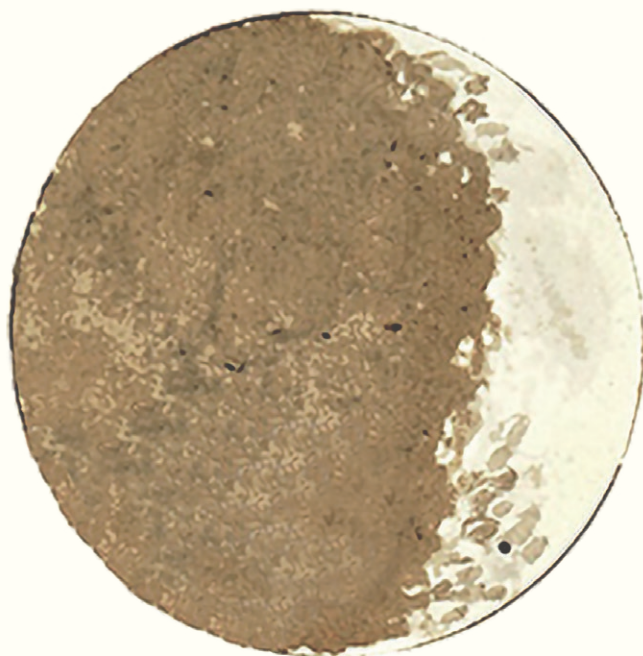


Volume 14



1 · 2025

IL COLLE di GALILEO



ISSN
2281-7727

FI
FIRENZE
UNIVERSITY
PRESS

Il Colle di Galileo

Volume 14, 1, 2025

Firenze University Press



Il Colle di Galileo

Direttore

Oscar Adriani, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*

email: oscar.adriani@unifi.it

Comitato di Redazione

Alessandro Farini, *CNR Istituto Nazionale di Ottica*

email: alessandro.farini@cnr.it

Massimo Lenti, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*

email: massimo.lenti@unifi.it

Nicoletta Sanna, *INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

email: nicoletta.sanna@inaf.it

Andrea Tesi, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze*

email: tesi@fi.infn.it

Comitato Scientifico

Oscar Adriani, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*

email: oscar.adriani@unifi.it

Elisabetta Baldanzi, *CNR Istituto Nazionale di Ottica*

email: elisabetta.baldanzi@cnr.it

David Caramelli, *Presidente del Sistema Museale d'Ateneo, Università degli Studi di Firenze*

email: david.caramelli@unifi.it

Francesco Saverio Cataliotti, *CNR Istituto Nazionale di Ottica, Direttore*

email: francescosaverio.cataliotti@unifi.it

Simone Esposito, *INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Direttore*

email: simone.esposito@inaf.it

Duccio Fanelli, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze, Direttore*

email: duccio.fanelli@unifi.it

Alessandro Farini, *CNR Istituto Nazionale di Ottica*

email: alessandro.farini@cnr.it

Mariaelena Fedi, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze*

email: fedi@fi.infn.it

Daniele Galli, *INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

email: daniele.galli@inaf.it

Antonella Gasperini, *INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

email: antonella.gasperini@inaf.it

Giovanni Passaleva, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze, Direttore*

email: giovanni.passaleva@fi.infn.it

Fulvio Piccinini, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze*

email: fulvio.piccinini@pv.infn.it

Samuele Straulino, *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Firenze*

email: samuele.straulino@unifi.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



CNR-INO
ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

OSSERVATORIO ASTROFISICO DI ARCETRI

Versione elettronica / Online version:

<https://www.fupress.com/cdg>

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

© 2025 Author(s)

Content license: except where otherwise noted, the present work is released under Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>). This license allows you to share any part of the work by any means and format, modify it for any purpose, including commercial, as long as appropriate credit is given to the author, any changes made to the work are indicated and a URL link is provided to the license.

Metadata license: all the metadata are released under the Public Domain Dedication license (CC0 1.0 Universal: <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode>).

Published by Firenze University Press

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



Sommario

Table of contents

PILLOLE DI STORIA / HISTORICAL PILLS

- 5 Adele e Laura. Dietro le quinte di un romanzo
Adele and Laura. Behind the scenes of a novel
Rosaria Petreti
- 21 I raggi cosmici tornano a Firenze
Cosmic rays return to Florence
Piero Spillantini
- 33 Intrappolare la luce negli specchi: viaggio scientifico nella storia della dagherrotipia e dei suoi pionieri
Capturing light in the mirror: A scientific journey through the history of daguerreotypy and its pioneers
Diego Quintero Balbas, Laura Benassi, Jana Striova
- 45 I pendoli dell'Osservatorio di Arcetri
The pendulums of Arcetri Observatory
Simone Bianchi

RAPPORTI DI ATTIVITÀ / ACTIVITY REPORTS

- 61 Machine Learning at GGI
- 67 Fostering innovation through quantum technology transfer: Insights from the second Vasco Ronchi Colloquium
- 83 A broadband excursus through stellar afterlife
Barbara Olmi, Giovanni Morlino, Niccolò Bucciantini
- 87 The 44th SISFA Congress in Arcetri
Antonella Gasperini, Samuele Straulino



Il Colle di
Galileo

Adele e Laura. Dietro le quinte di un romanzo

Adele and Laura. Behind the scenes of a novel

Rosaria Petreti

Biblioteca di Scienze Tecnologiche, Università degli Studi di Firenze, Italia

Riassunto. Il 2024 ha rappresentato il settantesimo anniversario dalla pubblicazione di *Atomi in famiglia*, il romanzo di Laura Capon Fermi in cui l'autrice ricostruisce la biografia del marito Enrico Fermi. Alcuni documenti conservati presso l'Università di Chicago – che si ritengono inediti – fanno luce sulle fonti utilizzate per la stesura del romanzo. In particolare, una lettera di Adele Galeotti Rasetti, madre dello scienziato Franco Rasetti, racconta l'atmosfera seria e allo stesso tempo giocosa degli anni che Rasetti condivise ad Arcetri con Fermi (1924-1926), quando il primo lavorava come assistente del prof. Antonio Garbasso e il secondo era titolare degli insegnamenti di meccanica razionale e fisica matematica nel neonato Ateneo fiorentino. La riproduzione della lettera rappresenta inoltre l'occasione per far conoscere alcuni aneddoti e tratti caratteriali delle figure femminili che accompagnarono per buona parte le esistenze dei due scienziati di Arcetri che divennero l'anima dei ragazzi di via Panisperna.

Parole chiave: Adele Galeotti Rasetti, Laura Fermi, Franco Rasetti, Enrico Fermi, *Atomi in famiglia*.

Da qualche tempo Laura¹ ha iniziato a scrivere. Ha cominciato a farlo quasi di nascosto, sfruttando il tempo vuoto tra una commissione e l'altra, tra un lavoro di casa e un impegno con l'associazione di cui fa parte².

Adele³ ha smesso da tempo di dipingere, ha rallentato i suoi viaggi e adesso vive lontana da Franco⁴, il figlio che ha seguito per tutta una vita.

Abstract. 2024 marked the 70th anniversary of the publication of *Atoms in the Family*, Laura Capon Fermi's novel in which the author reconstructs the biography of her husband Enrico Fermi. Some documents preserved at the University of Chicago – believed to be unpublished – shed light on the sources used to write the novel. In particular, a letter from Adele Galeotti Rasetti, mother of the scientist Franco Rasetti, describes the serious yet playful atmosphere of the years that Rasetti shared at Arcetri with Fermi (1924-1926), when Rasetti worked as assistant to Prof. Antonio Garbasso and Fermi was teaching rational mechanics and mathematical physics at the newly founded University of Florence. The reproduction of the letter is also an opportunity to reveal some anecdotes and character traits of the women in the lives of the two Arcetri scientists who became the soul of the Via Panisperna boys.

Keywords: Adele Galeotti Rasetti, Laura Fermi, Franco Rasetti, Enrico Fermi, *Atomi in famiglia*.

Per Laura è stato faticoso superare lo scoglio della lingua, credeva di conoscere l'inglese, ma arrivata negli Stati Uniti all'alba del 1939, ha constatato che le cose stavano in maniera ben diversa. Il marito Enrico⁵ se l'è cavata più facilmente, stando a contatto giornalmente con gli altri fisici della Columbia University e poi c'era quello studente, Herbert Anderson⁶, che aveva fatto dell'insegnamento dell'inglese a Enrico Fermi quasi una missione.

Così Laura si è affidata ai figli, Nella e Giulio, e ha imparato piano piano da loro la lingua, parolacce comprese⁷.

Per Adele il disegno e la pittura sono stati un'inclinazione naturale, poi l'esercizio sotto la guida di Giovanni Fattori⁸, a Firenze, durante i corsi privati di pittura per sole donne, ha fatto il resto⁹. Fattori riconosce il talento di quell'allieva che riesce a imitare quasi alla perfezione le sue creazioni, stringe con lei e la famiglia un rapporto di stima e amicizia, ma a un certo punto Adele si sposa e la pittura è messa temporaneamente da parte. Il marito di Adele è un professore dell'Istituto Agrario Vegni delle Capezzine, si chiama Giovanni Rasetti e il matrimonio ha luogo nel 1900. Un anno e nasce Franco, Franco Rasetti da Pozzuolo Umbro, prima fisico di fama mondiale e poi paleontologo e botanico.

La voglia di scrivere non è per Laura un desiderio nuovo, l'ha già animata mentre nei primi tempi del matrimonio ha aiutato il marito a scrivere un manuale di fisica per i licei pubblicato poi da Zanichelli¹⁰. È tornata quando con Ginestra Amaldi¹¹ ha provato a spiegare al grande pubblico i segreti del nucleo dell'atomo e la radioattività, dando alle stampe *Alchimia del tempo nostro*¹². Ha trovato finalmente un'espressione in lingua inglese quando Laura si è data a scrivere alcuni

Laura has been¹ writing for some time. She began almost secretly, taking advantage of the spare time between one errand and another, between housework and a commitment to the association of which she is a member².

Adele³ stopped painting some time ago, slowed down her travels and now lives far away from Franco⁴, the son she has followed all his life.

It was hard for Laura to overcome the language hurdle; she thought she knew how to speak English, but when she arrived in the United States at the beginning of 1939, she found that that wasn't quite the case. Her husband Enrico⁵ found things easier, being in daily contact with the other physicists at Columbia University, and then there was that student, Herbert Anderson⁶, who had made teaching Enrico Fermi English almost a mission.

So Laura relied on her children, Nella and Giulio, and slowly learnt the language, and also how to swear, from them⁷.

Drawing and painting came naturally to Adele, and then the training with Giovanni Fattori⁸, in his private painting courses for women only, in Florence, did the rest⁹. Fattori recognised the talent of that pupil who was able to imitate his creations almost to perfection, forming a relationship of esteem and friendship with her and her family. At a certain point, however, Adele got married and set her painting aside for a while. Adele's husband was a professor at the Istituto Agrario Vegni delle Capezzine, his name was Giovanni Rasetti, and the marriage took place in 1900. A year later, Franco Rasetti from Pozzuolo Umbro, first a world-famous physicist and then a palaeontologist and botanist, was born.

racconti brevi, forse sotto la guida di un insegnante¹³, scene di vita quotidiana in cui chi narra ha molte cose in comune con lei.

Anche Adele, che intanto ha ricominciato a coltivare la sua passione, ama rappresentare la quotidianità: un giorno ha fatto un disegno di Franco mentre studia. Un bambino concentratissimo che indossa un lungo grembiule, seduto davanti a un tavolo spoglio con una matita, o forse un pennino, e qualche foglio¹⁴. È circa il 1910 e forse Adele non immagina che lo studio assorbirà tutta l'esistenza di Franco. Questo senza togliere spazio alla spensieratezza e all'affetto che li lega, ancora più saldo da quando Adele è rimasta vedova nel 1924. Non dipinge più Adele, ormai da circa tre anni, ma continua a osservare quello che le succede intorno e a immaginare davanti ai suoi occhi come sono andate tutte le stramberie che le racconta Franco.

Laura ha vinto ogni paura: lingua, riservatezza, giudizio degli altri. È decisa a scrivere la storia della sua vita accanto a Enrico Fermi. Sarà un romanzo, pubblicato dalla University of Chicago Press e si intitolerà *Atoms in the family*. Già, ma necessariamente dovrà fare riferimento ad alcuni episodi della vita di Enrico precedenti alla loro conoscenza, come fare? Per fortuna ci sono gli amici e i parenti. Inizia a scrivere lettere per avere notizie sull'infanzia e la giovinezza di Enrico: alla cognata Maria¹⁵, a Franco Rasetti, a Edoardo Amaldi¹⁶.

Le risposte non tardano ad arrivare, per Rasetti risponde Adele, che conosce per filo e per segno quello che hanno combinato Enrico e Franco prima a Pisa, da studenti, e poi ad Arcetri, da giovani docenti.

Ride Adele, mentre riporta con la sua grafia minuta le malefatte di quei due su piccoli fogli di carta velina e ride Laura nel ricevere le parole di Adele.

The desire to write is not new to Laura, she had already been motivated in this direction when, in the early days of her marriage, she helped her husband write a physics textbook for high schools, later published by Zanichelli¹⁰. It returned, with Ginestra Amaldi¹¹, when she tried to explain the secrets of the nucleus of the atom and radioactivity to the general, with the publication of *Alchimia del tempo nostro*¹². Laura finally found her expression in English when she set out to write, possibly under the guidance of a teacher, some short stories¹³, scenes from everyday life in which the narrator has many things in common with her.

Adele, who has meanwhile resumed her passion, also likes to portray everyday life: one day she drew a picture of Franco while he was studying. A very focused child wearing a long apron, sitting in front of a bare table with a pencil, or perhaps a pen, and some papers¹⁴. It was around 1910, and Adele had perhaps no idea that studying would absorb Franco's entire existence. This doesn't detract from the light-heartedness and affection that binds them together, and which has become even stronger since Adele was widowed in 1924. Adele stopped painting about three years ago, but she continues to observe what goes on around her and to imagine how all the antics that Franco tells her about actually went.

Laura has conquered all fears: language, reserve, the judgement of others. She has decided to write the story of her life by Enrico Fermi's side. It will be a novel, published by the University of Chicago Press, and will be entitled *Atoms in the family*. Yes, but she will have to refer to some episodes in Enrico's life prior to their meeting, so how can she do it? Luckily, there are friends and relatives. She starts writing letters to find out about Enrico's childhood and youth:

Ecco che cosa ci rivelano le parole di Adele, un po' sotto forma di appunti, un po' sotto forma di brevi aneddoti, a proposito della permanenza di Fermi e Rasetti presso l'Università di Firenze¹⁷:

Arcetri

Fermi e Franco a Arcetri. Laureati tutti due. Assistenti di Garbasso sindaco (o Podestà?) di Firenze.

L'istituto di fisica di Arcetri fu costruito sulla collina dove Galileo visse e studiò gli astri; e in memoria di lui. Veramente i due giovani fisici non approvavano questo genere di culto per Galileo e avrebbero preferito avere l'Istituto più vicino alla città. Credo che gli altri studenti fiorentini siano tutt'ora di questa opinione. Ma nondimeno Arcetri è un luogo delizioso, con l'aria fresca dei colli fiorentini, i ridenti dintorni e un chiostro con le arcate circondate di rose.

