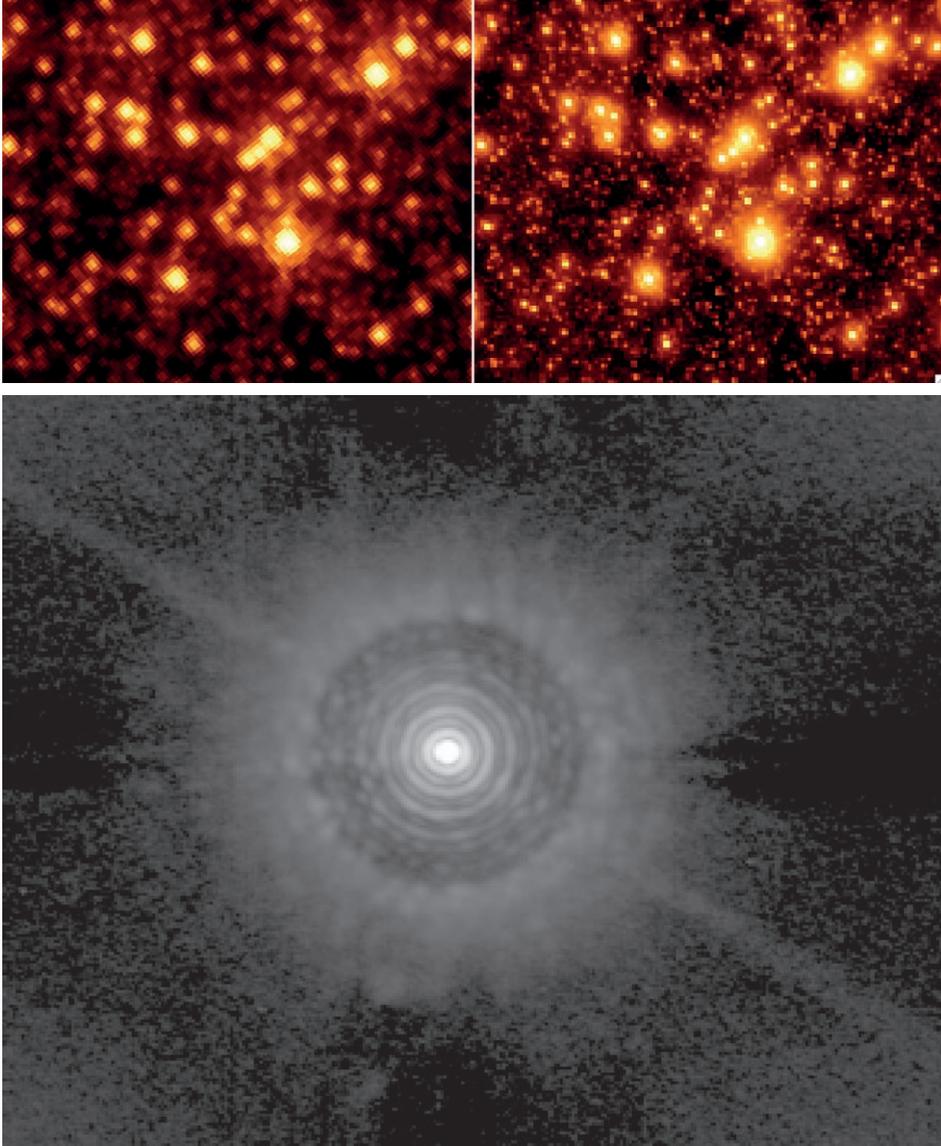


Figura 4. A sinistra: immagine in banda H dell'ammasso globulare M92 con HST (20min di integrazione). Al centro: con LBT (8 min di integrazione). A destra: immagine corretta di una sorgente uniforme in banda H con *Strehl ratio* maggiore dell'80%, risultato mai ottenuto prima da un sistema adattivo (crediti: S. Esposito).

Figure 4. Left: H-band image of globular cluster M92 with HST (20min integration). Center: with LBT (8 min integration). Right: corrected image for a point source star in H band with a Strehl ratio larger than 0.8, a result never achieved before by any AO system (credits: S. Esposito).

del 2010, dopo un *acceptance test* fatto ad Arcetri nel 2009. Ed è così che a fine maggio 2010 il sistema ha la sua prima luce in cielo funzionando perfettamente (!). Un paio di notti dopo il sistema ottiene immagini con un livello di correzione mai raggiunto prima per un telescopio basato a terra con *Strehl ratio* maggiore del 80% in banda H e contrasto maggiori di 10^{-4} a 300mas di distanza dal centro della *point spread function* (PSF). Il telescopio raggiunge immagini che sono migliori di quelle ottenute con HST come mostrato in Fig. 4. Infine, il sistema ottiene delle PSF corrette che aprono la strada all'uso di sistemi adattivi per l'*imaging* di pianeti extrasolari per il contrasto altissimo realizzato. L'immagine mostrata in Fig. 4 ha una correzione tale che si possono contare 8 anelli della figura di Airy.

Conclusion

Il gruppo di ottica adattiva dell'Osservatorio di Arcetri è internazionalmente riconosciuto come uno dei gruppi di riferimento nel campo delle ottiche adattive e lo deve agli sviluppi fatti fra il 1996 ed il 2010 ed ai risultati ottenuti con il sistema di ottica adattiva di LBT. Oggi moltissimi fra i sistemi più avanzati esistenti o in fase di progettazione si basano su (a) specchi deformabili a tecnologia adattiva e su (b) sensori a piramide per le applicazioni adattive ad alto contrasto. Questi sono i due componenti chiave realizzati e utilizzati con successo dal gruppo di Arcetri nel sistema adattivo di LBT. Proprio per questo oggi il gruppo partecipa

ginning of 2010, after the performance of an acceptance test at Arcetri in 2009. At the end of May 2010, the system had its first light on sky and it worked as expected right from the beginning (!). A couple of nights later, the systems obtained images with a correction level that had never been reached before with a ground-based telescope, with a Strehl ratio above 0.8 in H band and contrast better than 10^{-4} at 300 milliarcseconds from the center of the point spread function (PSF). The telescope obtained images that were better of those obtained with HST like that of M92 shown in Fig. 4. Finally, the system achieved some corrected PSF that opened the road to the use of the adaptive optics system for high contrast imaging and extra-solar planet searches. The quality of the image shown in Fig. 4 (right) is so high that we can count eight diffraction rings in the Airy's figure.