Fermi e Rasetti lavoravano sempre insieme, in una simpatica alleanza della fisica teorica dell'uno e la fisica sperimentale dell'altro. La quieta solitudine del luogo e le molte ore a disposizione favorivano studio, meditazione e passatempi semplici e svariati. Il prof. Garbasso appariva raramente a Arcetri, molto preso dalla vita politica e dal governo del municipio fiorentino. Era dotto e profondo nella storia e nell'arte della città e poco si occupava di fisica; sempre distratto e assorto era stato battezzato Budda.

Altri abitanti di Arcetri erano "l'uomo misterioso" che si teneva in disparte dagli altri fisici e abitava una dipendenza dell'Istituto chiamata Vagoncino, oppure

to her sister-in-law Maria¹⁵, to Franco Rasetti, to Edoardo Amaldi¹⁶.

The answers are not long in coming. Adele answers on behalf of Rasetti, knowing exactly what Enrico and Franco did first in Pisa, as students, and then in Arcetri, as young professors.

Adele laughs as she details the misdeeds of those two in her tiny handwriting on small sheets of fine paper, and Laura laughs as she receives Adele's words.

This is what Adele's words reveal to us, partly in the form of notes, partly in the form of brief anecdotes, about Fermi and Rasetti's time at the University of Florence¹⁷:

Arcetri

Fermi and Franco in Arcetri. Both graduates. Assistants of the mayor (or Podestà?) of Florence, Garbasso.

The physics institute at Arcetri was built on the hill where Galileo lived and studied the stars; and in memory of him. The two young physicists actually disagreed with this kind of worship for Galileo and would have preferred to have the institute closer to the city. I believe the other Florentine students still hold this opinion. Nevertheless, Arcetri is a delightful place, with the fresh air of the Florentine hills, pleasant surroundings and a cloister with arches surrounded by roses. Fermi and Rasetti always worked together, in a sympathetic alliance of the one's theoretical physics and the other's experimental physics. The quiet solitude of the place and the many hours available favoured study, meditation and a variety of simple pastimes. Professor Garbasso

“Casa degli Scorpioni” e celebre per il freddo invernale. Questo collega dissidente era temuto per il suo libro nero nel quale segnava accuratamente tutti i torti, veri o immaginari, di cui si credeva vittima. Questi torti erano classificati secondo la loro importanza e valutati in denaro e segnati in dollari per tema di una svalutazione: l’amico non voleva correre rischi. I suoi colleghi non amavano né lui, né il suo libro, né i dollari, che non furono mai pagati.

Un altro abitante di Arcetri era il gatto Bjierkness (si scrive così?), pacifico e grasso animale, mancante di ogni qualità felina, e vittima delle abitudini sperimentali dei fisici. Viveva nel terrore delle scosse elettriche, di cui conosceva a fondo la spiacevole sensazione; ma non riusciva a salvarsi, non sapendo arrampicare sui tetti o sugli alberi. Questa povera bestia finì male: la sola volta in cui uscì dalla sua pacifica sonnolenza e si ricordò di essere un animale predatore, mangiò certi pulcini e fu ucciso a fucilate; con grande compianto degli ospiti di Arcetri, che, a modo loro, gli volevano bene. Una partecipazione di morte, stampata, fu spedita a molta gente e arrivò fino a Parigi. Qualcuno la prese sul serio e mandò le condoglianze per la morte dell’illustre scienziato.

I fisici d’Arcetri avevano la piacevole abitudine di fare la caccia alle lucertole. Stesi bocconi su un prato o sui sassi, in pieno sole, stavano all’agguato: e con uno stelo di avena, terminato a nodo scorsoio, le acchiappavano a tradimento. Destrezza, tempo e pazienza occorreivano per catturare gli innocenti rettili, ma questo non dava noia a nessuno. Col tempo cattivo, le lucertole erano sostituite dai gecki (ve-

rarely appeared at Arcetri, being very busy with political life and governing the municipality of Florence. He was knowledgeable and profound in the history and art of the city and little concerned with physics; always distracted and absorbed, he was baptised Budda.

Other residents of Arcetri were the ‘mysterious man’ who kept himself to himself, avoiding other physicists, and lived in an annex of the Institute known as the “Vagoncino” or “House of the Scorpions” and famous for being cold in winter. This dissident colleague was feared because of his black book, in which he carefully wrote down all the wrongs, real or imagined, of which he believed himself to be the victim. These wrongs were classified according to their importance and evaluated in cash, marked in dollars due to a fear of devaluation: our friend did not want to take any risks. His colleagues disliked him, his book and the dollars, which were never paid.

Another inhabitant of Arcetri was the cat, Bjierkness, (is that how you spell it?), a fat, placid animal, lacking all feline qualities, and a victim of the experimental habits of the physicists. He lived in terror of electric shocks, the unpleasant sensation of which he knew only too well; but he could not save himself, as he didn’t know how to climb trees or onto the rooftops. This poor creature came to a tragic end: the one time he came out of his peaceful slumber and remembered that he was a predatory animal, he ate some chicks and was shot dead; much to the lament of the guests of Arcetri, who loved him in their own way. A notification of his death was printed and sent to lots of people, reaching as far as Paris. Some people took it seriously and sent condolences for the death of the illustrious scientist.

rificare l'ortografia) chiamati non si sa perché brontosauri, che stavano malinconicamente aggrappati al soffitto o alle pareti della stanza. La gente dei dintorni ne era spaventatissima, convinti come erano che questi animaletti fossero velenosissimi e apportatori di malaugurio. Consideravano i due fisici [parola non decifrata] un po' di stregoneria. Credo che in tutta la loro vita i due cacciatori di rettili non si saranno macchiati mai di caccia più sanguinosa.

Altro avvenimento notevole degli abitanti di Arcetri fu il primo approccio col tennis ma non pare che questo poi portasse a campionati o ad altri successi importanti.

Una mania, fra le varie manie, si sviluppò in occasione dell'anniversario dantesco. Fermi e Rasetti, a ogni frase udita o detta, facevano seguire un motto o un verso della Divina Commedia che calzava meglio o peggio con l'argomento. La ricordavano a mente, quasi per intiero, [...]. E Dante si presta alle infinite interpretazioni.

A Arcetri e a Firenze i giovani scienziati vivevano fra quei fiorentini raffinati intellettuali, arguti, retti [?] motteggiatori: dotati di spirito critico che si trasmette in loro da secoli; abituati alla osservazione e alle discussioni.

E in quel clima fiorentino, sui colli dall'aria frizzante, che permetteva lunghe e tranquille passeggiate, ogni argomento era svolto in modo nuovo e originale e ogni arduo problema studiato e discusso.

Chi sa se questo insieme non abbia avuto una qualche influenza nel meraviglioso sviluppo della mentalità scientifica di Fermi?

The Arcetri physicists were in the delightful habit of hunting lizards. Lying in the grass or on stones, in full sunlight, they would wait and with a stalk of oats, twisted into a slipknot at the end, they would catch them by surprise. Dexterity, time and patience were needed to catch the innocent reptiles, but this didn't bother anyone. In bad weather, the lizards were replaced by geckos, known for some unknown reason as "brontosaurus", which clung gloomily to the ceiling or walls of the room. The local people were terrified of them, convinced that these little animals were extremely poisonous and bearers of bad luck. They considered the two physicists [unreadable word] of a bit of witchcraft. I don't think that the two reptile hunters were ever guilty of a bloodier hunt in their entire lives.

Another notable event for the residents of Arcetri was their first approach to tennis, but this does not seem to have led to championships or other important successes.

One craze, among various other crazes, developed on the anniversary of Dante. Fermi and Rasetti would follow up every sentence they heard or said with a motto or verse from the Divine Comedy that fit the subject, sometimes well and sometimes not so well. They knew it off by heart, almost in its entirety, [...]. And Dante lends himself to infinite interpretations.

The young scientists lived in Arcetri and Florence among those Florentine intellectuals who were refined, witty, righteous [?] jokers: endowed with a critical spirit that had been transmitted to them over the centuries; accustomed to observation and discussion. And in that Florentine climate, on the hills with their cool air, perfect for long, peaceful walks,

Le parole di Adele non risuonano nuove per Laura, riconosce in quel testo la voglia di scherzare che tanto ha legato i due amici e di cui lei stessa e Ginestra Amaldi erano state spesso vittime¹⁸. Nel suo romanzo non riporterà tutto quanto le ha raccontato Adele e riferendosi al periodo di Arcetri, forse mescolando il contenuto della lettera con i ricordi degli stessi Enrico e Franco, scriverà¹⁹:

In quell'epoca Fermi aveva tempo a volontà per le meditazioni speculative. Abitava in Arcetri, dove sono tutt'ora i laboratori di Fisica dell'Università di Firenze, in mezzo alla campagna toscana tranquilla e riposante. Come a Pisa, così pure in Arcetri avrebbe dovuto essergli d'esempio e di guida l'ombra del più grande Galileo. Fermi però più che da Galileo si lasciava guidare dall'amico Rasetti e, trascinato da lui, passava lunghe ore a dar la caccia ai gechi, piccoli rettili innocui, a cui la tradizione popolare attribuiva poteri malefici. Unico scopo della caccia era di spaventare le cameriere col mettere in libertà i gechi nel refettorio.

I due amici stavano sdraiati immobili sull'erba, tenendo in mano una bacchetta di vetro cui era legato un cappio di seta a nodo scorsoio. Mentre aspettavano che comparissero le loro vittime, Rasetti studiava il piccolo mondo che aveva sott'occhio: un filo d'erbetta tenera, una formica che passava lesta con una pagliuzza in bocca, un raggio di luce che si scomponeva attraverso la bacchetta di vetro. Fermi, che non aveva l'animo del naturalista, non si interessava a quel piccolo mondo. Osservava, sì, il terreno, pronto a ritirare la bacchetta non appena spuntasse la testolina di un gecko; ma intanto lasciava vagare la mente, e rimuginava il principio di Pauli. Dalla subcoscienza emerse il fattore che gli mancava: due atomi di

every topic was developed in a new and original way and every daunting problem studied and discussed.

Who knows if this combination might perhaps have influenced the wonderful development of Fermi's scientific mentality?

Adele's words weren't new to Laura; she recognised the desire to have fun that had bound the two friends so closely together and of which she and Ginestra Amaldi had often been the victims¹⁸. She does not relate everything Adele told her in her novel, and, referring to the Arcetri period, perhaps mixing the contents of the letter with the memories of Enrico and Franco, she writes¹⁹:

In those days, Fermi had plenty of time for speculative meditation. He lived in Arcetri, where the Physics laboratories of the University of Florence still stand today, in the middle of the peaceful and restful Tuscan countryside. Just like in Pisa, so too in Arcetri the shadow of the greater Galileo should have served as an example and guide. Fermi, however, allowed himself to be guided more by his friend Rasetti than by Galileo and, dragged by him, spent long hours hunting geckos, small harmless reptiles to which popular tradition attributed evil powers. The only purpose of the hunt was to frighten the maids by setting the geckos free in the refectory. The two friends would lie motionless on the grass, holding a glass rod to which a silk noose with a slipknot was tied. While they waited for their victims to appear, Rasetti studied the little world in front of him: a blade of tender grass, an ant passing by with a piece of straw in its mouth, a ray of light scattered through the glass rod. Fermi, who lacked the soul of a natural-

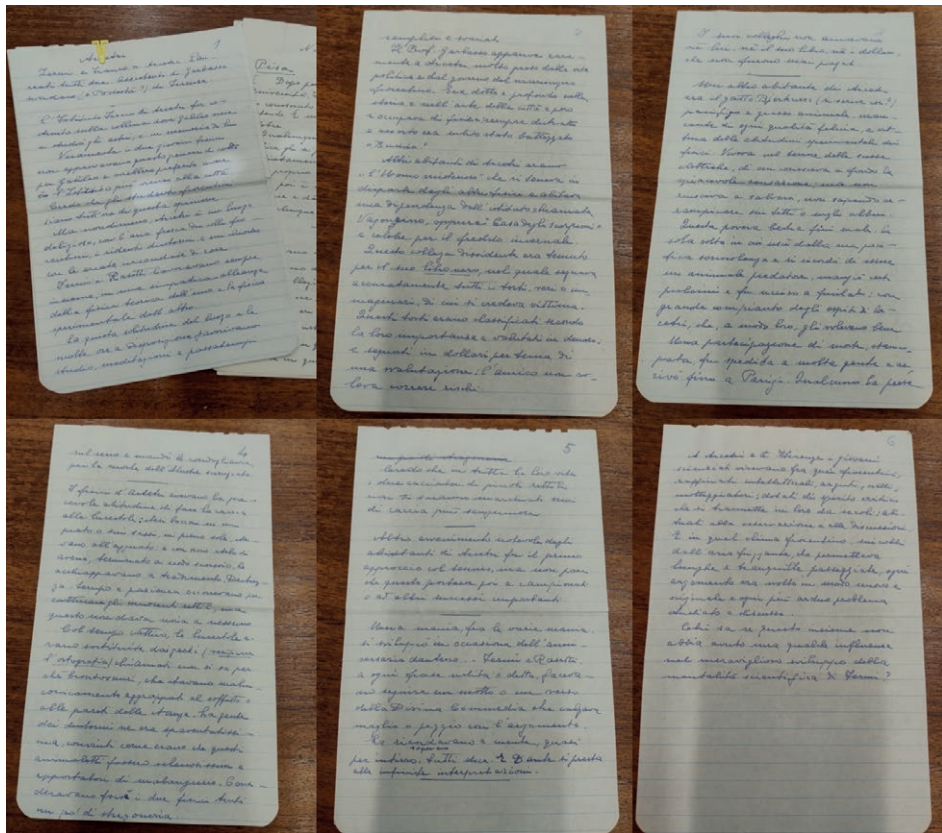


Foto della lettera (in sei pagine) di Adele Galeotti Rasetti a Laura Fermi, conservata presso la Biblioteca dell'Università di Chicago. La lettera è riprodotta con l'autorizzazione della Biblioteca e per gentile concessione dell'avvocato Gianluigi Cecchi Aglietti.

Photo of the letter (six pages) from Adele Galeotti Rasetti to Laura Fermi, kept in the Library of the University of Chicago. The letter is reproduced with the permission of the Library and courtesy of Gianluigi Cecchi Aglietti

ist, took no interest in that little world. He did, however, keep his eyes on the ground, ready to withdraw his wand as soon as the little head of a gecko popped up; but in the meantime he let his mind wander, and mulled over Pauli's principle. From his subconscious emerged the factor he had been missing: two atoms of a gas cannot have exactly the same velocity, or, as physicists say, in each of the quantum states possible for the atoms of a perfect monoatomic gas there can only be one atom. Having formulated this principle, Fermi was able to comprehensively interpret the behaviour of the gas. This work of his, known as Fermi's statistics, was applied by various authors to the interpretation of a number of phenomena, including the thermal and electrical conduction of metals.

This publication by Fermi had just come out when Corbino put forward a proposal to the Faculty to establish a new chair in theoretical physics, a proposal that was favourably received. The competition was announced in the summer of 1926, and this time Fermi won.

This brought Fermi's stay in Florence to an end, with his departure for Rome and the assignment of the chair in theoretical physics. The fraternal relationship that bound him to Rasetti however did not come to an end and soon led Rasetti to Rome, but that is another story.

un gas non possono avere esattamente la stessa velocità, o, come dicono i fisici, in ognuno degli stati quantici possibili agli atomi di un gas perfetto monoatomico ci può essere un atomo solo. Formulato questo principio, Fermi poté interpretare esaurientemente il comportamento del gas. Questo suo lavoro, noto come statistica di Fermi, fu a sua volta applicato da diversi autori all'interpretazione di vari fenomeni, fra cui la conduzione termica ed elettrica dei metalli.

Era appena uscita questa pubblicazione di Fermi, quando Corbino avanzò in Facoltà la proposta di istituire una nuova cattedra di fisica teorica, proposta che fu accolta favorevolmente. Il concorso fu bandito nell'estate del 1926, e questa volta Fermi riuscì primo.

Si chiude così la permanenza di Fermi a Firenze, con la partenza per Roma e l'assegnazione della cattedra di fisica teorica. Non si chiuderà, invece, il rapporto fraterno che lo lega a Rasetti e che porterà ben presto anche quest'ultimo a Roma, ma questa, è un'altra storia.

Note

¹ Laura Capon Fermi (Roma, 16 giugno 1907 - Chicago, 26 dicembre 1977), scrittrice. Su di lei: Sandra Linguerri, "Capon Fermi Laura", in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/1193-capon-fermi-laura>> (ultimo accesso: 30/10/2024).

² Così descrive la sua attività di scrittura la narratrice del racconto inedito di Laura Fermi *Mother takes to writing*. In base ad altri dettagli del racconto è ragionevole pensare che l'au-

Notes

¹ Laura Capon Fermi (Rome, 16 June 1907 - Chicago, 26 December 1977), writer. About her: Sandra Linguerri, "Capon Fermi Laura", in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/1193-capon-fermi-laura>> (last access: 30/10/2024).

² This is how the narrator of Laura Fermi's unpublished story *Mother takes to writing* describes her writing activity. Based on other details in the story, we can reasonably assume that the author is describing her personal experience. V. Fermi, Laura. Papers, [box 5, folder 12], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

³ Adele Galeotti Rasetti (Narni, 8 January 1870 - Pozzuolo Umbro, 1972), painter. About her: Andrea Baffoni, *Adele Galeotti Rasetti. Vita e opere di un'allieva di Giovanni Fattori*, San Sisto (Perugia), EFFE Fabrizio Fabbri editore, 2011.

⁴ Franco Rasetti (Pozzuolo Umbro, 10 August 1901 - Waremm, 5 December 2001), physicist, palaeontologist and botanist.

To gain an idea of Rasetti's contribution to the field of nuclear physics, we must refer to the studies of radioactivity carried out by Enrico Fermi's group in Via Panisperna. Rasetti is also known for his individual contribution to the measurement of the "mean life" of the fundamental (and unstable, therefore subject to gentle decay) particle known today as the muon, the properties of which are precisely described by the Standard Model theory. With the article "Disintegration of slow mesotrons", in 1941

trice stia riportando la sua esperienza personale. V. Fermi, Laura. Papers, [busta 5, cartella 12], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

³ Adele Galeotti Rasetti (Narni, 10 agosto 1901 - Pozzuolo Umbro, 1972), pittrice. Su di lei: Andrea Baffoni, *Adele Galeotti Rasetti. Vita e opere di un'allieva di Giovanni Fattori*, San Sisto (Perugia), EFFE Fabrizio Fabbri editore, 2011.

⁴ Franco Rasetti (Pozzuolo Umbro, 10 agosto 1901 - Waremmes, 5 dicembre 2001), fisico, paleontologo e botanico.

Per avere un'idea dell'apporto di Rasetti al campo della fisica nucleare, bisogna senza dubbio fare riferimento agli studi della radioattività eseguiti presso via Panisperna nel gruppo di Enrico Fermi. Rasetti è noto anche per il suo contributo individuale alla misura del tempo di "vita media" della particella fondamentale (ed instabile, quindi soggetta a decadimento debole) oggi nota come muone, le cui proprietà sono precisamente descritte dalla teoria del Modello Standard. Con l'articolo "Disintegration of slow mesotrons", nel 1941 Rasetti fornisce la prima misura della vita media del muone, con un valore di 1,5 microsecondi ed un errore del 20%. All'epoca la natura di tale particella, detta allora "mesotrone", non era ancora ben compresa e venne poi chiarita dal celebre esperimento di Conversi, Pancini e Piccioni nel 1946. Oggi, curiosamente, la misura di altissima precisione della vita media del muone (circa 2,2 microsecondi) viene utilizzata per determinare la famosa costante di Fermi (uno dei parametri di input del Modello Standard).

Alla sua figura sono attualmente dedicati, in lingua italiana, due studi biografici: Cristiano Buttarò, Arcangelo Rossi, *Franco Rasetti. Una biografia scientifica*, Roma, Aracne, 2007 e, inoltre: Valeria Del Gamba, *Il ragazzo di via Panisperna. L'avventurosa vita del fisico Franco Rasetti*, Torino, Bollati Boringhieri, 2007.

Molto ricco di informazioni anche il sito dell'Associazione Franco Rasetti: <<https://www.francorasetti.it/rasetti.asp>> (ultimo accesso: 30/10/2024).

Rasetti provided the first measurement of the average lifetime of the muon, with a value of 1.5 microseconds and an error of 20%. At the time, the nature of this particle, then called the "mesotron", was not yet well understood, and was later clarified by the famous experiment of Conversi, Pancini and Piccioni in 1946. Today, oddly enough, the high-precision measurement of the muon's average lifetime (approximately 2.2 microseconds) is used to determine the famous Fermi constant (one of the input parameters of the Standard Model).

Two biographical studies in Italian are currently dedicated to him: Cristiano Buttarò, Arcangelo Rossi, *Franco Rasetti. Una biografia scientifica*, Rome, Aracne, 2007 and also: Valeria Del Gamba, *Il ragazzo di via Panisperna. L'avventurosa vita del fisico Franco Rasetti*, Turin, Bollati Boringhieri, 2007. The website of the Franco Rasetti Association is also packed with information: <<https://www.francorasetti.it/rasetti.asp>> (last access: 30/10/2024).

⁵ Enrico Fermi (Rome, 29 September 1901 - Chicago, 28 November 1954), physicist, winner of the Nobel Prize in 1938. For his biographical story, in addition to the novel *Atoms in the family* written by his wife Laura and published in Italy under the title *Atomi in famiglia* by Mondadori in 1954, the most comprehensive work to date is: David N. Schwartz, *Enrico Fermi. L'ultimo uomo che sapeva tutto*, Milan, Solferino, 2018.

⁶ Herbert Lawrence Anderson (New York, 24 May 1914 - Los Alamos, 16 July 1988), electronic engineer and physicist. He met Fermi during his doctorate and became one of his closest collaborators, contributing to the construction of the first atomic battery. He too later moved to Los Alamos to continue the research relating to the Manhattan Project. For a brief biography, see his personal profile

⁵ Enrico Fermi (Roma, 29 settembre 1901 - Chicago, 28 novembre 1954), fisico, vincitore del premio Nobel nel 1938. Per la sua vicenda biografica, oltre al romanzo *Atomi in famiglia* scritto dalla moglie Laura e pubblicato in Italia da Mondadori nel 1954, l'opera ad oggi più esaustiva è costituita da: David N. Schwartz, *Enrico Fermi. L'ultimo uomo che sapeva tutto*, Milano, Solferino, 2018.

⁶ Herbert Lawrence Anderson (New York, 24 maggio 1914 - Los Alamos, 16 luglio 1988), ingegnere elettronico e fisico. Conobbe Fermi durante il dottorato e divenne uno dei suoi più stretti collaboratori, contribuendo alla costruzione della prima pila atomica. Successivamente si trasferì anche lui a Los Alamos per la prosecuzione delle ricerche inerenti il progetto Manhattan. Per una biografia sintetica si veda la sua scheda personale sul sito dell'Atomic Heritage Foundation: <https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/herbert-l-anderson/> (ultimo accesso: 30/10/2024).

⁷ Laura Fermi, *Atomi in famiglia*, Milano, Mondadori, 1954, p. 183-185.

⁸ Giovanni Fattori (Livorno, 6 settembre 1825 - Firenze, 30 agosto 1908), pittore e incisore, caposcuola della corrente dei Macchiaioli. Su di lui: Dario Durbè, "Fattori Giovanni", in *Dizionario biografico degli italiani*, <[https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_\(Dizionario-Biografico\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_(Dizionario-Biografico)/)> (ultimo accesso: 30/10/2024).

⁹ Andrea Baffoni, *op. cit.*, p. 6.

¹⁰ Si tratta di: Enrico Fermi, *Fisica. Ad uso dei licei*, Bologna, Zanichelli, 1929.

¹¹ Ginestra Giovane Amaldi (Napoli, 1911 - Roma, 1944), laureata in fisica e divulgatrice. Su di lei: Miriam Focaccia, "Giovane Amaldi Ginestra", in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/879-giovene-amaldi-ginestra>> (ultimo accesso: 30/10/2024).

¹² Ginestra Amaldi, Laura Fermi, *Alchimia del tempo nostro*, Milano, Hoepli, 1936.

¹³ È quanto farebbe pensare la dicitura "last assignment" presente sulla prima pagina del racconto *Rebellion*. La presenza di un revisore dei racconti di Laura Fermi o comunque di

on the Atomic Heritage Foundation website: <<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/herbert-l-anderson/>> (last access: 30/10/2024).

⁷ Laura Fermi, *Atomi in famiglia*, Milan, Mondadori, 1954, p. 183-185.

⁸ Giovanni Fattori (Livorno, 6 September 1825 - Florence, 30 August 1908), painter and engraver, leader of the Macchiaioli school. About him: Dario Durbè, "Fattori Giovanni", in *Dizionario biografico degli italiani*, <[https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_\(Dizionario-Biografico\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_(Dizionario-Biografico)/)> (last access: 30/10/2024).

⁹ Andrea Baffoni, *op. cit.*, p. 6.

¹⁰ They are Enrico Fermi, *Fisica. Ad uso dei licei*, Bologna, Zanichelli, 1929.

¹¹ Ginestra Giovane Amaldi (Naples, 1911 - Rome, 1944), a physics graduate and communicator. About her: Miriam Focaccia, "Giovane Amaldi Ginestra", in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/879-giovene-amaldi-ginestra>> (last access: 30/10/2024).

¹² Ginestra Amaldi, Laura Fermi, *Alchimia del tempo nostro*, Milan, Hoepli, 1936.

¹³ This is what the words "last assignment" on the first page of the short story *Rebellion* would suggest. The presence of a reviewer of Laura Fermi's short stories or of an interlocutor to whom the typescripts were submitted, could also be supported by the handwritten note on the first page of the same story: "If mailing after September 7, please address to 5327 University Avenue, Chicago, Ill". V. Fermi, Laura. Papers, [box 5, folder 13], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

¹⁴ For a reproduction of the drawing: Andrea Baffoni, *op. cit.*, p. 52.

un interlocutore a cui venivano sottoposti i dattiloscritti potrebbe essere suffragata anche dall'appunto manoscritto riportato sempre sulla prima pagina dello stesso racconto: "If mailing after September 7, please address to 5327 University Avenue, Chicago, Ill". V. Fermi, Laura. Papers, [busta 5, cartella 13], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

¹⁴ Per una riproduzione del disegno: Andrea Baffoni, *op. cit.*, p. 52.

¹⁵ Maria era la sorella maggiore di Fermi, nata nel 1899, v. Laura Fermi, *Atomi*, cit., p. 23.

¹⁶ Edoardo Amaldi (Carpaneto Piacentino 5 settembre 1908 - Roma 5 dicembre 1989) Su di lui: Giovanni Battimelli, "Edoardo Amaldi" in *Enciclopedia Treccani*, <[https://www.treccani.it/enciclopedia/edoardo-amaldi_\(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze\)/>](https://www.treccani.it/enciclopedia/edoardo-amaldi_(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze)/>) (ultimo accesso: 31/10/2024).

¹⁷ Per una ricostruzione del periodo fiorentino di Enrico Fermi si veda: Roberto Casalbuoni, Daniele Dominici, Giuseppe Pelosi (a cura), *Enrico Fermi a Firenze. Le Lezioni di Meccanica Razionale al biennio propedeutico agli studi di Ingegneria 1924-1926*, Firenze, Firenze University Press, 2019. <<https://doi.org/10.36253/978-88-6453-960-7>>. Inoltre: Daniele Dominici, "Enrico Fermi in Florence and the birth of the school in Arcetri", *Il colle di Galileo*, vol. 9 (2020), n. 1, p. 13-34, <<https://doi.org/10.36253/cdg-11643>> (ultimo accesso: 30/10/2024).

¹⁸ Laura Fermi, *Atomi*, p. 77-81. La pubblicazione citata dall'autrice è: Enrico Fermi, "Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico", *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali*, serie 6, vol. 3 (1926), p. 145-149.

¹⁹ Ivi, p. 48-49.

¹⁵ Maria was Fermi's older sister, born in 1899, see Laura Fermi, *Atoms* cit., p. 23.

¹⁶ Edoardo Amaldi (Carpaneto Piacentino 5 September 1908 - Rome 5 December 1989) About him: Giovanni Battimelli, "Edoardo Amaldi" in *Enciclopedia Treccani*, <[https://www.treccani.it/enciclopedia/edoardo-amaldi_\(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze\)/>](https://www.treccani.it/enciclopedia/edoardo-amaldi_(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze)/>) (last access: 31/10/2024).

¹⁷ For a reconstruction of Enrico Fermi's Florentine period see: Roberto Casalbuoni, Daniele Dominici, Giuseppe Pelosi (eds.), *Enrico Fermi a Firenze. Le Lezioni di Meccanica Razionale al biennio propedeutico agli studi di Ingegneria 1924-1926*, Florence, Firenze University Press, 2019. Also available online: 10.36253/978-88-6453-960-7. Moreover: Daniele Dominici, "Enrico Fermi in Florence and the birth of the school in Arcetri", *Il colle di Galileo*, vol. 9(2020), n. 1, p. 13-34, <<https://doi.org/10.36253/cdg-11643>> (last access: 30/10/2024).

¹⁸ Laura Fermi, *Atomi*, p. 77-81. The publication cited by the author is: Enrico Fermi, "Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico", *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali*, series 6, vol. 3 (1926), pp. 145-149.

¹⁹ Ibid, page 48- 49.

Bibliographic references and Websites

Amaldi Ginestra and Fermi Laura. *Alchimia del tempo nostro*. Milan: Hoepli, 1936.
Associazione - Franco Rasetti. <https://www.francorasetti.it/rasetti.asp>. Consulted 30 October 2024.