Conclusions

The Arcetri adaptive optics group is internationally recognized as one of the reference groups in the field of adaptive optics. This is due to the developments achieved between 1996 and 2012 and to the results achieved with the adaptive optics system of the LBT. Many of the most advanced AO systems that exist today or are in the design phase feature (a) deformable mirrors using adaptive technology and (b) pyramid wavefront sensors for the high contrast adaptive applications. These are the two key components realized and used successfully by the Arcetri group in the adaptive system of the LBT telescope. It is due to this success that the

con ruoli importanti un gran numero di progetti inclusi quelli relativi al disegno e realizzazione degli strumenti per gli Extremely Large Telescopes del futuro.

Possiamo dire che tutta questa attività è scaturita dalla visione innovativa e dalla convinzione di alcune persone chiave che ci piace ricordare ancora una volta ovvero Franco Pacini e Piero Salinari. A nome del gruppo adattivo di Arcetri grazie ancora ad entrambi!

Simone Esposito è Dirigente di Ricerca all'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Dal 2010 è il responsabile del gruppo di ottiche adattive dell'Osservatorio di Arcetri che oggi include 20 persone. È stato PI del sistema adattivo sviluppato per LBT (2002-2013) e PI/CoI di numerosi progetti di ottica adattiva.

Arcetri group now participates with important roles in a large number of important projects, including those related to the design and realization of instrumentation for the Extremely Large Telescopes of the future.

We can say that all this activity was triggered by the innovative vision and determination of a few key people who we would like to mention one more time - Franco Pacini and Piero Salinari. On behalf of the Arcetri AO group, thank you both!

Simone Esposito is Head of Research at the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory. He has been the head of the adaptive optics group at the Arcetri Observatory, which now includes 20 people, since 2010. He was PI of the adaptive system developed for LBT (2002-2013) and PI/CoI of several adaptive optics projects.



I 150 volti dell'Osservatorio: proposte innovative per le scuole e sul territorio

*The 150 faces of the Observatory: innovative projects for
school education and science communication*

Edvige Corbelli, Alessandra Zanazzi
INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Il personale dell'INAF-Osservatorio di Arcetri ha sempre contribuito a creare itinerari ed eventi per la comunicazione della scienza. Gli innumerevoli incontri con il pubblico e con le scuole sono non solo strumenti per la diffusione della cultura astronomica, ma anche momenti di crescita collettiva, di condivisione di quell'incanto e stupore che si prova davanti alle meraviglie del cielo.

Parole chiave. Comunicazione della scienza, gioco, spettacolo, didattica, licei scientifici

Il personale dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri è da sempre impegnato in attività di comunicazione della scienza attraverso numerose iniziative che, solo come tipologia, possono facilmente uguagliare il numero di anni dell'Osservatorio stesso. Queste iniziative si svolgono nel comprensorio dell'Osservatorio, nelle scuole di ogni ordine e grado, e sul territorio. Sia che esse siano rivolte ad un pubblico adulto, a bambini o a studenti, la loro finalità è da sempre quella di destare meraviglia, curiosità e stupore condividendo il grande spettacolo che il

Abstract. Over the years, the staff of the INAF-Osservatorio di Arcetri has always planned new opportunities and events for public outreach and education. Countless meetings and events with the public and with students are not only tools for disseminating astronomy, but also moments of collective growth, thanks to the sharing of that enchantment and wonder that each of us feels when we look at the sky.

Keywords. Science communication, games, public performances, education, high schools, astronomy.

The staff of the Arcetri Astrophysical Observatory has always been engaged in science communication through numerous activities which, in terms of type alone, easily reach the number of years that the Observatory has been in existence. These initiatives take place in the Observatory, in schools of all kinds and levels, in the city and across the region. Whether they are aimed at adults, children or students, their purpose has always been to arousing wonder,

cielo sopra di noi e l'Universo tutto ci offrono. Nello svolgimento di alcune attività gli astronomi operano beneficiando del sostegno degli Enti locali o dell'impegno del personale scolastico, ma in tutte c'è la passione dei ricercatori per raccontare e condividere le loro ricerche e la cultura astronomica, dai tempi di Galileo alle ultime scoperte, dai telescopi di nuove generazioni agli strumenti del futuro. Particolare attenzione negli anni più recenti è stata posta anche alle situazioni di difficoltà e disagio, proponendo, ad esempio, un percorso di astronomia tattile per ipovedenti, o lezioni incontro negli istituti penitenziari. Tra i progetti innovativi che l'INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri promuove per il *public engagement* ci sono le attività di astroturismo, un'esperienza culturale con un formato nuovo che si propone di accompagnare i visitatori a scoprire l'astronomia nei luoghi e nei monumenti storici di Firenze. Il progetto ruota attorno alla guida turistica tascabile "Firenze Seconda stella a destra", rivolta a non specialisti e mirata ad individuare percorsi tematici in città.

Nei paragrafi seguenti ci soffermeremo su alcuni eventi specifici che caratterizzano il nostro Osservatorio e che vengono svolti nel parco astronomico di Arcetri. Evidenzieremo poi un esperimento unico che vede l'INAF-Osservatorio di Arcetri in primo piano per la formazione dei giovani nelle scuole. Tralascieremo la descrizione di iniziative su scala regionale, nazionale ed interazionale, come Pianeta Galileo, *Bright Night* o *Light in Astronomy*, alle quali l'Osservatorio ha sempre aderito anche con progetti ed eventi dedicati.

curiosity and amazement, by sharing the knowledge and the great spectacle offered by our Universe and by the night sky. In the pursuit of certain activities, astronomers benefit from the support of local authorities and school staff but all of them are driven by the researcher's desire to share their astronomical culture, from the time of Galileo to the latest cosmic discoveries, from the design of the latest telescope to the advance in technology. Particular attention has also been paid in recent years to situations of difficulty and discomfort, proposing a tactile astronomy itinerary for the visually impaired or astronomy lectures in correctional facilities, for example. The innovative projects that the INAF Arcetri Astrophysical Observatory promotes for public engagement include astro-tourism activities, a new format that offers a cultural experience in the form of a tour of the city to discover astronomy in the historic places and monuments of Florence. The project revolves around the pocket tourist guide "*Firenze seconda stella a destra*" which helps to identify thematic itineraries.

In the following paragraphs we will focus on a few events that traditionally take place in the astronomical park of Arcetri Observatory. We will also highlight a unique school experiment to mitigate the lack of astronomy education in high schools, heavily involving the INAF-Osservatorio di Arcetri. We have left out the description of initiatives at regional, national and international level, such as Pianeta Galileo, Bright Night or Light in Astronomy, involving Arcetri Observatory with dedicated projects and events.

Gli eventi e le visite all'Osservatorio di Arcetri

Da molti decenni l'Osservatorio accoglie richieste di visite diurne o notturne da parte di scolaresche o cittadini, che sono spinti dalla curiosità di osservare più da vicino il cielo con uno strumento, di conoscere come è fatto il Sole, Saturno o la galassia di Andromeda, o anche le ultime novità dal mondo della ricerca e della tecnologia. Sulla base della disponibilità di tecnici e astronomi molti visitatori hanno l'opportunità di essere guidati attraverso un percorso nel parco astronomico fino alla cupola che ospita il telescopio Amici, di conoscere strumenti antichi e moderni, di osservare il cielo ma anche le particelle spaziali di altissima energia che continuamente ci attraversano.

Due attività ricorrenti sono ormai entrate nella tradizione del nostro Osservatorio: le Notti d'Estate e la Bambineide. Le Notti d'Estate si svolgono nel Teatro del Cielo, nel parco dell'Osservatorio, e sono un'occasione di incontro del pubblico con i ricercatori in un contesto di conferenze, musica e spettacoli, accompagnati dalle osservazioni del cielo. Sono ormai appuntamenti da non perdere per molti, ideati per far percepire la dimensione internazionale e altamente competitiva della scienza e della ricerca astronomica. Lo spirito che anima le Notti non è solo quello di abbinare lo spettacolo terrestre a quello celeste, ma anche la profonda convinzione che la ricerca scientifica sia una componente della società e appartenga ai cittadini.

Dedicata ai più piccoli è invece la Bambineide, un appuntamento del mese di maggio che si svolge da più di venti anni presso il nostro Osservatorio. Introdott-

Events and visits at Arcetri Observatory

For many years now, the Observatory has offered school groups and members of the public the opportunity to visit during the day or at night. Visitors come to the Observatory driven by the curiosity to observe the sky more closely with an instrument, to know more about the Sun, Saturn or the Andromeda galaxy, or to hear the latest news on astronomical discoveries and the development of technology. Based on the availability of technicians and astronomers, visitors have the opportunity to be guided along an itinerary through the astronomical park, up to the dome that hosts the Amici telescope. Here they have the chance to learn about ancient and modern instruments, to observe the sky as well as very high energy particles that are reaching us continually from space.

We highlight two of the recurring activities traditionally hosted by our Observatory: *Notti d'estate* (Summer nights) and *Bambineide*. The venue for *Notti d'estate* is the Teatro del Cielo, in the Observatory park, and the activity offers the public the chance to meet researchers in a context made up of conferences, music and performances, accompanied by observations of objects in the sky through the telescope. These are scheduled appointments which many people simply cannot miss, designed to make them feel the international and highly competitive dimension of astronomical science and research. The spirit that moves Summer Nights is not only that of combining human and cosmic performances but also our profound belief that scientific research is a component of society and belongs to the people.

ta da Franco Pacini, questa manifestazione prevede molteplici attività dedicate ai più piccoli come esperimenti a tema, l'utilizzo di Starlab, un planetario portatile, ed i racconti dei miti del cielo. L'evento vede la partecipazione di centinaia di bambini e delle loro famiglie, ed ha lo scopo di avvicinare i piccoli all'astronomia attraverso attività ludico-didattiche, con esperimenti sempre nuovi e vicini alle scoperte più recenti.

Inoltre l'Osservatorio sta portando avanti progetti di ricerca per la promozione della cultura scientifica attraverso la sperimentazione di attività di valorizzazione e diffusione dell'astrofisica con il gioco, in diversi contesti e per diverse tipologie di pubblico.

Una scuola che guida verso il cielo

Dopo la riforma Gelmini, lo spazio concesso all'astronomia nelle scuole secondarie si è notevolmente ridotto, in particolare in quella di secondo grado dove l'astronomia non è più materia d'esame e dell'ultimo anno di corso. Pochi concetti, come i moti della Terra sono introdotti al primo anno e alcuni temi di astrofisica vengono lasciati come approfondimenti facoltativi di fisica. La conseguenza è che nell'ultimo decennio abbiamo di fatto assistito alla scomparsa dell'astronomia dai programmi di studio. Questa lacuna culturale è al tempo stesso accompagnata dalla costante richiesta di soddisfare la curiosità e la voglia degli studenti di conoscere il cielo. Il nostro Osservatorio propone sia piccoli "assaggi" di astrofisica

Bambineide, on the other hand, is a special event dedicated to children, an appointment in the month of May that has been held at our Observatory for over twenty years. Designed by Franco Pacini, this event offers many activities such as simple experiments on a specific astronomical theme, the sky view inside Starlab, a portable planetarium, and meetings with storytellers of celestial myths. The event is attended by hundreds of children and their families, and aims to bring youngsters closer to astronomy through educational activities, often linked to recent cosmic discoveries, in the form of games.

The Observatory also pursues research projects for the promotion of public engagement, proposing activities for the dissemination of astrophysics in different contexts and for different types of audience, again in the form of games.

A school that leads to the sky

Since the Gelmini reform, the space granted to astronomy in secondary schools has been considerably reduced, particularly in high schools, where astronomy is no longer among the subjects included in the last year's study plan and the final exam. A few simple concepts, such as the Earth's movement around the Sun, are introduced in the first year, while more interesting astronomic topics are left as optional in the physics programme. Consequently, over the last decade many schools have actually experienced a complete absence of astronomy-based lectures and education. This cultural gap is accompanied by a constant demand to satisfy stu-

per gli studenti come Conferenze, visite guidate, percorsi di alternanza scuola-lavoro, che dei veri e propri viaggi nel cosmo. In questi ricadono, ad esempio, i corsi pomeridiani extracurricolari di Astrofisica per il triennio delle scuole secondarie di secondo grado che, in collaborazione con l'Università di Firenze e di Padova, consentono ai più meritevoli di utilizzare telescopi professionali come quelli nel comprensorio di Asiago.