Riferimenti bibliografici e siti Internet

- Amaldi, Ginestra e Fermi Laura. *Alchimia del tempo nostro*. Milano: Hoepli, 1936. Associazione - Franco Rasetti. <<https://www.francorasetti.it/rasetti.asp>>. Consultato 30 ottobre 2024.
- Baffoni, Andrea. *Adele Galeotti Rasetti: vita e opere di un'allieva di Giovanni Fattori*. San Sisto: EFFE, 2011.
- Casalbuoni, Roberto, Dominici Daniele, Pelosi Giuseppe (a cura). *Enrico Fermi a Firenze: le «Lezioni di Meccanica Razionale» al biennio propedeutico agli studi di Ingegneria 1924-1926*. Firenze: Firenze University Press, 2014.
- Del Gamba, Valeria. *Il ragazzo di via Panisperna: l'avventurosa vita del fisico Franco Rasetti*. Torino: Bollati Boringhieri, 2007.
- Dominici, Daniele. «Enrico Fermi in Florence and the Birth of the School in Arcetri». *Il Colle Di Galileo*, vol. 9, n. 1, maggio 2020, pp. 13-34. <https://doi.org/10.36253/cdg-11643>.
- Durbè, Dario. «Fattori Giovanni» in *Dizionario Biografico degli italiani*, <[https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_\(Dizionario-Biografico\)/>](https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_(Dizionario-Biografico)/>). Consultato 30 ottobre 2024.
- Fermi, Enrico. «Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico». *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali*, serie 6, vol. 3 (1926), pp. 145-149.
- Fermi, Enrico. *Fisica: ad uso dei licei*. Bologna: Zanichelli, 1929.
- Fermi, Laura. *Atomi in famiglia: la mia vita con Enrico Fermi*. Milano: Mondadori, 1954.

- Baffoni, Andrea. *Adele Galeotti Rasetti: vita e opere di un'allieva di Giovanni Fattori*. San Sisto: EFFE, 2011.
- Casalbuoni Roberto, Dominici Daniele, Pelosi Giuseppe (eds). *Enrico Fermi a Firenze: le «Lezioni di Meccanica Razionale» al biennio propedeutico agli studi di Ingegneria 1924-1926*. Florence: Firenze University Press, 2014.
- Del Gamba Valeria. *Il ragazzo di via Panisperna: l'avventurosa vita del fisico Franco Rasetti*. Turin: Bollati Boringhieri, 2007.
- Dominici Daniele. «Enrico Fermi in Florence and the Birth of the School in Arcetri». *Il Colle Di Galileo*, vol. 9, n. 1, May 2020, pp. 13-34. <https://doi.org/10.36253/cdg-11643>.
- Durbè Dario. "Fattori Giovanni" in *Dizionario biografico degli italiani*, <[https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_\(Dizionario-Biografico\)/>](https://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-fattori_(Dizionario-Biografico)/>). Consulted 30 October 2024.
- Fermi Enrico. «Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico». *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti. Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali*, series 6, vol. 3 (1926), pp. 145-149.
- Fermi Enrico. *Fisica: ad uso dei licei*. Bologna: Zanichelli, 1929.
- Fermi Laura. *Atomi in famiglia: la mia vita con Enrico Fermi*. Milan: Mondadori, 1954.
- Focaccia Miriam. «Giovane Amaldi Ginestra» in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/879-giovane-amaldi-ginestra>>. Consulted 30 October 2024.

- Focaccia, Miriam. «Giovane Amaldi Ginestra» in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/879-giovane-amaldi-ginestra>>. Consultato 30 ottobre 2024.
- «Herbert L. Anderson». in *Atomic Heritage Foundation*, <<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/herbert-l-anderson/>>. Consultato 30 ottobre 2024.
- Francorasetti.it*. Associazione Franco Rasetti, <<https://www.francorasetti.it/rasetti.asp>>. Consultato 30 ottobre 2024.
- Linguerri, Sandra. «Capon Fermi Laura», in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/1193-capon-fermi-laura>>. Consultato 30 ottobre 2024.
- Rasetti, Franco. «Disintegration of Slow Mesotrons». *Physical Review*, vol. 60, n. 3, agosto 1941, pp. 198-204. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.60.198>.
- Rossi, Arcangelo e Cristiano Buttarò. *Franco Rasetti: una biografia scientifica*. Roma: Aracne, 2007.
- Schwartz, David N. *Enrico Fermi: l'ultimo uomo che sapeva tutto*. Milano: Solferino, 2017.

Documenti d'archivio

- Fermi, Laura. Papers, [busta 1, cartella 2, lettera manoscritta di Adele Galeotti Rasetti], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

- «Herbert L. Anderson». in *Atomic Heritage Foundation*, <<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/herbert-l-anderson/>>. Consulted 30 October 2024.
- Francorasetti.it*. Associazione Franco Rasetti, <<https://www.francorasetti.it/rasetti.asp>> . Consulted 30 October 2024.
- Linguerri Sandra. «Capon Fermi Laura», in *Scienza a due voci. Le donne nella scienza italiana dal Settecento al Novecento*, <<https://scienzaa2voci.unibo.it/biografie/1193-capon-fermi-laura>>. Consulted 30 October 2024.
- Rasetti Franco. «Disintegration of Slow Mesotrons». *Physical Review*, vol. 60, n. 3, August 1941, pp. 198-204. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.60.198>.
- Rossi Arcangelo and Cristiano Buttarò. *Franco Rasetti: una biografia scientifica*. Rome: Aracne, 2007.
- Schwartz, David N. *Enrico Fermi: l'ultimo uomo che sapeva tutto*. Milan: Solferino, 2017.

Archive Documents

- Fermi Laura. Papers, [box 1, folder 2, typed letter by Adele Galeotti Rasetti], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.
- Fermi Laura. [box 5, folder 12, manuscript *Mother Takes to Writing*], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

Fermi, Laura. [busta 5, cartella 12, dattiloscritto *Mother Takes to Writing*], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

Fermi, Laura. [busta 5, cartella 13, dattiloscritto *Rebellion*], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.

Fermi Laura. [box 5, folder 13, manuscript *Rebellion*], Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, University of Chicago Library.



I raggi cosmici tornano a Firenze

Cosmic rays return to Florence

Piero Spillantini

Università degli Studi di Firenze e INFN Sezione di Firenze, Italia

Riassunto. Ho voluto raccontare la mia storia da scienziato, fatta anche di incontri fortuiti e coincidenze, che ha portato negli ultimi decenni il ritorno della ricerca sui raggi cosmici a Firenze. In questo viaggio si intrecciano fatti personali, passioni, condivisioni di idee e progetti, oltre a fatti geopolitici ben noti, che hanno contribuito allo sviluppo della scienza delle *astro-particelle* nel luogo dove circa un secolo fa lavorarono i primi pionieri di questo settore.

Parole chiave: Arcetri, raggi cosmici, antimateria, spazio.

Cento anni fa la cosiddetta “fisica moderna” arrivava anche in Italia per merito soprattutto di due giovani neolaureati romani: Enrico Fermi ed Enrico Persico. Prima fu Fermi ad essere chiamato all’istituto di fisica della appena fondata università di Firenze e subito dopo anche Persico. Essi furono ingaggiati a Firenze dal prof. Antonio Garbasso che reclutava i migliori giovani fisici nel nuovo istituto di fisica da poco costruito sulla collina di Arcetri, mentre a Roma i giovani fisici che si stavano formando erano reclutati, nell’istituto di via Panisperna, dal Prof. Orso Mario Corbino.

A Firenze l’attività di ricerca si concentrò presto sullo studio dei raggi cosmici su proposta di Bruno Rossi chiamato da Bologna. Lo sviluppo di nuovi strumenti ed importanti risultati sperimentali ottenuti a Firenze lasciarono il segno nella storia dei raggi cosmici e l’attività si diffuse in altri istituti italiani. Purtroppo,

Abstract. I wanted to tell my story as a scientist, made up also of chance meetings and coincidences, which has led to the return of cosmic ray research to Florence in recent decades. This journey encompasses the combination of personal facts, passions, shared ideas and projects, as well as well-known geopolitical events that have contributed to the development of *astro-particle* science in the place where the first pioneers of this field worked nearly a century ago.

Keywords: Arcetri, cosmic rays, antimatter, space.

One hundred years ago, so-called “modern physics” arrived in Italy thanks mainly to two young graduates from Rome: Enrico Fermi and Enrico Persico. The first to be called to the physics institute of the newly founded university of Florence was Fermi, and soon afterwards he was joined by Persico. They were engaged in Florence by Prof. Antonio Garbasso, who was recruiting the finest young physicists for the new physics institute that had recently been built

a Firenze l'attività di ricerca sui raggi cosmici rimase poco sia per la migrazione delle persone sia per il clima politico locale e le leggi razziali¹. Dopo la Seconda guerra mondiale le attività dell'istituto si indirizzarono principalmente allo studio delle reazioni nucleari nelle emulsioni nucleari² e negli esperimenti a Legnaro ed al CERN.

La storia che voglio raccontare ebbe inizio nel 1979, più di cinquant'anni dopo i pionieristici lavori sui raggi cosmici, grazie al seminario del prof. Peter Kirali ai Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) dove allora lavoravo. Erano stati rivelati antiprotoni nel flusso delle particelle che compongono i raggi cosmici, solo una manciata ma più di quelli attesi. Queste prime osservazioni ponevano delle domande fondamentali: l'Universo è composto di sola materia od anche di antimateria? E quest'ultima dove si trova? Qual era la sua origine? La misura del flusso degli antiprotoni in funzione della loro energia era divenuta una misura fondamentale da fare.

Valutai che concentrando con una lente magnetica gli antiprotoni su un calorimetro tracciante si sarebbe potuto misurare il loro flusso fino ad energie almeno un ordine di grandezza superiori a quella degli antiprotoni rivelati fino ad allora.

Riguardo alle lenti magnetiche ero già noto all'epoca perché le proponevo per tutte le possibili applicazioni: fin dal 1972 con il magnete toroidale per Adone³, le lenti magnetiche per l'esperimento FRAMM all'area nord dello SPS del CERN⁴, con Giorgio Bellettini agli Intersecting Storage Rings (ISR)⁵, per la collimazione dei fasci di neutrini ed anche per i rivelatori attorno alle zone di interazione agli anelli di accumulazione. E per gli antiprotoni cosmici quale applicazione miglio-

on Arcetri hill, while, in Rome, the young physicists who were being trained were recruited for the institute in Via Panisperna by Prof. Orso Mario Corbino.

The research activity carried out in Florence soon focused on the study of cosmic rays at the suggestion of Bruno Rossi, who had been called from Bologna. The development of new instruments and important experimental results obtained in Florence left their mark on the history of cosmic rays, and the activity spread to other Italian institutes. Unfortunately, little cosmic ray research took place in Florence due to both the migration of people and the local political climate and racial laws¹. After the Second World War, the institute's activities were focused mainly on the study of nuclear reactions in nuclear emulsions² and experiments at Legnaro and CERN.

The story I want to tell began in 1979, more than fifty years after the pioneering work on cosmic rays, thanks to Prof. Peter Kirali's seminar at the Frascati National Laboratories (LNF) where I was working at the time. Antiprotons had been revealed in the cosmic ray particle stream, only a handful but more than expected. These early observations raised fundamental questions: is the Universe made up of matter alone or also of antimatter? And where is the latter? What was its origin? Measuring the flux of antiprotons according to their energy had become a fundamental measurement to take.

I considered that concentrating the antiprotons on a tracer calorimeter with a magnetic lens would allow the measurement of their flux up to energies at least one order of magnitude higher than that of the antiprotons revealed up until then.

re di una lente magnetica per concentrare gli antiprotoni in un calorimetro tracciante per identificarli tramite la loro annichilazione? Anche per il calorimetro tracciante l'occasione era buona!

Proprio in quel periodo ai LNF si stavano sviluppando i tubi a streamer, i cosiddetti "tubi di Iarocci", che si usavano in molti esperimenti sia agli acceleratori sia in esperimenti passivi (per esempio per studiare la stabilità del protone e misurare i raggi cosmici nei laboratori sotterranei). Certamente bisognava farne di più densi di quelli fino ad ora sviluppati a Frascati affinché si potesse contenere l'annichilazione degli antiprotoni ed a Firenze si stavano realizzando dei rivelatori in ottone per il calorimetro tracciante⁶ del *barrel* dell'esperimento L3.

C'erano quindi i componenti adatti per un possibile esperimento da portare ad alta quota in atmosfera su un pallone stratosferico.

Per la costruzione della lente magnetica poteva contribuire il Laboratorio Magnetico dei LNF e M. Spadoni, in quel laboratorio, progettò una lente magnetica con cavo superconduttore a sei spire, relativamente leggera, che poteva funzionare con una riserva di 120 litri di elio liquido per tutte le 24 ore del volo e le prove a terra.

Il progetto dell'apparato sperimentale (Figura 1) coinvolse colleghi dei LNF e dell'istituto di fisica dell'Università "La Sapienza" di Roma e, come vedremo, fu importante per convincere il gruppo di lavoro della NASA ad includere la lente magnetica nelle possibili configurazioni da considerare per la *facility* magnetica per raggi cosmici a bordo della stazione spaziale "Freedom".

Vale la pena raccontare come ciò avvenne. Si trattò di eventi non correlati tra loro, alcuni anche personali, che ebbero alla fine un risultato positivo ed inatte-

As far as magnetic lenses are concerned, I was already well known at the time because I was presenting them for all possible applications: as early as 1972 with the toroidal magnet for Adone³, magnetic lenses for the FRAMM experiment at CERN's SPS North Area⁴, with Giorgio Bellettini at the Intersecting Storage Rings (ISR)⁵, for the collimation of neutrino beams and also for detectors around the interaction zones at the storage rings. And for cosmic antiprotons, what better application than a magnetic lens to concentrate antiprotons in a tracer calorimeter to identify them by their annihilation? It was a perfect opportunity for the tracer calorimeter too!

It was at this time that streamer tubes, also known as "Iarocci tubes", were being developed at the LNF. These were used in many experiments both at accelerators and in passive experiments (e.g. to study proton stability and measure cosmic rays in underground laboratories). It was of course necessary to make them denser than those previously developed in Frascati in order to contain the annihilation of antiprotons, and brass detectors were being made in Florence for the tracer calorimeter⁶ of the L3 experiment barrel.

So, the components needed for a possible experiment, to be taken to high altitude in the atmosphere on a stratospheric balloon, existed.