Infine vorremmo sottolineare che i ricercatori dell'Osservatorio sono impegnati a sostenere quello che è un esperimento unico in Italia, il *Liceo Scientifico Astronomico*. L'esperimento, progettato e condotto in primo piano dai docenti del Liceo Scientifico Ordinario Gobetti-Volta di Bagno a Ripoli, propone l'astronomia come materia curriculare ed interdisciplinare per 5 anni, trattando la materia nei suoi vari aspetti culturali, scientifici, letterari, storico-filosofici (Fig. 1). Numerosi ricercatori dell'Osservatorio di Arcetri partecipano alla programmazione e sostengono l'avvicinamento dei giovani alla ricerca con interventi e laboratori a tema. Poiché i fenomeni astronomici sono spiegabili grazie alla conoscenza della fisica e della matematica, il percorso del liceo astronomico è anche un mezzo per rafforzare l'apprendimento di concetti base in materie come la fisica e la matematica. Il carattere interdisciplinare dell'astronomia consente inoltre di scoprire legami fra diversi settori della nostra conoscenza.

Concludiamo sottolineando che personale dell'Osservatorio ha creato itinerari ed eventi per portare la scienza anche oltre i confini del suo pubblico tradizionale e superare la dicotomia percepita tra le "due culture", quella umanistica e quella scientifica.

dents' curiosity and interest in the knowledge of our Universe. Our Observatory offers both snippets of astrophysics for students, such as conferences, guided tours of the Observatory, school-work exchange experiences, and somewhat longer journeys into the cosmos. The latter include extracurricular afternoon courses in Astrophysics for senior high school students. These, in collaboration with the Universities of Florence and Padua, offer more dedicated students the chance to visit and use professional telescopes, such as those in Asiago.

Lastly, we would like to highlight the fact that the staff of Arcetri Observatory support what is a unique experiment in Italy, a real *Astronomical High School*. This is offered within the framework of high schools specialized in scientific subjects and has been designed and conducted primarily by the teachers of the Gobetti-Volta high school in Bagno a Ripoli. Astronomy is considered a five-year curricular and interdisciplinary course and is studied in its various cultural aspects: in physics and science as well as in literature, history and philosophy. Numerous researchers from Arcetri Observatory participate actively in the programme with specialized workshops and lectures. As astrophysical phenomena can be explained thanks to the knowledge of mathematics and physics, the offer of an astronomical high school also intends to strengthen and consolidate the basic concepts of physics and mathematics. Astronomy's interdisciplinary nature also makes it possible to explore links between different branches of our knowledge.

In conclusion, the staff of Arcetri Observatory have made a huge contribution to taking science beyond the confines of its traditional audience and to overcoming the dichotomy perceived between the "two cultures", humanities and science.



Liceo Scientifico Ordinario con Potenziamiento di Astronomia

Quadro Orario

MATERIE	I	II	III	IV	V
LINGUA E LETTERATURA ITALIANA	4	4	4	4	4
LINGUA E LETTERATURA LATINA	3	3	3	3	3
LINGUA E CULTURA STRANIERA INGLESE	3	3	3	3	3
STORIA E GEOGRAFIA	3	3			
STORIA			2	2	2
FILOSOFIA			3	3	3
MATEMATICA	5	5	4	4	4
FISICA	2	2	3	3	3
SCIENZE NATURALI	2	2	3	3	3
ASTRONOMIA	2	2	2	2	2
DISEGNO E STORIA DELL'ARTE	2	2	2	2	2
SCIENZE MOTORIE E SPORTIVE	2	2	2	2	2
RELIGIONE CATTOLICA O ATTIVITÀ ALTERNATIVE	1	1	1	1	1
TOTALE	29	29	32	32	32

Figura 1. A sinistra: una classe del Liceo Scientifico Gobetti-Volta in visita al Gran Telescopio Canarias La Palma (Isole Canarie). A destra: il quadro orario per i cinque anni del Liceo Scientifico Gobetti-Volta con Potenziamiento di Astronomia in cui sono evidenziate le ore curriculari di astronomia (crediti: Istituto Gobetti-Volta).

Figure 1. Left: a class from the Gobetti-Volta high school visiting the Gran Telescope Canarias at La Palma (Canary Islands). Right: the timetable for the five years of the Gobetti-Volta Astronomical High School, in which the curricular hours of astronomy are highlighted (credits: Istituto Gobetti-Volta).

Edvige Corbelli è astronoma dell'Istituto Nazionale di Astrofisica e si occupa prevalentemente di galassie nell'Universo Locale, studiandone l'accrescimento di gas e la distribuzione in esse di materia oscura. Svolge attività di comunicazione della scienza prevalentemente rivolta ai giovani, per avvicinarli al mondo della ricerca.

Alessandra Zanazzi si occupa da molti anni di didattica e comunicazione delle scienze, progettando e svolgendo attività (con le scuole, le famiglie, il pubblico generico), eventi e corsi di formazione docenti. Attualmente lavora all'INAF come responsabile delle attività locali di divulgazione e didattica e collabora a diversi progetti nazionali.

Edvige Corbelli is an astronomer at the National Institute of Astrophysics. She is an expert on galaxies of the Local Universe and studies possible processes of gas accretion in them, and how dark matter is distributed in and around galaxies. She is involved in science education and outreach activities, aimed mostly at bringing students closer to on-going research.

Alessandra Zanazzi has been involved in science education and communication for many years, planning and carrying out activities (with schools, families and the general public), events and teacher training courses. She currently works at INAF as coordinator of local educational and outreach activities and collaborates on various national projects.



Il Colle di
Galileo

Storia, scienza e musica all'Osservatorio di Arcetri

History, science and music at the Arcetri Observatory

Antonella Gasperini

INAF – Osservatorio astrofisico di Arcetri

Riassunto. L'Osservatorio astrofisico di Arcetri conserva un importante patrimonio storico costituito da documenti di archivio, libri antichi e strumentazione scientifica. Nel corso degli anni l'attenzione alla conservazione e valorizzazione di tale patrimonio è cresciuta, e numerose sono state le iniziative rivolte al pubblico in questo ambito. In particolar modo, la presenza del pianoforte appartenuto a Maja Einstein ha permesso la realizzazione di eventi che fondono musica, storia e astronomia.

Parole chiave. Biblioteca dell'Osservatorio di Arcetri, Albert e Maja Einstein, pianoforte Blüthner.

Nell'ottobre del 1872, nel momento in cui l'astronomia a Firenze si trasferisce dalla Specola al nuovo Osservatorio sulla collina di Arcetri, non solo gli strumenti scientifici ma anche i volumi, le carte, le riviste, gli atlanti trovano il loro posto nel nuovo edificio e danno vita al nucleo originario dell'attuale collezione libraria. La biblioteca, situata centralmente al piano terreno, diviene quindi il cuore del nuovo istituto scientifico. Il giorno dell'inaugurazione, il 27 ottobre, la pergamena commemorativa fu sotterrata proprio al centro della sala della biblioteca (dove ancora si trova) a perenne ricordo dell'evento.¹ In quell'occasione anche il

Abstract. The Arcetri Astrophysical Observatory preserves an important historical heritage consisting of archival documents, ancient books and scientific instrumentation. Over the years, attention to the preservation and enhancement of this heritage has grown, and there are numerous initiatives aimed at the public in this area. In particular, the presence of the piano that belonged to Maja Einstein has allowed the realization of events that combine music, history and astronomy.

Keywords. Library of the Arcetri Astrophysical Observatory, Albert and Maja Einstein, piano Blüthner.

In October 1872, when astronomy in Florence moved from the Specola to the new Observatory on the top of Arcetri hill, not only the scientific instruments but also the volumes, maps, journals and atlases found their place in the new building and formed the original nucleus of the current library collection. The library, centrally located on the ground floor, became

Prefetto della biblioteca del Reale Museo Federico Bruscoli volle celebrare l'avvenimento, come omaggio a Giovanni Battista Donati, con un componimento poetico (in latino) per la nascita del fiorentino "tempio di Urania" dedicato a Galileo.

La biblioteca subirà le stesse vicissitudini occorse all'Osservatorio in seguito alla morte prematura del fondatore G. B. Donati. Sarà solo con la nomina a direttore nel 1894 dell'astronomo Antonio Abetti che si verificherà un'inversione di tendenza. Egli destinerà una parte delle somme avute per la sistemazione dell'Osservatorio proprio alla biblioteca, e deciderà di fare un nuovo ed esauriente ordinamento di essa e di arricchirne le collezioni.

È in questo nuovo contesto che la biblioteca si arricchisce di un importante volume, la prima edizione (1632) del *Dialogo sopra i massimi sistemi* di Galileo Galilei che Antonio Favaro, studioso e curatore dell'Edizione Nazionale delle opere galileiane dona all'amico Antonio Abetti nel 1920. Come riportato nella lettera di accompagnamento "*non è un esemplare comune, ma avente alcune particolarità*"². Sembra infatti che il frontespizio riportasse la firma autografa di Galileo Galilei, forse tagliata (e venduta) da un frate del convento dei Giaccherini in provincia di Pistoia da cui proveniva l'esemplare donato.

Con Giorgio Abetti, succeduto al padre nel 1924 nella direzione dell'Osservatorio di Arcetri, l'attenzione e la cura verso la biblioteca ma anche verso la memoria storica diventa più forte. Finché sarà direttore i suoi interventi saranno rivolti alla conservazione e la valorizzazione del patrimonio storico scientifico. Un esempio di tale attenzione può essere considerato il tentativo che Antonio e Giorgio Abetti fanno nel corso di più di un decennio di pubblicare le *Osservazioni*

the heart of the new scientific institute. On the day of the inauguration, 27 October, the commemorative parchment was buried right in the middle of the library (where it remains to this day) as a permanent memorial of the event¹. On that occasion, the Prefect of the library of the Royal Museum, Federico Bruscoli, also celebrated the event, as a tribute to Giovanni Battista Donati, by writing a poetic composition (in Latin) for the birth of the Florentine "temple of Urania" dedicated to Galileo.

The library would endure the same vicissitudes as the Observatory following the premature death of founder G. B. Donati. It was only with the appointment of astronomer Antonio Abetti as director in 1894 that a turnaround occurred. He earmarked part of the sums he had received for the refurbishment of the Observatory for the library and decided to reorganize it and enrich its collections.

It was in this new context that the library was enriched with an important volume, the first edition (1632) of Galileo Galilei's *Dialogo sopra i massimi sistemi*, which Antonio Favaro, scholar and curator of the National Edition of Galilean works, donated to his friend Antonio Abetti in 1920. As stated in the accompanying letter, "*this is not a common copy, but one with certain particularities*"². It would seem that the title page bore Galileo's autographed signature, which was perhaps cut out (and sold) by a friar from the Giaccherini convent in the province of Pistoia where the donated copy came from.

With Giorgio Abetti, who succeeded his father as director of Arcetri Observatory in 1924, greater attention and care were focused on the library but also on the past history of the Ob-

e disegni di alcune nebulose di Wilhelm Tempel³, che nel 1921 erano state acquistate dalla biblioteca dell'Osservatorio dopo un percorso accidentato e che neppure l'intervento di Enrico Fermi nell'ambito dell'Accademia dei Lincei nel 1936 riesce a concretizzare.

Negli anni successivi alla direzione degli Abetti la collezione libraria cresce in maniera costante, ma si attenua la sensibilità verso il patrimonio storico e si preferisce delegare ad altri istituti la conservazione del passato. In particolar modo si attiva una stretta collaborazione, per non dire osmosi, con l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze. Solo alla fine degli anni '90 del secolo scorso, con la nascita dei primi progetti di cooperazione fra osservatori e astronomici e Soprintendenze e successivamente con la creazione dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), l'Osservatorio riacquista la consapevolezza della necessità di tutelare e conservare la propria memoria storica.⁴

Viene dato avvio quindi al lavoro di riordino dell'archivio storico, sia all'interno del progetto nazionale Specola 2000 sia grazie alla collaborazione con la Soprintendenza archivistica della Toscana. Vengono ridefiniti in modo analitico i rapporti di comodato dei beni con il Museo Galileo e soprattutto viene iniziato il lavoro di inventariazione e catalogazione informatizzata dei beni storici rendendoli disponibili alla consultazione all'interno del portale dei beni culturali dell'INAF "Polvere di stelle"⁵. L'attenzione inoltre si rivolge non solo alla sistemazione del posseduto ma anche alla possibilità di incrementare le collezioni con acquisizioni provenienti dall'esterno. Nel 2006 viene acquistato un corpus di lettere indirizzate a G. B. Donati da astronomi italiani e stranieri in un arco cronologico che va dal

servatory. As long as he was director, his interventions were directed towards the conservation and valorization of the historical scientific heritage. An example of his attention can be seen in the attempt that Antonio and his son Giorgio made over the course of more than a decade to publish Wilhelm Tempel's *Observations and Drawings of Some Nebulae*, acquired by the Observatory's library in 1921 after a rough period³, and which not even Enrico Fermi's intervention at the Accademia dei Lincei in 1936 had succeeded in bringing to fruition.