The LNF's Magnet Laboratory could contribute to the construction of the magnetic lens and, in that laboratory, M. Spadoni designed a magnetic lens with a six-coil superconducting wire, which was relatively light and could operate with a reserve of 120 litres of liquid helium for the entire 24-hour flight and ground tests.

so. Come proponente dell'esperimento L3 per il "Large Electron-Positron Collider" (LEP) al CERN ero membro del comitato esecutivo di L3 e partecipavo alle riunioni. In una riunione del 1984 a Brookhaven in concomitanza con una riunione della commissione IUPAP (The International Union of Pure and Applied Physics) ebbi l'occasione di illustrare a Tom Gaisser, un'autorità nel campo dei raggi cosmici, l'apparato che si stava studiando a Frascati per la misura del flusso di antiprotoni nei raggi cosmici. Credo che gli piacque, tant'è che telefonò al

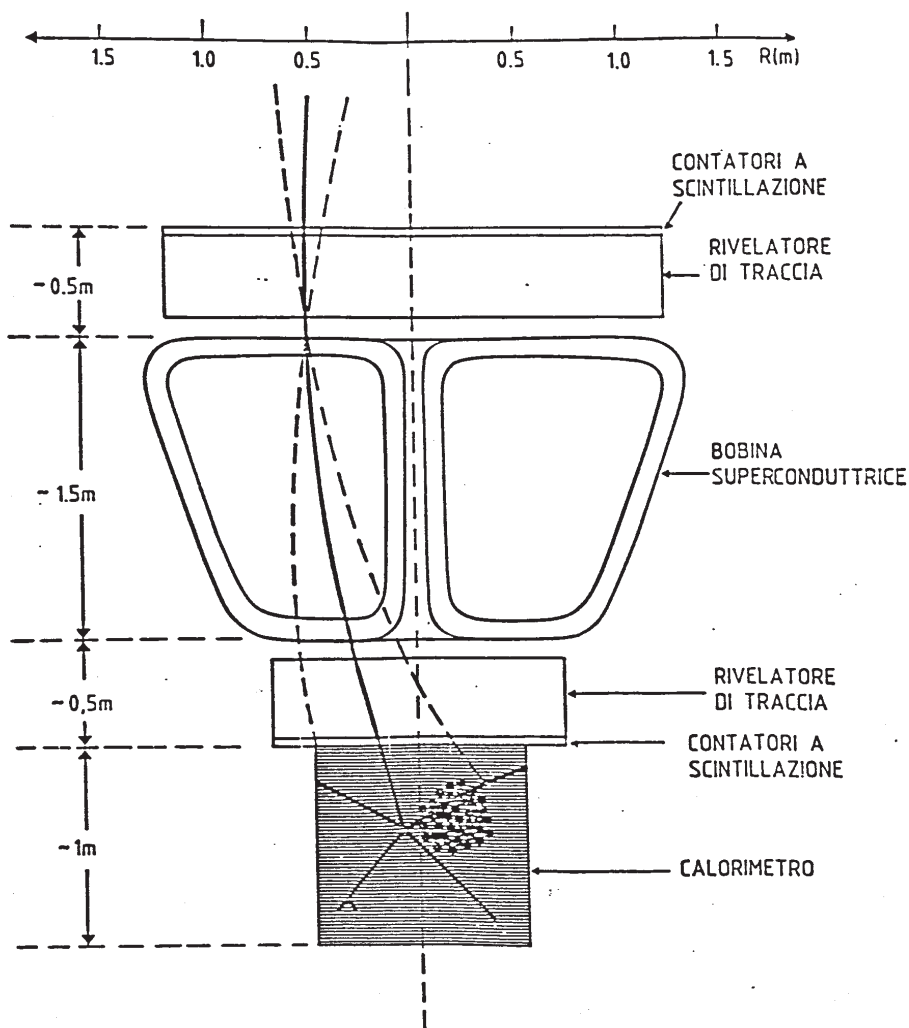


Figura 1. Vista schematica dello spettrometro magnetico per la misura del flusso di antiprotoni (da P. Spillantini, 'MASS: uno spettrometro spaziale per materia e antimateria', Il Nuovo Saggiatore, 3*1985*1 pag. 21).

Figure 1. Schematic view of the magnetic spectrometer for measuring the flux of antiprotons (from P. Spillantini, 'MASS: uno spettrometro spaziale per materia e antimateria', Il Nuovo Saggiatore, 3*1985*1 pag. 21).

Dr. Jonathan Ormes del Goddard Space Flight Center della NASA procurandomi un appuntamento con lui alla Crystal City di fronte all'aeroporto National di Washington per le ore dodici del giorno successivo, approfittando del fatto che la sera sarei partito per l'Italia e avrei avuto il tempo per la necessaria deviazione New York – Washington – New York.

Il Dr. Ormes apprezzò l'idea della lente magnetica per concentrare gli antiprotoni su un calorimetro tracciante per visualizzare la loro annichilazione. Inoltre, proprio per il fatto che avevo criticato il progetto magnetico alla 'anti-Helmoltz' che stavano studiando, mi cooptò nel gruppo di lavoro organizzato dalla NASA per la definizione della *facility* magnetica.

Essa costituiva lo strumento chiave per gli esperimenti sui raggi cosmici da installare sulla stazione spaziale "Freedom" allora in preparazione per essere costruita in orbita attorno alla Terra nel 1992, cioè in occasione del cinquecentenario della scoperta del continente americano da parte di Cristoforo Colombo. Cose da capogiro che di spazio, stazioni spaziali e rivelatori per raggi cosmici da farci volare sopra non avevo mai sentito parlare e per me fino ad allora i raggi cosmici erano particelle che venivano dall'alto e si usavano per controllare e tarare gli strumenti.

Rientrato in Italia andai subito a parlarne con il prof. Luciano Guerriero responsabile del Piano Nazionale per lo Spazio del CNR (divenuto poi ASI, Agenzia Spaziale Italiana). Il prof. Guerriero è un fisico delle particelle che avevo conosciuto a Padova in occasione delle riunioni del gruppo LNF-Padova di cui facevo allora parte. Egli capì l'importanza dell'invito di Ormes, ne fu anzi entusiasta e

The design of the experimental apparatus (Figure 1) involved colleagues from the LNF and the physics institute of Rome's "La Sapienza" University and, as we shall see, was important in convincing the NASA team to include the magnetic lens in the possible configurations to be considered for the cosmic ray magnetic facility on board the "Freedom" space station.

It is worth mentioning how this came about. It was a series of unrelated events, some of which were personal, that ended up having a positive and unexpected outcome. Having proposed the L3 experiment for the "Large Electron-Positron Collider" (LEP) at CERN, I was a member of the L3 executive committee and attended meetings. At a meeting in Brookhaven in 1984, in conjunction with a meeting of the IUPAP commission (The International Union of Pure and Applied Physics), I had the opportunity to explain the apparatus that was being studied in Frascati for measuring the flux of antiprotons in cosmic rays to Tom Gaisser, an authority in the field of cosmic rays. I think he liked it, so much so that he phoned Dr. Jonathan Ormes of NASA's Goddard Space Flight Center and arranged an appointment with him at Crystal City opposite Washington's National Airport for 12 noon the next day, taking advantage of the fact that I was leaving for Italy in the evening and would have time for the necessary New York - Washington - New York detour.

Dr. Ormes liked the idea of the magnetic lens to focus the antiprotons on a tracer calorimeter to display their annihilation. Moreover, precisely because I had criticised the "anti-Helmoltz" magnetic design they were studying, he co-opted me into the team organised by NASA to define the magnetic facility

mi supportò per la partecipazione in USA alle riunioni del gruppo di lavoro. Al gruppo di lavoro proposi lo studio di una *facility* basata sulla proposta MASS per un volo su pallone stratosferico⁷ con lettera⁸ a Thomas Cline dell'amministrazione NASA a Washington. Il progetto della *facility* fu fatto nei mesi seguenti da F. Rosatelli, S. Valentin e A. Torresi di Ansaldo Ricerche.

La collaborazione con l'Ansaldo Ricerche ebbe a che fare inaspettatamente con un evento del tutto privato: l'acquisto dell'appartamento che avevo in affitto a Roma. Il proprietario era l'ing. Salvatore Rebecchini, noto sindaco di Roma dal 1946 al 1956 (ovviamente io non lo sapevo). Per definire l'acquisto egli mi mandò da suo figlio ing. Francesco Rebecchini, all'epoca sottosegretario all'industria, cui ebbi il piacere di raccontare di me, del mio lavoro e tra l'altro accennare al progetto di un esperimento con l'uso di un magnete superconduttore. Egli mi invitò a parlarne all'ing. Sergio Barabaschi all'epoca presidente della Ansaldo Ricerche. Con l'ing. Barabaschi fui probabilmente molto convincente perché immediatamente mi promise la collaborazione dell'Ansaldo e di dedicare al progetto del magnete l'ing. Franco Rosatelli, il più brillante dei suoi giovani collaboratori. Il progetto che Rosatelli e i suoi collaboratori elaborarono era originalissimo: una lente magnetica con solo due spire⁹, progettato in dettaglio e che fu presentato al gruppo di lavoro NASA per la *facility* per i raggi cosmici. Esso fu preso in considerazione accanto a quello della NASA, costituito da una coppia di bobine in configurazione anti-Helmholtz (cioè in geometria Helmholtz ma percorse da correnti elettriche opposte) ed accanto al progetto di un solenoide sottile del giapponese Akira Yamamoto. La partecipazione di Rosatelli alle riunioni di lavoro ottenne anche il

This was the key instrument for the cosmic ray experiments to be installed on the "Freedom" space station that was being prepared at the time to be built in orbit around the Earth in 1992, i.e. on the 500th anniversary of the discovery of the American continent by Christopher Columbus. Mind-boggling things about space, space stations and detectors for cosmic rays to be flown over that I had never heard before, with my understanding until then being that cosmic rays were particles that came from above and were used to control and calibrate instruments.

When I got back to Italy, I immediately went to talk to Prof. Luciano Guerriero who was in charge of the National Space Plan of the CNR (which later became ASI, the Italian Space Agency). Prof. Guerriero is a particle physicist whom I had met in Padua at meetings of the LNF-Padua group of which I was then a member. He understood the importance of Ormes' invitation, was enthusiastic about it and supported me in attending the team meetings in the USA. I proposed the study of a facility based on the MASS proposal for a stratospheric balloon flight⁷ in a letter⁸ to Thomas Cline of the NASA administration in Washington. The facility project was pursued in the months that followed by F. Rosatelli, S. Valentin and A. Torresi from Ansaldo Ricerche.

The collaboration with Ansaldo Ricerche had to do unexpectedly with an entirely private event: the purchase of the flat I was renting in Rome. The owner was Salvatore Rebecchini, a well-known mayor of Rome from 1946 to 1956 (obviously I didn't know). To finalise the purchase he sent me to his son Francesco Rebecchini, under-secretary for industry at the time, with whom I had the pleasure of talking about myself, my work and, among other things, the project for an experiment using a superconducting magnet. He invited me to talk to Sergio Barabaschi, then

risultato che Ansaldo costruì il prototipo di una delle grandi bobine del progetto anti-Helmholtz, che fu inviata a Berkeley per i test.

L'ASI supportò l'impresa dedicandole gli ing. Roberto Ibba e Silvana Rabbia ed il dr. Jean Sabbagh che parteciparono anche ad alcune delle riunioni del gruppo di lavoro a Washington. Per parte mia nel gruppo di lavoro mi trovai benissimo e subito fraternizzai col prof. Robert Golden che gestiva ed usava la "Superconducting Balloon Facility" della NASA per i voli su pallone stratosferico, con i quali il prof. Golden aveva a suo tempo rivelato i primi antiprotoni. Quale miglior occasione per cominciare a fare misure di fisica!

Collaborare con Golden, persona aperta e generosa, fu un vero piacere e cominciò una collaborazione solida e duratura; fu una occasione unica per sviluppare gli strumenti che si stavano progettando per gli esperimenti sulla stazione spaziale ed anche per arruolare i colleghi italiani che li proponevano.

È ben noto il terremoto "geopolitico" del 1991 con la improvvisa ed inaspettata chiusura da parte degli USA sia della costruzione della stazione spaziale "Freedom" sia del super-protosincrotrone di 100 km di diametro in Texas.

Per quanto riguarda la stazione spaziale "Freedom" le collaborazioni che si erano formate per proporre gli esperimenti per la *facility* ASTROMAG non si dispersero¹⁰ e proseguirono il loro lavoro, sia cercando sistemi di messa in orbita alternativi, eventualmente riducendo massa e dimensioni dell'apparato, sia facendo parte della fisica programmata con palloni stratosferici, eventualmente con voli di lunga durata. Le collaborazioni LISA (tutta americana) e SCINATT/MAGIC (giapponese con partecipazione americana) continuarono con voli su palloni

president of Ansaldo Ricerche. I was probably very persuasive with Mr Barabaschi because he immediately promised that Ansaldo would collaborate with me and that Franco Rosatelli, the most brilliant of his young collaborators, would work on the magnet project. The project that Rosatelli and his collaborators came up with was very original: a magnetic lens with just two coils⁹, designed in detail and presented to the NASA team for the cosmic ray facility. It was considered alongside NASA's design of a pair of coils in an anti-Helmholtz configuration (i.e. in Helmholtz geometry but traversed by opposing electric currents) and alongside the Japanese design of a thin solenoid by Akira Yamamoto. Rosatelli's participation in the work meetings also resulted in Ansaldo building the prototype of one of the large coils of the anti-Helmholtz design, which was sent to Berkeley for testing.

The ASI supported the enterprise, appointing Roberto Ibba and Silvana Rabbia and Dr. Jean Sabbagh, who also attended some of the team meetings in Washington, to work on it. For my part, I got on very well with the team and immediately fraternised with Prof. Robert Golden, who managed and used NASA's "Superconducting Balloon Facility" for stratospheric balloon flights, with which Prof. Golden had revealed the first antiprotons. What better opportunity to start taking physics measurements!

Working with Golden, an open and generous person, was a real pleasure and this was the beginning of a solid and lasting collaboration; it was a unique opportunity to develop the instruments that were being designed for experiments on the space station and also to enlist the Italian colleagues who were proposing them.

stratosferici, mentre ad ASTROGAM (esperimento per la rivelazione di sorgenti gamma) poté essere successivamente dedicato il satellite GLAST.

Anche la collaborazione WIZARD, formatasi attorno al prof. Golden, non si disperse ma continuò l'attività con una serie di lanci di palloni stratosferici sia per sviluppare gli strumenti per l'apparato ASTROGAM sia per cominciare a fare misure sui flussi di raggi cosmici. I voli su pallone stratosferico furono otto tra il 1989 ed il 1998 ed appartengono ormai alla storia con risultati, allora di punta, sulla misura del flusso degli antiprotoni e dei positroni ed anche sulla misura del flusso di muoni a varie quote atmosferiche, al tempo molto importanti per verificare i calcoli sui neutrini atmosferici.

Tuttavia, va osservato che l'atmosfera residua a 40 km di quota, cioè la massima raggiungibile da un pallone stratosferico, è tale da produrre già ad una energia di 30 GeV un fondo di antiprotoni secondari in atmosfera superiore al flusso di antiprotoni primari provenienti dal cosmo. Per cui, per la misura del flusso di antiprotoni ad alta energia, i voli su palloni stratosferici perdono attrattiva.

Ma come portare apparati sperimentali in orbita, cioè al di fuori dell'atmosfera, dato che lo spazio non era più raggiungibile con lanciatori americani a causa della sospensione dei voli degli Shuttle avvenuta quattro anni prima dopo il disastro del Challenger?

Lo stimolo per una nuova fase dell'avventura fu fornito dalla visita alla New Mexico State University del prof. Arcady Galper e del dr. Moseev del Moscow Engineer and Physics Institute (MEPHI) di Mosca, amici e collaboratori di Robert Golden. A quei tempi i russi avevano una disponibilità di mezzi per i voli spaziali

The "geopolitical" earthquake of 1991, which led to the sudden and unexpected termination by the US of both the construction of the "Freedom" space station and the 100 km diameter super-protosynchrotron in Texas, is well known.

As regards the "Freedom" space station, the collaborations that had been formed to propose experiments for the ASTROMAG facility did not come to an end¹⁰ and their work continued, either with searches for alternative orbitalisation systems, possibly reducing the mass and size of the apparatus, or by doing part of the planned physics with stratospheric balloons, possibly with long flights. The LISA collaboration (all-American) and the SCINATT/MAGIC collaboration (Japanese with American participation) continued with flights on stratospheric balloons, while ASTROGAM (an experiment for the detection of gamma-ray sources) was later dedicated to the GLAST satellite.