In the years following the Abetti's directorship, the library collection grew steadily, but sensitivity to the historical heritage waned and the decision was made to delegate the preservation of the past to other institutions. In particular, a close collaboration, almost an osmosis, was initiated with the Institute and Museum of the History of Science in Florence. It was only at the end of the 1990s, with the birth of the first cooperations between observatories and astronomical superintendencies and later with the creation of the National Institute of Astrophysics (INAF), that the Arcetri Observatory regained awareness of the need to protect and preserve its historical heritage⁴.

Work began on reorganizing the historical archive, both as part of the "Specola 2000" national project and in collaboration with the Tuscan Archival Superintendency. The regulation of the loan of assets was analytically redefined with the Galileo Museum and, above all, work was begun on the computerized inventory and cataloguing of the historical assets, making them available for consultation within the INAF's cultural assets portal "*Polvere di stelle*"⁵. Attention also turned not only to the arrangement of the holdings but also to the possibility of

1836 al 1873 arricchendo così il fondo archivistico di documentazione preziosa per la ricostruzione dell'attività scientifica dell'astronomo pisano.

L'ultima acquisizione di un bene storico da parte dell'Osservatorio di Arcetri risale al 2016, e si tratta di un oggetto "inconsueto" in un osservatorio astronomico: un pianoforte Blüthner (n. 51833), costruito a Lipsia nel 1899. Non uno strumento qualsiasi, ma con una storia e un passato unici, in cui si fondono musica storia e scienza, un oggetto da cui partono fili invisibili che legano vicende di persone, di famiglie che si imbattono nella storia tragica del Novecento, fatta di esili, di persecuzioni, di migrazioni. È il pianoforte appartenuto a Maja Einstein, sorella di Albert, che nel 1921 aveva deciso di trasferirsi definitivamente in Italia insieme al marito Paul Winteler, prima a Fiesole per un breve periodo e poi in una casa di campagna tra Firenze e Sesto Fiorentino da loro denominata "Samos".⁶

All'inizio del suo soggiorno fiorentino Maja instaura con i frati del Convento di S. Francesco di Fiesole stretti rapporti di amicizia, che dureranno per moltissimi anni. Il Convento di S. Francesco non solo era meta di moltissimi visitatori e fedeli ma anche di uomini di cultura che venivano per incontrare padre Odorico Caramelli, musicista ed intellettuale legato a Giovanni Papini e a al mondo delle riviste fiorentine di inizio secolo. Quando nell'ottobre del 1921 Einstein viene invitato da Federigo Enriques a tenere delle conferenze a Bologna, il fisico tedesco decide di trascorrere alcuni giorni con la sorella portando con sé anche il figlio Hans Albert. Arriva il 18 ottobre a Firenze, ma chiede espressamente di rimanere in incognito. Aveva appena vinto il premio Nobel ed era già al massimo della notorietà. Fitto sarà il calendario delle giornate fiorentine (ripartirà

increasing the collections with acquisitions from outside. In 2006, a corpus of letters addressed to Donati by Italian and foreign astronomers was purchased, covering the years from 1836 to 1873, enriching the archival fund with valuable documentation for the reconstruction of the astronomer's scientific activity.

The latest acquisition of a historical asset by the Arcetri Observatory dates back to 2016 and concerns an object that is "unusual" in an astronomical observatory: a Blüthner piano (no. 51833), built in Leipzig in 1899. Not just any old piano, but one with a unique history, in which music, history and science come together. An object from which invisible threads reach out, binding the stories of people, of families affected by the tragic history of the 20th century, made up of exiles, persecutions and migrations. It is the piano that belonged to Maja Einstein, Albert's sister, who had decided to move permanently to Italy with her husband Paul Winteler in 1921, briefly to Fiesole and then to a country house between Florence and Sesto Fiorentino that they named "Samos"⁶.

At the beginning of her stay in Florence, Maja established a close friendship with the friars of the Convent of St. Francis in Fiesole, which would last for many years. The Convent of St. Francis was not only a destination for many visitors and believers, but also for men of culture who came to meet Father Odorico Caramelli, a musician and intellectual linked to Giovanni Papini and the world of Florentine cultural magazines at the turn of the century. When Einstein was invited by Federigo Enriques to give lectures in Bologna in October 1921, the physicist decided to spend a few days with his sister, taking his son Hans Albert with him. He arrived in Florence

il 21 ottobre), ma sappiamo con certezza che frequenterà anche il Convento di Fiesole. Da alcune testimonianze il ricordo di questa visita avrebbe assunto nel tempo un alone mitico, come riportano alcune testimonianze, come ad esempio la seguente:

Di notte scendeva nel bosco del Convento e, seduto sul muricciolo della cisterna etrusca, suonava alla Luna⁷.

Sembra difficile pensare che Einstein nei tre giorni e mezzo di soggiorno fiorentino si recasse tutte le notti a suonare al chiaro di luna, ma sicuramente il 20 ottobre si recò a Fiesole come testimoniato dalla presenza della sua firma sul registro dei visitatori.⁸ Un'altra possibile destinazione di Einstein nei pochi giorni fiorentini sembra essere stata anche l'Osservatorio di Arcetri, ma l'unica testimonianza è affidata ad un ricordo di Pierantonio Abetti, figlio di Giorgio, che in un articolo del 2003 scrive:

Negli anni '20 Albert Einstein veniva a trovare sua sorella ogni estate e saliva all'Osservatorio per parlare con mio padre⁹.

Anche in questo caso la memoria familiare può essere stata ingannevole perché allo stato attuale degli studi biografici risulta che Einstein abbia frequentato Firenze per l'ultima volta solo nei pochi giorni dell'ottobre 1921. Risulta comunque plausibile il fatto che Einstein e Abetti si conoscessero per i comuni interessi scientifici, seppur non suffragato da ulteriori prove. Nel suo articolo Pierantonio ha riprodotto anche una foto di Einstein con dedica ad Abetti datata 1931 a ri-

on the 18th of October, but asked to remain incognito. He had just won the Nobel Prize and was already at the peak of his fame. The calendar of the time in Florence was full (he left on the 21st of October), but we know for certain that he visited the Convent of Fiesole. According to some testimonies, the memory of this visit took on a mythical aura over time. For example:

At night he would descend into the woods outside the Convents and, sitting on the wall of the Etruscan cistern, he would play to the moon⁷.

It seems hard to imagine that, during the three and a half days spent in Florence, Einstein went to play in the moonlight every night, but he definitely went to Fiesole on the 20th of October, as proven by his signature in the visitors' register⁸. Another possible destination for Einstein during his few days in Florence seems to have been the Arcetri Observatory, but the only evidence of this is entrusted to a recollection by Pierantonio Abetti, Giorgio's son, who writes in an article dated 2003:

In the 1920s, Albert Einstein came to visit his sister every summer and went up to the Observatory to talk to my father⁹.

Here again, family memory may have been misleading, because biographical studies reveal that Einstein visited Florence for the last time during those few days in October 1921. It is plausible, however, that Einstein and Abetti knew each other through common scientific interests, although this is not supported by further evidence. In his article, Pierantonio also re-

prova della conoscenza e della stima fra i due scienziati (Fig. 1), ma ciò comunque non prova l'effettiva presenza di Einstein ad Arcetri in quell'anno.¹⁰

Chi però sicuramente visitò l'Osservatorio nel 1931 fu Maja Einstein, come documentato dal registro delle firme dei visitatori dell'Osservatorio in data 11 novembre 1931 insieme a Nesta de Robeck, insegnante di pianoforte nell'ambiente anglo fiorentino, ed all'astronomo Luigi Jacchia (un caso oppure una conoscenza?) che era studente a Bologna.¹¹ Maja seguiva la vita culturale fiorentina, soprattutto quella musicale, partecipando alle iniziative artistiche locali. A "Samos" inoltre la coppia Einstein-Winteler aveva creato intorno a sé un circolo di amici, musicisti, pittori, giovani studiosi di storia dell'arte, che viveva all'insegna dell'arte. Fra questi anche Hans Joachim Staude, pittore e musicista, proveniente da Amburgo, che si era formato nella cerchia di Aby Warburg.

Nelle serate a "Samos" si eseguiva musica dal vivo e spesso Maja suonava pezzi a quattro mani proprio insieme a Staude. Maja non era una musicista di professione, ma per lei la musica era l'essenza della vita. Quando nel 1931 Albert decide di farle un regalo e acquista per lei un pianoforte Blüthner usato che fa restaurare e spedire a Firenze, Maja è felicissima, come testimoniato dalle numerose lettere.

Purtroppo, con la pubblicazione del Manifesto sulla razza del luglio 1938 e con l'esclusione degli ebrei dalla vita sociale politica alla fine del 1938, la situazione politica diventa sempre più critica e all'inizio del 1929 Maja è costretta ad abbandonare l'Italia e a raggiungere il fratello negli Stati Uniti. Decide quindi di affidare l'amato pianoforte a Hans Joachim Staude con la speranza di tornare presto e di ricongiungersi con il marito. A guerra terminata, diversi tentativi

produced a photo of Einstein with a dedication to Abetti dated 1931 (Fig. 1), as proof of the acquaintance and esteem between the two scientists, but this does not prove Einstein's actual presence at the Observatory in that year.¹⁰

Someone who undoubtedly visited the Observatory in 1931 was Maja Einstein, as documented in the register of signatures of visitors to the Observatory dated 11 November 1931, together with Nesta de Robeck, a piano teacher in the Anglo-Florentine circle, and the astronomer Luigi Jacchia (a coincidence or an acquaintance?) who was a student in Bologna at the time¹¹. Maja took part in Florentine cultural life, especially music, and participated in local artistic initiatives. In "Samos", the Einstein-Wintelers had built up a circle of friends - musicians, painters, young art history scholars - who lived under the banner of art. Among them was Hans Joachim Staude, a painter and musician from Hamburg, who had trained in Aby Warburg's circle.

Live music was played during the evenings at "Samos", and Maja often duetted at the piano with Staude. Maja was not a professional musician but music was the essence of her life. When Albert decided to buy her a second-hand Blüthner piano in 1931, restoring it and sending it to Florence, Maja was overjoyed, as testified by numerous letters.

Unfortunately, with the publication of the Race Manifesto in July 1938 and the exclusion of Jews from political social life at the end of 1938, the political situation became increasingly critical and, at the beginning of 1929, Maja was forced to leave Italy and join her brother in the United States. She then decided to entrust her beloved piano to Hans Joachim Staude in the

verranno fatti per rientrare in Europa, ma le non buone condizioni di salute costringeranno Maja a rimanere a Princeton fino alla sua morte avvenuta nel 1951.

Il Blüthner n. 51833 rimarrà presso la famiglia Staude per oltre settanta anni. Nel 2016, grazie alla disponibilità della famiglia e all'interesse di Francesco Palla, astronomo e direttore dell'Osservatorio dal 2005 al 2011, il pianoforte, un bene culturale molto speciale, troverà la sua collocazione nella biblioteca con l'impegno di far conoscere e non dimenticare la storia di discriminazione legata a questo strumento.

Note

¹ Nell'archivio storico dell'Osservatorio è conservata una riproduzione del 1901-1902. Si veda S. Bianchi, D. Galli, A. Gasperini, *Le due inaugurazioni dell'Osservatorio di Arcetri*, in "Giornale di astronomia", 39, n.3, 2013.

² Lettera manoscritta di Antonio Favaro ad Antonio Abetti, 25 giugno 1920 (Archivio storico, INAF-OAA).

³ Si veda *L'esercizio illegale dell'astronomia: Max Ernst, Iliaszd, Wilhelm Tempel*, a cura di L. Chimirri, M. Mazzoni, S. Bianchi, A. Gasperini, Firenze, Centro Di, 2009, pp.42-43.

⁴ Lo statuto dell'INAF indica infatti nell'art. 2 comma g), fra le proprie attività, la tutela, conservazione e valorizzazione del proprio patrimonio bibliografico, archivistico e storico strumentale.