The WIZARD collaboration, established around Prof. Golden, did not collapse either, but continued its activity with a series of stratospheric balloon launches, both to develop instruments for the ASTROGAM apparatus and to begin taking measurements of cosmic ray fluxes. Eight stratospheric balloon flights took place between 1989 and 1998, and they are now part of history, with results on the measurement of the flux of antiprotons and positrons, as well as on the measurement of muon fluxes at various atmospheric altitudes, which were very important at the time for verifying atmospheric neutrino calculations.

However, it should be noted that the residual atmosphere at an altitude of 40 km, the maximum attainable by a stratospheric balloon, is such that, with an energy of 30 GeV, it already

che volentieri offrivano per collaborare con altri istituti. Perché quindi non profittarne collaborando direttamente con loro? Fra l'altro essi possedevano anche una lunga tradizione nello studio della fisica dei raggi cosmici.

Per me fu l'occasione per utilizzare la mia conoscenza della lingua russa, che all'epoca era abbastanza buona¹¹, e andare a Mosca per parlare direttamente con i fisici e ingegneri russi e proporre loro una possibile collaborazione. Dopo i primi incontri vennero a Mosca anche il Dr. M. Gigliarelli Fiumi (dell'amministrazione centrale INFN) ed il Prof. Piergiorgio Picozza (vicepresidente dell'INFN) che poterono firmare nel 1994 il primo documento di collaborazione RIM (Russian Italian Mission). Nel programma RIM erano previsti tre esperimenti in orbita: NINA, GILDA e PAMELA. Nella Figura 2 sono riportate le dimensioni geometriche sovrapposte dei tre esperimenti, mettendo così in evidenza la unitarietà del programma proposto.

L'esperimento NINA, lanciato nel 2003, era una torre del calorimetro tracciante con un tracciatore a strisce di silicio; l'esperimento GILDA era un calorimetro tracciante di grande area per la rivelazione delle sorgenti di raggi gamma (che infine fu all'origine del satellite italiano AGILE); mentre PAMELA era l'esperimento dedicato agli antiprotoni e positroni, erede diretto di WIZARD, che fu messo in orbita nel 2006.

Non tutta la collaborazione WIZARD poté partecipare a questo programma. I nostri colleghi americani parteciparono allo studio di PAMELA ma non furono supportati dalle istituzioni americane per la partecipazione all'esperimento finale.

Il resto è ormai storia recente: l'esperimento PAMELA ha preso dati per 10 anni, dal 2006 al 2016 facendo importanti scoperte come la sovra abbondanza

produces a background of secondary antiprotons in the atmosphere that is greater than the flux of primary antiprotons from the cosmos. Consequently, flights on stratospheric balloons lose their appeal for measuring the flux of high-energy antiprotons.

But how could we get experimental apparatus into orbit, outside the atmosphere, seeing that space could no longer be reached with American launchers due to the suspension of shuttle flights following the Challenger disaster four years earlier?

Inspiration for a new adventure came from a visit to New Mexico State University by Prof. Arcady Galper and Dr. Moseev of the Moscow Engineer and Physics Institute (MEPHI) in Moscow, friends and collaborators of Robert Golden. At that time, the Russians had available space flight resources that they willingly offered in order to collaborate with other institutes. So why not take advantage of this by collaborating directly with them? Incidentally, they also had a long tradition in the study of cosmic ray physics.

For me, this was an opportunity to use my knowledge of the Russian language, which was quite good at the time¹¹, and go to Moscow to speak directly with Russian physicists and engineers and propose a possible collaboration. After the first meetings, Dr. M. Gigliarelli Fiumi (from the INFN central administration) and Prof. Piergiorgio Picozza (Vice-President of the INFN) also came to Moscow, and in 1994 they were able to sign the first RIM (Russian Italian Mission) collaboration document. Three in-orbit experiments were planned in the RIM programme: NINA, GILDA and PAMELA. Figure 2 shows the superimposed geometric dimensions of the three experiments, highlighting the unity of the programme proposed.

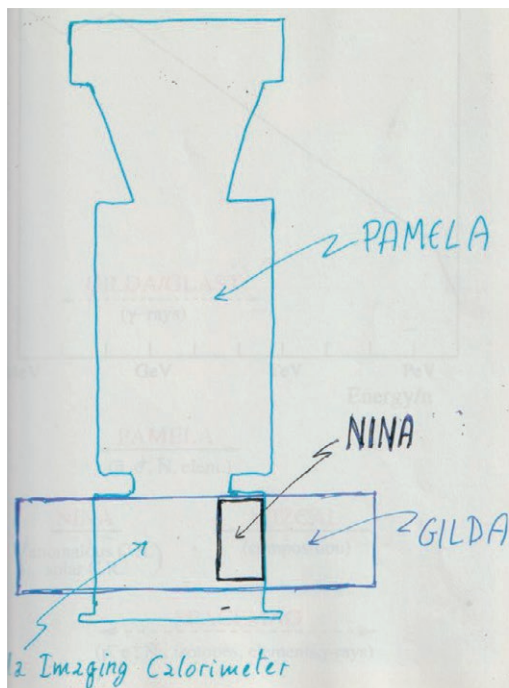


Figura 2. Dalla relazione al comitato dei referenti (Richter, Kienle e Soergel) sulle attività e i programmi della collaborazione WIZARD

Figure 2. From the report to the reference committee (Richter, Kienle and Soergel) on the activities and programmes of the WIZARD collaboration.

The NINA experiment, launched in 2003, was a tracer calorimeter tower with a silicon strip tracer; the GILDA experiment was a large-area tracer calorimeter for the detection of gamma-ray sources (which eventually spawned the Italian AGILE satellite); while PAMELA was the antiproton and positron experiment, the direct heir of WIZARD, which was put into orbit in 2006.

Not every member of the WIZARD collaboration was able to take part in this programme. Our American colleagues took part in the PAMELA study but were not supported by American institutions to participate in the final experiment.

The rest is now recent history: the PAMELA experiment took data for 10 years, from 2006 to 2016, making important discoveries such as over-abundance in the high-energy positron flux and unexpected "structures" in the cosmic nuclei flux spectrum.

The Florentine group contributed to the construction of the CALET experiment on the Japanese KIBO platform of the International Space Station and also to the study of the GAMMA400 experiment of the Russian space programme. It is currently collaborating with other Italian, European and Chinese institutes to build the HERD telescope for installation on the Chinese space station currently under construction.

In conclusion, I would like to emphasise that the cosmic ray research activity in Florence is now well established, with a large group of young researchers who will be able to carry it forward successfully and face the difficulties that arise.

nel flusso dei positroni ad alta energia e “strutture” inaspettate nello spettro del flusso dei nuclei cosmici.

Il gruppo fiorentino ha poi contribuito alla costruzione dell'esperimento CALET sulla piattaforma giapponese KIBO della International Space Station ed anche allo studio dell'esperimento GAMMA400 del programma spaziale russo. Attualmente collabora con altri istituti italiani, europei e cinesi per realizzare il telescopio HERD da installare sulla stazione spaziale cinese attualmente in costruzione.

Per concludere voglio sottolineare che l'attività di ricerca sui raggi cosmici è ormai solida e partecipata a Firenze, con un folto gruppo di ricercatori giovani che saranno in grado di portarla avanti con successo ed affrontare le difficoltà che si presenteranno.

Note

¹ P. Spillantini 'Inizio della ricerca sui raggi cosmici in Italia'. *Il Colle di Galileo*, vol. 2, n. 2, pag. 7, (2013).

² A.M. Cartacci 'Il gruppo "lastre" dell'Istituto Antonio Garbasso di Firenze (1953.1983)'. *Il Colle di Galileo*, vol. 3, n. 1, pag. 7 (2014).

³ Report LNF-72/16, use of toroidal magnetic field for experimentation with storage rings, evaluation for Adone.

⁴ Report LNF-72/59, ECFA Study Week on the 300 GeV Accelerator.

⁵ Bellettini and Spillantini, 'The 4π detector for the ISR Physics after 1980'. Workshop on the future ISR Physics, CERN, October 1976.

Notes

¹ P. Spillantini 'Inizio della ricerca sui raggi cosmici in Italia'. *Il Colle di Galileo*, vol. 2, n. 2. page 7, (2013).

² A.M. Cartacci 'Il gruppo "lastre" dell'Istituto Antonio Garbasso di Firenze (1953.1983)'. *Il Colle di Galileo*, vol. 3, n. 1, pag. 7 (2014).

³ Report LNF-72/16, use of toroidal magnetic field for experimentation with storage rings, evaluation for Adone.

⁴ Report LNF-72/59, ECFA Study Week on the 300 GeV Accelerator.

⁵ Bellettini and Spillantini, 'The 4π detector for the ISR Physics after 1980'. Workshop on the future ISR Physics, CERN, October 1976.

⁶ A. Marchionni and P. Spillantini, 'A technical proposal for the L3 Hadron Calorimeter', Report LNF-83/111(NT) (1983); and A. Arefiev, B. Bleichert, F. Ferroni et al., 'Test of a copper sampling calorimeter with streamertube readout', NIM A241 (1985) 43.

⁷ G. Auriemma et al., 'MASS, a space experiment for the measurement of the flux of cosmic ray antimatter', Report LNF-85/25(R) (1985); and *Il Nuovo Cimento*, 93A (1986) 311.

⁸ Letter to Thomas Cline 03/05/1985.

⁹ G. Basini, F. Buongiorno, A. Morselli et al. 'A double Dee Toroidal Field for a Space Spectrometer', *Il Nuovo Cimento* 102B, (1988) 529.

⁶ A. Marchionni and P. Spillantini, 'A technical proposal for the L3 Hadron Calorimeter', Report LNF-83/111(NT) (1983); and A. Arefiev, B. Bleichert, F. Ferroni et al., 'Test of a copper sampling calorimeter with streamertube readout', NIM A241 (1985) 43.

⁷ G. Auriemma et al., 'MASS, a space experiment for the measurement of the flux of cosmic ray antimatter', Report LNF-85/25(R) (1985); and *Il Nuovo Cimento*, 934 (1986) 311.

⁸ Letter to Thomas Cline 03/05/1985.

⁹ G. Basini, F. Buongiorno, A. Morselli et al. 'A double Dee Toroidal Field for a Space Spectrometer', *Il Nuovo Cimento* 102B, (1988) 529.

¹⁰ Va sottolineato come ASTROMAG ebbe un ruolo importante nel passare da singole persone o piccoli gruppi a vaste collaborazioni proprie degli esperimenti agli acceleratori di particelle. La comunità dei fisici interessati era non molto piccola ma molto parcellizzata. Il gruppo di studio per ATROMAG rappresentò un salto di qualità organizzativa in cui si mettevano insieme conoscenze e tecniche sperimentali per costruire imprese comuni; quasi tutta l'attività internazionale vi era rappresentata (mancavano solo i russi, inconcepibile in quel tempo la loro partecipazione in un campo basato sull'uso di mezzi spaziali).

¹¹ Da studente avevo seguito il corso di lingua russa all'istituto di fisica a Roma, poi nel 1970 avevo passato 4 mesi all'istituto di fisica nucleare a Novosibirsk in URSS, e successivamente avevo partecipato alle riunioni a Mosca del sottogruppo del calorimetro adronico di L3.

¹⁰ It should be emphasised that ASTROMAG played an important role in the transition from individuals or small groups to the vast collaborations typical of particle accelerator experiments. The community of physicists involved was not very small but very fragmented. The study group for ASTROMAG represented an organisational quantum leap in which knowledge and experimental techniques were pooled to build joint enterprises; almost the entire international activity was represented (only the Russians were missing, with their participation in a field based on the use of space resources being inconceivable at the time).

¹¹ As a student, I had taken the Russian language course at the Institute of Physics in Rome. Then in 1970 I had spent four months at the Institute of Nuclear Physics in Novosibirsk in the USSR, and subsequently attended meetings of the L3 hadronic calorimeter subgroup in Moscow.



Intrappolare la luce negli specchi: viaggio scientifico nella storia della dagherrotipia e dei suoi pionieri

*Capturing light in the mirror: A scientific journey through
the history of daguerreotypy and its pioneers*

Diego Quintero Balbas, Laura Benassi, Jana Striova

CNR Istituto Nazionale di Ottica, Italia

diegoivan.quinterobalbas@cnr.it, laura.benassi@cnr.it, jana.striova@cnr.it

Riassunto. La dagherrotipia rappresenta il primo processo fotografico ad ampia diffusione apparsa durante la prima metà dell'Ottocento. La sua invenzione e sviluppo sono strettamente legati a una rete di scienziati, principalmente fisici e chimici, il cui interesse per la luce e i suoi fenomeni ha significativamente contribuito al progresso delle tecniche fotografiche. Questo contributo ripercorre la storia della dagherrotipia attraverso le figure di questi scienziati, aprendo una finestra su un affascinante capitolo della storia della scienza.

Parole chiave: fotografia, dagherrotipi, ottica, storia della scienza.

Introduzione

Immaginate lo stupore delle persone, abituate a vivere in un mondo dove dipinti, miniature e altre tecniche artistiche erano le uniche forme per riprodurre immagini della realtà, che improvvisamente assistono per la prima volta alla re-

Abstract. Daguerreotypes are the first widely disseminated photographic process made public in the first half of the 19th century. Their invention and development are closely related to a network of scientists, primarily physicists and chemists, whose interest in light and its phenomena significantly contributed to the advancement of photographic techniques. This contribution traces the history of daguerreotypy through the figures of these scientists, opening a window onto a fascinating chapter of the history of science.

Keywords: photography, daguerreotypes, optics, history of science.

Introduction

Imagine the astonishment of people who were used to living in a world where paintings, miniatures, and other artistic techniques were the only ways to reproduce images of reality,

gistrazione di un'immagine grazie all'azione della luce: la prima forma di fotografia commerciale, il dagherrotipo. Il discorso tenuto nel 1839 alla Camera dei deputati di Parigi dal fisico François Arago (1786-1853), durante il quale venne presentata l'invenzione di Louis Daguerre (1787-1851), segnò un punto di svolta nel mondo delle immagini (Barger 1991).

Benché da tempo si conoscesse la possibilità di proiettare immagini su una superficie grazie alla *camera obscura*, fu solo dopo il 1839 che la fotografia divenne accessibile al pubblico. Questo fu reso possibile grazie all'acquisto e al rilascio dei diritti sull'invenzione da parte del governo francese. Il dagherrotipo divenne così un'opzione accessibile anche per coloro che non potevano permettersi ritratti simili alle miniature, molto in voga in epoca vittoriana, o immagini di luoghi, ma anche gli scienziati ne ricavarono beneficio, poiché i dagherrotipi permettevano di registrare anche fenomeni naturali come le eclissi.

L'invenzione della dagherrotipia fu il risultato di una serie di esperimenti che, fin dalla fine del Settecento, miravano a fissare in modo permanente le immagini create dalla luce su una superficie. L'interesse – sia scientifico che economico – suscitato da questa scoperta stimolò numerosi tentativi di perfezionamento del processo, che videro diversi scienziati coinvolti, in particolare del campo dell'ottica, ma anche chimici e artisti. Ripercorrere la storia della dagherrotipia significa ripercorrere una parte importante della storia della scienza dell'Ottocento (Fig. 1).

I dagherrotipi sono oggetti unici: sulla superficie di lastre di rame argentate e lucidate a specchio contengono immagini in scala di grigi, prodotte dalla rifrazione

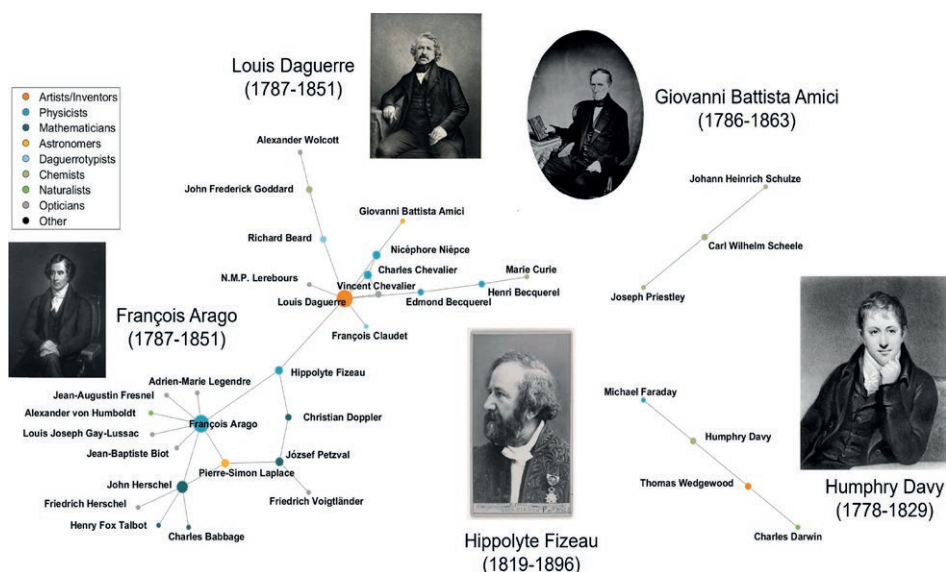


Figure 1. Mappa generale delle relazioni tra i diversi scienziati coinvolti nello sviluppo della dagherrotipia.
Figure 1. General map of the relations between the different scientists involved in the daguerreotype process.

della luce su particelle nanometriche che compongono l'immagine, offrendo così una risoluzione grafica elevatissima (Fig. 2). In base all'angolo di riflessione della luce, appaiono come negativi o positivi. La loro produzione richiede una sequenza complessa di passaggi, in cui chimica e fisica sono strettamente interconnesse.

L'impatto dei dagherrotipi sulla società fu profondo, influenzando non solo le abitudini di consumo di immagini (Palomarez, 2015), ma anche la letteratura. Ne è prova l'interesse di Edgar Allan Poe per i dagherrotipi al punto di fare riferimento a questa invenzione nei suoi testi *horror* posteriori al 1840 (Sweeney, 2018).

Questi oggetti sono particolarmente delicati e vulnerabili sia all'azione meccanica, che può facilmente provocare graffi, sia all'effetto dei composti ambientali che causano la solforazione dell'argento e la formazione di altri prodotti di corrosione. Per questo motivo, negli ultimi anni diversi istituti di ricerca, tra cui il CNR-INO, in collaborazione con il Museo Galileo, l'Opificio delle Pietre Dure, l'azienda El.En. e la Fondazione Alinari per la Fotografia, hanno intrapreso iniziative mirate allo sviluppo di metodologie di analisi sicure e trattamenti di conservazione efficaci¹.

Scienza e dagherrotipia

Lo sviluppo della fotografia ha beneficiato del contributo di diverse discipline, in particolare della chimica, per lo studio dei materiali fotosensibili, e della fisica, per il perfezionamento dei componenti ottici. Quest'ultima, infatti, vide

and who suddenly witnessed, for the first time, the recording of an image through the action of light: the first form of commercial photography, the daguerreotype. The speech given in 1839 at the Chamber of Deputies in Paris by physicist François Arago (1786–1853), during which Louis Daguerre's (1787–1851) invention was presented, marked a turning point in the world of imagery (Barger 1991).

Although the possibility of projecting images onto a surface using a *camera obscura* had been known for some time, it was only after 1839 that photography became accessible to the public. This was made possible through the purchase and release of the invention's rights by the French government. The daguerreotype thus became an affordable option to acquire portraits like the miniatures that were very popular in the Victorian era or record images of places. Scientists also benefited from this invention, as daguerreotypes made it possible to record natural phenomena, such as eclipses.

The invention of the daguerreotype resulted from a series of experiments that, since the late 18th century, aimed to permanently fix images created by light onto a surface. The scientific and economic interest triggered by this discovery spurred numerous attempts to refine the process, involving several scientists, particularly from the field of optics, as well as chemists and artists. Reviewing the history of the daguerreotype means revisiting a significant chapter in the history of 19th-century science (Fig. 1).

Daguerreotypes are unique objects: on the surface of silver-plated, mirror-polished copper plates, they contain grayscale images produced by the refraction of light on nanometric parti-

Hinged-case daguerreotype structure

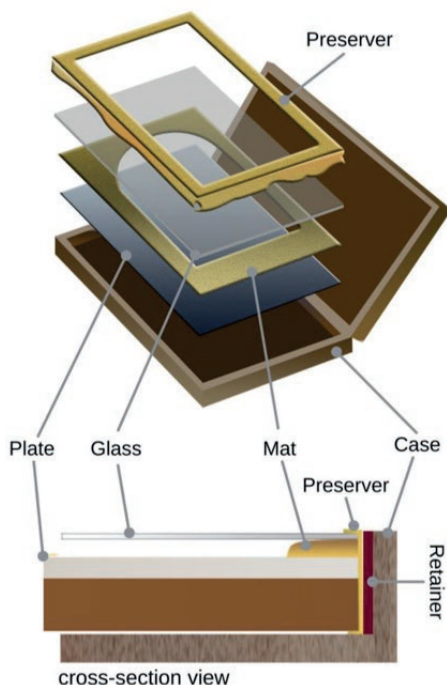


Figure 2. Schema della struttura di un dagherrotipo e il suo astuccio. Adattato da (Quintero Balbas, 2023).
Figure 2. Scheme of a daguerreotype and its case. Adapted from (Quintero Balbas, 2023).

cles that form the image, offering exceptionally high graphic resolution (Fig. 2). Depending on the angle of light reflection, they appear as either negatives or positives. Their production involves a complex sequence of steps, where chemistry and physics are intricately interconnected.

The impact of daguerreotypes on society was profound, influencing not only image consumption habits (Palomarez, 2015) but also literature. Evidence of this is Edgar Allan Poe's fascination with daguerreotypes, to the extent that he referenced this invention in his horror stories written after 1840 (Sweeney, 2018).

These objects are particularly delicate and vulnerable, both to mechanical damage, which can easily cause scratches, and to the effects of environmental compounds that cause silver tarnish and the formation of other corrosion products. For this reason, in recent years, several research institutions, including the CNR-INO, in collaboration with the Galileo Museum, the Opificio delle Pietre Dure, the El.En. company, and the Fondazione Alinari per la Fotografia, have undertaken initiatives aimed at developing safe analytical methodologies and effective conservation treatments¹.

Science and Daguerreotypes

The development of photography benefited from the contributions of various disciplines, particularly chemistry, for the study of photosensitive materials, and physics, for the refinement of optical components. In fact, many physicists engaged in the study of light phenomena made

numerosi fisici impegnati nello studio dei fenomeni della luce offrire contributi significativi alla dagherrotipia. Tracciando una “genealogia” di questi scienziati, emergono nomi di studiosi legati a scoperte sulla velocità della luce, allo sviluppo della microscopia e all’avanzamento dell’astronomia.

Le radici dello sviluppo scientifico della dagherrotipia possono rintracciarsi alla fine del Settecento, quando Giovanni Battista Amici inventò la *camera lucida*. Amici è stato un ottico che fu chiamato nel 1831 a dirigere la “Specola” a Firenze. L’attuale telescopio nell’osservatorio di Arcetri è intitolato ad Amici, come lo erano stati altri due telescopi precedenti, in riconoscimento ai contributi scientifici dell’ottico modenese (Bianchi, 2010). È probabile che lo stesso Amici abbia praticato la dagherrotipia, come suggerisce la lastra intitolata *Panorama di Firenze con la neve da San Niccolò*, datata ca. 1841, oggi alla Fondazione Alinari per la Fotografia (FAF), attribuita a lui o suo figlio Vincenzo (Fig. 3) (Fondazione Alinari per la Fotografia, 2021).

Fu la camera lucida di Amici ad ispirare i lavori di Nicéphore Niépce (1765-1833) e il suo interesse nella riproduzione di immagini che lo portò allo sviluppo della eliografia. Malgrado non fosse uno scienziato, Louis Daguerre, già inventore del diorama, si interessò ai lavori di Niépce, con cui si associò per migliorare le sue invenzioni. Niépce morì nel 1833, e Daguerre continuò con la sperimentazione fino a brevettare nel 1839 il processo che oggi porta il suo nome.

Tra i principali entusiasti dei dagherrotipi vi fu François Arago, già citato fisico e collaboratore di Augustin-Jean Fresnel nelle ricerche sul moto ondulatorio



Figure 3. *Panorama di Firenze con la neve da San Niccolò* (DVQ-F-000115-0000) ca. 1841, attribuito a Vincenzo Amici, per gentile concessione di Fondazione Alinari per la Fotografia.

Figure 3. *Panorama di Firenze con la neve da San Niccolò* (DVQ-F-000115-0000) ca. 1841, attributed to Vincenzo Amici, courtesy of Fondazione Alinari per la Fotografia.

della luce. Arago fu anche professore di Hippolyte Fizeau (1819-1896), il quale nel 1840 sviluppò il processo di doratura per i dagherrotipi. Questo procedimento, applicato alla superficie delle lastre argentate, ne migliorava le proprietà ottiche e ne aumentava la resistenza sia meccanica che chimica. Fizeau, anch'egli fisico, si distinse per importanti studi, tra cui quelli sull'effetto Doppler (conosciuto in Francia come effetto Doppler-Fizeau). Grazie ai suoi esperimenti creativi, nel 1849 divenne il primo a misurare la velocità della luce su una distanza terrestre, ispirandosi alle ricerche condotte in ambito astronomico (Frercks, 2000).

Per ottenere un dagherrotipo, le persone dovevano rimanere immobili per molto tempo (tra i 6 e i 15 minuti) a seconda delle condizioni d'illuminazione, supportati da strutture metalliche, il che rendeva la sessione di posa un'attività particolarmente scomoda. Anche in questo caso l'ottica venne in aiuto. I primi obiettivi delle fotocamere di Niépce-Daguerre avevano una apertura di $f/14$ e richiedevano un tempo di esposizione di circa 15 minuti. Daguerre venne a conoscenza di Charles Chevalier (1786-1863) che aveva prodotto obiettivi con una apertura di $f/4.9$ riducendo considerevolmente il tempo necessario per ottenere un'immagine. Oltre ai lavori legati alla fotografia, Chevalier aveva preso spunto dalla ricerca di Amici per lo sviluppo di microscopi. Fu l'ungherese József Petzval (1807-1891) a ridurre ulteriormente il tempo di esposizione dei dagherrotipi grazie ai suoi calcoli che permisero lo sviluppo di un obiettivo con una apertura di $f/3.6$ (Robinson, 2017).

Non fu solo la fisica a contribuire allo sviluppo della fotografia: anche la chimica svolse un ruolo essenziale, in particolare attraverso gli studi sulla fotosensi-

significant contributions to the daguerreotype process. By tracing a "genealogy" of these scientists, names of scholars connected to discoveries regarding the speed of light, the development of microscopy, and advancements in astronomy emerged.

The daguerreotypes' scientific roots can be traced back to the late 18th century when Giovanni Battista Amici invented the *camera lucida*. Amici, who was specialised in optics, was appointed in 1831 to head the "Specola" in Florence. The current telescope at the Arcetri Observatory is named after Amici, as were two previous telescopes, in recognition of the contributions of the scientist from Modena (Bianchi, 2010). Amici himself likely produced some daguerreotypes, as suggested by the plate titled *Panorama di Firenze con neve da San Niccolò*, dated around 1841, now at the Fondazione Alinari per la Fotografia (FAF), attributed to him or his son Vincenzo (Fondazione Alinari per la Fotografia, 2021).

It was Amici's *camera lucida* that inspired the work of Nicéphore Niépce (1765–1833) and his interest in the reproduction of images, which led him to develop heliography. Although not a scientist, Louis Daguerre, already the inventor of the diorama, became interested in Niépce's work and partnered with him to improve his inventions. Niépce died in 1833, and Daguerre continued experimenting until he patented in 1839 the process that now bears his name.

One of the main enthusiasts of daguerreotypes was François Arago, the physicist already mentioned and collaborator of Augustin-Jean Fresnel in the research on the wave nature of light. Arago was also the professor of Hippolyte Fizeau (1819–1896), who, in 1840, developed the gilding process for daguerreotypes. This technique, applied to the surface of daguerreo-

bilità dei composti. Già agli inizi del Settecento, Johann Schulze (1687-1781) aveva osservato l'annerimento del nitrato d'argento esposto alla luce. Successivamente, Humphry Davy (1778-1829) e Thomas Wedgwood (1771-1805) – quest'ultimo zio di Charles Darwin – approfondirono lo studio dei sali d'argento. Wedgwood riuscì a fissare una *silhouette* su carta e cuoio trattati con nitrato d'argento, pur senza trovare un metodo per bloccare l'effetto della luce e quindi fissare le immagini in modo permanente. Questi studi furono ripresi da Niépce, i cui esperimenti, come abbiamo visto, portarono infine alla nascita del dagherrotipo (Barger e White, 1991).

Contemporaneamente ai lavori di Daguerre, Henry Fox Talbot (1800-1877), il terzo padre della fotografia, fece esperimenti con vari sali d'argento, tra cui il cloruro, riuscendo a creare una carta fotosensibile che permetteva di fissare permanentemente le immagini attraverso un bagno in acqua salata. Le sue scoperte portarono all'invenzione della carta salata e del calotipo, due importanti processi fotografici che segnarono un progresso fondamentale nella storia della fotografia (Barger e White, 1991).

Naturalmente, dopo l'invenzione del dagherrotipo si susseguirono miglioramenti al processo, sempre con l'obiettivo di ridurre il tempo di posa. Nel 1840, Edmond Becquerel – padre del premio Nobel per la fisica Henri Becquerel – mise a punto il processo di fotosensibilizzazione delle lastre metalliche con vapori di iodio, dando origine alla variante Becquerel dei dagherrotipi. Oltre al suo contributo alla dagherrotipia, Becquerel (figlio) concentrò i suoi studi sul fenomeno della fosforescenza e adoperò i dagherrotipi come “sensori” per registrare

type plates, improved their optical properties and increased their mechanical and chemical resistance. Fizeau, also a physicist, distinguished himself for important studies, including those on the Doppler effect (known in France as the Doppler-Fizeau effect). Thanks to his creative experiments, in 1849, he became the first to measure the speed of light over a terrestrial distance, drawing inspiration from astronomical research (Frercks, 2000).

To obtain a daguerreotype, subjects had to remain still for a long period, between 6 and 15 minutes depending on the lighting conditions, supported by metal structures, making the sitting a particularly uncomfortable activity. Here too, optics came to the rescue. The first lenses of Niépce-Daguerre cameras had an aperture of $f/14$ and required an exposure time of about 15 minutes. Daguerre learned of Charles Chevalier (1786–1863), who had produced lenses with an aperture of $f/4.9$, significantly reducing the exposure time needed to obtain an image. In addition to his work on photography, Chevalier had drawn inspiration from Amici's research for the development of microscopes. It was the Hungarian József Petzval (1807–1891) who further reduced the exposure time for daguerreotypes, thanks to his calculations, which led to the development of a lens with an aperture of $f/3.6$ (Robinson, 2017).