⁵ www.beniculturali.inaf.it

⁶ M. Ciardi, A. Gasperini, *Il pianoforte di Einstein*, Milano, Hoepli, 2021.

⁷ *Due francescani da ricordare: Padre Caramelli, Fra' Clementino* (1972), Convento di San Francesco, Fiesole, pp. 43-44

⁸ Ciardi, Gasperini (2021), pp.69-70.

hope of returning soon and reuniting with her husband. After the war, she made several attempts to return to Europe, but poor health forced Maja to remain in Princeton until her death in 1951.

The Blüthner No. 51833 remained with the Staude family for over seventy years. Thanks to the willingness of the family and the interest of Francesco Palla, astronomer and director of the Observatory from 2005 to 2011, in 2016, the piano, a very special cultural asset, finally found its place in the library with the commitment to make the history of discrimination linked to this instrument known and not forgotten.

Notes

¹ A reproduction made in 1901-1902 is deposited in the Historical Archives of the Observatory. See S. Bianchi, D. Galli, A. Gasperini, *Le due inaugurazioni dell'Osservatorio di Arcetri*, in "Giornale di astronomia", 39, n.3, 2013.

² Handwritten letter from Antonio Favaro to Antonio Abetti, June 25, 1920 (Historical Archives, INAF-OAA).

³ See *L'esercizio illegale dell'astronomia: Max Ernst, Iliaszd, Wilhelm Tempel*, a cura di L. Chimirri, M. Mazzoni, S. Bianchi, A. Gasperini, Firenze, Centro Di, 2009, pp.42-43.

⁴ The INAF statute in fact indicates in art. 2 paragraph g), among its activities, the protection, conservation and valorization of its bibliographic, archival and historical instrumental heritage.

⁵ www.beniculturali.inaf.it

⁹ P. Abetti (2003), *Coela tango: a life*, "Italian Americana", 1, n.1 , p. 27.

¹⁰ Ciardi, Gasperini, pp.72-74.

¹¹ Nell'archivio storico dell'Osservatorio è conservata una lettera del 1938 in cui l'astronomo Harlow Shapley si informa presso Giorgio Abetti del valore scientifico di Luigi Jacchia costretto a lasciare Bologna a causa delle leggi razziali.

Antonella Gasperini è primo tecnologo all'INAF-Osservatorio astrofisico di Arcetri, responsabile del Servizio Biblioteche, Musei e Terza missione dell'INAF. Collabora inoltre alle attività di diffusione della cultura scientifica e di valorizzazione del patrimonio storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri.

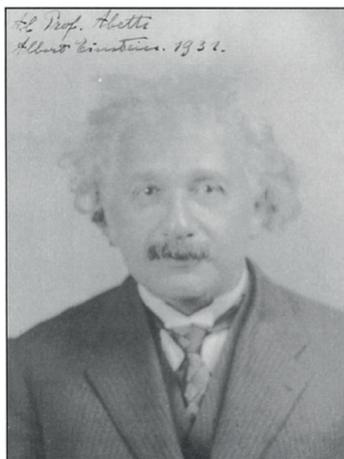


Figure 1. Fotografia di Albert Einstein con dedica a Giorgio Abetti (da P. Abetti, 2003, "Coela tango: a life", in *Italian Americana*, 1, n.1, p. 27).

Figure 1. Photo of Albert Einstein with dedication to Giorgio Abetti (source: P. Abetti, 2003, "Coela tango: a life", in *Italian Americana*, 1, n.1, p. 27).

⁶ M. Ciardi, A. Gasperini, *Il pianoforte di Einstein*, Milano, Hoepli, 2021.

⁷ *Due francescani da ricordare: Padre Caramelli, Fra' Clementino* (1972), Convento di S. Francesco, Fiesole, pp. 43-44.

⁸ Ciardi, Gasperini (2021), pp. 69-70.

⁹ P. Abetti (2003), *Coela tango: a life*, "Italian Americana", 1, n.1 , p. 27.

¹⁰ Ciardi, Gasperini, pp.72-74.

¹¹ The Historical Archives of the Observatory contain a letter dated 1938 in which the astronomer Harlow Shapley asks Giorgio Abetti about the scientific value of Luigi Jacchia, who was forced to leave Bologna due to the racial laws.

Antonella Gasperini is senior technologist at INAF-Osservatorio astrofisico di Arcetri. She leads the Libraries, Museums and Third Mission Service of INAF. She also works on the dissemination of scientific culture and participates in activities linked to the promotion of the historical heritage of the Arcetri astrophysical observatory.

Sommario | Table of contents

Volume 12 – 1 · 2023

Introduzione | *Introduction* 5
SOFIA RANDICH

150 anni di Osservatorio ad Arcetri | *150 years of Observatory in Arcetri* 11
SIMONE BIANCHI

Astrofisica delle Alte Energie ad Arcetri | *High Energy Astrophysics in Arcetri* 25
RINO BANDIERA, BARBARA OLMI

La radioastronomia all'Osservatorio di Arcetri: le antenne italiane, ALMA e SKA |
Radioastronomy at Arcetri Observatory: Italian antennas, ALMA and SKA 35
GIANNI COMORETTO

Lo studio delle stelle e della formazione stellare ad Arcetri | *The study of stars and star
formation at Arcetri* 45
DANIELE GALLI, SOFIA RANDICH

Venti anni di spettroscopia da terra e dallo spazio | *Twenty years of spectroscopy from the
ground and from space* 55
ANDREA TOZZI

Astronomia extragalattica ad Arcetri | *Extragalactic Astronomy at Arcetri* 63
FILIPPO MANNUCCI, LESLIE K. HUNT, ROBERTO MAIOLINO

Lottica adattiva ad Arcetri e il *Large Binocular Telescope* | *The Arcetri Adaptive Optics group and
the Large Binocular Telescope* 69
SIMONE ESPOSITO

I 150 volti dell'Osservatorio: proposte innovative per le scuole e sul territorio | *The 150 faces of
the Observatory: innovative projects for school education and science communication* 79
EDVIGE CORBELLI, ALESSANDRA ZANAZZI

Storia, scienza e musica all'Osservatorio di Arcetri | *History, science and music at the Arcetri
Observatory* 85
ANTONELLA GASPERINI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



INO-CNR
ISTITUTO
NAZIONALE DI
OTTICA