It was not only physics that contributed to the development of photography: chemistry also played an essential role, particularly through studies on the photosensitivity of compounds. As early as the beginning of the 18th century, Johann Schulze (1687–1781) had observed the darkening of silver nitrate exposed to light. Later, Humphry Davy (1778–1829) and Thomas Wedgwood (1771–1805) — the latter was the uncle of Charles Darwin — deepened the

linee indipendenti della luce solare, isolandole grazie a fenditure e lenti (Barger e White, 1991).

Alla ricerca del colore perduto

L'assenza di colore nelle prime immagini naturali fissate in modo permanente fu una delle maggiori delusioni per il pubblico vittoriano, abituato alle miniature colorate. La doratura dei dagherrotipi sviluppata da Fizeau, oltre a migliorarne la resistenza, rese possibile in seguito l'applicazione di colore sulla loro superficie. Antoine Claudet, allievo di Louis Daguerre, perfezionò un metodo per applicare pigmenti ai dagherrotipi, donando così vivacità alle immagini in bianco e nero (Fig. 4). La colorazione dei dagherrotipi divenne presto una pratica molto popolare, trasformandosi in un vero e proprio *hobby*. Venivano persino venduti kit con materiali e istruzioni, consentendo di colorare i dagherrotipi direttamente a casa (Quintero Balbas, 2022).

Nonostante l'opinione pubblica riguardo all'aggiunta di colore ai dagherrotipi fosse divisa, altri metodi per aggiungere loro colore furono messi a punto

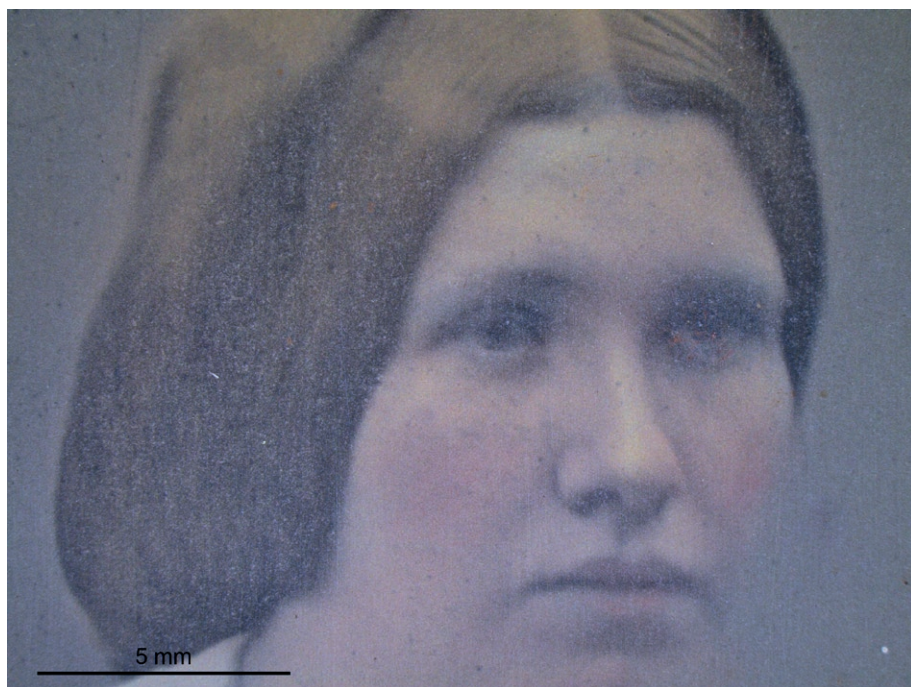


Figure 4. Microfotografia (0.78x) di dettaglio di un dagherrotipo (DVQ-F-001829) colorato eseguito da Antoine Claudet per gentile concessione di Fondazione Alinari per la Fotografia.

Figure 4. Microphotograph (0.78x) showing a detail of a hand-coloured daguerreotype (DVQ-F-001829) by Antoine Claudet courtesy of Fondazione Alinari per la Fotografia.

e brevettati. Questi tentativi furono alla base dell'interesse che portò negli anni successivi ai primi esempi di fotografia a colore come le lastre Lippmann, sviluppate dal fisico francese Gabriel Lippmann (1845-1921), premio Nobel per la fisica per il metodo della fotografia interferometrica, e considerate una delle prime forme di tecniche di immagini multispettrali (Baechler, 2021). Oggi alla Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze si conserva un prezioso esemplare di lastra Lippmann che è stata esposta al Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze all'interno della mostra "Enlightening Mind".

Conclusioni

La storia evidenzia come una rete di scienziati, interessati agli effetti della luce e ai fenomeni correlati, abbia contribuito allo sviluppo del primo processo fotografico ampiamente diffuso. La dagherrotipia trasformò la percezione del mondo e aprì la strada a nuove innovazioni nel campo delle immagini e della loro riproduzione. Conservare e studiare i dagherrotipi significa preservare un frammento della storia dell'ottica, della chimica e della tecnologia, nonché un'importante testimonianza dell'Ottocento, epoca in cui si cercava di fissare un'immagine della realtà per le generazioni future. Firenze custodisce un vasto patrimonio di questi esemplari, dalla Fondazione Alinari al Museo Galileo alla Fondazione Scienza e Tecnica: un patrimonio che, come è stato fatto negli ultimi anni, merita di essere studiato, conservato e trasmesso alle generazioni future.

study of silver salts. Wedgwood succeeded in fixing a silhouette on paper and leather treated with silver nitrate, yet he was unable to find a method to fix the effect of light and thus obtain permanent images. These studies were later taken up by Niépce, whose experiments, as described previously, eventually led to the birth of the daguerreotype (Barger and White, 1991).

Contemporaneously with Daguerre's work, Henry Fox Talbot (1800–1877), identified as the third father of photography, conducted experiments with various silver salts, including chloride, and succeeded in creating a photosensitive paper that allowed images to be permanently fixed through a bath in salted water. His discoveries led to the invention of salted paper and the calotype, two important photographic processes that marked a fundamental advancement in the history of photography (Barger and White, 1991).

Naturally, after the invention of the daguerreotype, improvements to the process followed, primarily intending to reduce the exposure time. In 1840, Edmond Becquerel – father of Nobel Prize-winning physicist Henri Becquerel – developed the metal plate photosensitising process with iodine vapours, giving rise to the Becquerel variant of the daguerreotype. In addition to his contribution to photography, Becquerel (the son) focused his studies on the phenomenon of phosphorescence and used daguerreotypes as "sensors" to record independent lines of sunlight, isolating them with slits and lenses (Barger and White, 1991).

Note

¹ La Regione Toscana ha finanziato con fondi FSC, Giovanisi, un progetto dal titolo “DIAGnostica Non invaSiva e conservazione di daghErrotipi e altri materiali fotografici” (DIAGNOSE), coordinato dal CNR-INO. La giornata di studio conclusiva è disponibile su YouTube al link: <https://www.youtube.com/watch?v=zeXBDpyY-Hg&t=8324s>

Bibliografia

- Baechler, Gilles, et al. 2021. “Shedding light on 19th century spectra by analyzing Lippmann photography.” *PNAS* 17: e2008819118
- Barger, M. Susan, and William B. White. 1991. *The Daguerreotype. Nineteenth-century technology and modern science*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Bianchi, Simone. 2010. “Gli Strumenti di Giovan Battista Amici Dalla Vecchia Specola di Firenze al Nuovo Osservatorio di Arcetri.” *Nuncius* 2: 357-382.
- Fondazione Alinari per la Fotografia. 2021. “Valorizzazione del più importante fondo italiano di fotografie uniche.” Accesso 31 ottobre 2024. [## In Search of Lost Colour](https://www.alinari.it/it/progetti/valorizzazione-fotografie-uniche?fbclid=IwY2xjawGQYYtleHRuA2FlbQIxMAABHYA1wzabDm3Jd6kI1fOSkxysWjlHeFf31zCFfltB786p_53VWj9lzW_TA_aem_uTfI7gVu9DXCC84EyjKS7gFrercks, Jan. 2000. “Creativity and Technology in Experimentation: Fizeau’s Terrestrial Determination of Speed of Light.” <i>Centaurus</i> 42: 249-287.</p>
</div>
<div data-bbox=)

The absence of colour in the first permanently fixed natural images was one of the greatest disappointments for the Victorian public, who were accustomed to coloured miniatures. The gilding of daguerreotypes developed by Fizeau, besides improving their durability, also made it possible to apply colour to their surface. Antoine Claudet, a student of Louis Daguerre, perfected a method for applying pigments to daguerreotypes, thus bringing life to the black-and-white images (Fig. 3). The colouring of daguerreotypes soon became a very popular practice, evolving into a true hobby. Kits with materials and instructions were even sold, allowing people to colour daguerreotypes at home (Quintero Balbas, 2022).

Although public opinion regarding the addition of colour to daguerreotypes was divided, other colouring methods were developed and patented. These attempts laid the foundation for the interest that led, in the following years, to the first examples of colour photography, such as the Lippmann plates, developed by the French physicist Gabriel Lippmann (1845–1921), Nobel laureate in physics for the interferometric photography method, and considered one of the first forms of multispectral imaging techniques (Baechler, 2021). Today, a precious example of a Lippmann plate is preserved at the Fondazione Scienza e Tecnica in Florence which was exhibited at the Department of Physics of the University of Florence as part of the “Enlightening Mind” exhibition.

- Palomarez, Michael. 2015. "Daguerreotypes: Mirror and Record in an Age of Consumption." *Watermark* 9: 127-150.
- Quintero Balbas, Diego, et al. 2023. "The Degradation of Daguerreotypes and the Relationship with Their Multi-Material Structure: A Multimodal Investigation." *Sensors* 23: 4341.
- Quintero Balbas, Diego, et al. 2022. "The Colors of the Butterfly Wings: Non-Invasive Microanalytical of Hand-Coloring Materials in 19th-Century Daguerreotypes." *Heritage* 5: 4306-4324.
- Robinson, Michael A. 2017. "The Technique and Material Aesthetic of the Daguerreotype." Tesi di dottorato, De Montfort University.
- Sweeney, Susan Elizabeth. 2018. "Death, Decay, and the Daguerreotype's Influence on "The Black Cat." *The Edgar Ala Poe Review* 2: 206-232.

Note

¹ The Tuscany Region has funded, through FSC and Giovanisì funds, a project titled "Non-Invasive Diagnostics and Conservation of Daguerreotypes and Other Photographic Materials" (DIAGNOSE), coordinated by CNR-INO. The final study day is available on YouTube at the following link: <https://www.youtube.com/watch?v=zeXBDpyY-Hg&t=8324s>



Il Colle di
Galileo

I pendoli dell'Osservatorio di Arcetri

The pendulums of Arcetri Observatory

Simone Bianchi

INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Italia

simone.bianchi@inaf.it

Riassunto. L'Osservatorio di Arcetri possiede due orologi a pendolo di fine '700 e inizio '800, provenienti dalla dotazione della Specola di Via Romana. Se ne traccia qui la storia, insieme a quella di altri pendoli ormai dispersi e di un ultimo arrivo, un pendolo di fine '800 donato dall'Ing. Giacomo Franceschini nel 2023.

Parole chiave: Arcetri, Osservatorio, Officina Galileo, pendoli, misura del tempo.

Introduzione

Ne *Le Operazioni Astronomiche*, scritto al Gioiello di Arcetri sul finire del 1637, Galileo indicava gli strumenti essenziali di un osservatorio:

È noto a ciascuno, due¹ esser i mezzi principalissimi e necessarissimi per far le celesti osservazioni con puntualissima giustezza: l'uno de' quali è il potersi servire d'un misuratore del tempo che senz'errore d'un momento ci somministri l'ore e le loro frazzioni, fino a' minuti primi, secondi e terzi, e più, se più bisognassero; [...] Esattissimo compartitore, in minutissime particelle, del tempo è un pendolo appeso a un sottil filo di qualsivoglia grandezza [...] (Favaro 1897).

Abstract. Arcetri Observatory has two pendulum clocks dating back to the late 18th and early 19th centuries which came from the Specola in Via Romana. Their history is traced here, together with that of other pendulums which have now been lost, and of a last arrival, a late 19th-century pendulum donated by the engineer Giacomo Franceschini in 2023.

Keywords: Arcetri, Observatory, Officina Galileo, pendulums, measuring time.

Introduction

In *Le Operazioni Astronomiche*, written at Villa Gioiello in Arcetri towards the end of 1637, Galileo indicated the essential instruments of an observatory:

Everyone knows that there are two¹ principal and most necessary means of observing the sky with the utmost accuracy: one is to be able to use a time measuring instrument which, without

Ogni osservatorio avrebbe dovuto quindi munirsi di un orologio basato sul principio dell'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo. Sebbene proprio in quegli anni Galileo abbia studiato, insieme al figlio Vincenzo, un tale meccanismo, il primo orologio realizzato usando il pendolo come *regolatore* venne realizzato solo due decenni dopo, dallo scienziato olandese Christiaan Huygens (1629-1695).

Da allora, gli orologi a pendolo hanno fatto parte della dotazione essenziale di ogni osservatorio astronomico. La Specola dell'Imperiale e Reale Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze, fondata sul finire del XVIII secolo, ne aveva ben quattro, di varia precisione. Parte di questi vennero poi trasferiti al nuovo Osservatorio di Arcetri, inaugurato nel 1872, e successivamente integrati con strumenti più moderni: alcuni esistono ancora, mentre altri sono dispersi. Li descrivo qui in seguito, insieme all'ultimo ingresso nella collezione dell'Osservatorio: un pendolo astronomico dell'Officina Galileo, donato nel 2023 dall'Ing. Giacomo Franceschini (1938-2023).

Il pendolo Kendall

L'orologio più prestigioso e più accurato della Specola era il pendolo costruito dall'inglese Larcum Kendall (1719-1790). L'orologiaio Kendall, attivo a Londra fin dagli anni '40 del XVIII secolo, era celebre per aver collaborato con il *Board of Longitude* inglese ed aver realizzato alcuni cronometri da marina utilizzati nei

a moment's error, gives us the hours and their fractions, down to the first, second and third minutes, and more, if more is needed; [...] A pendulum hanging from a thin wire of any size is a very exact compartmentaliser of time, in minute particles [...] (Favaro 1897).

Every observatory should therefore have been equipped with a clock based on the principle of the isochronism of the small oscillations of the pendulum. Although Galileo had studied a mechanism of this kind at that time, together with his son Vincenzo, the first clock using the pendulum as a *regulator* was not made until two decades later, by the Dutch scientist Christiaan Huygens (1629-1695).

Since then, pendulum clocks have been part of the essential equipment of every astronomical observatory. The Specola of the Imperial and Royal Museum of Physics and Natural History in Florence, founded at the end of the 18th century, had no fewer than four, of varying precision. Some of them were subsequently transferred to the new Arcetri Observatory, inaugurated in 1872, and later supplemented with more modern instruments: some still exist, while others have been lost. I describe them here, together with the latest addition to the Observatory's collection: an astronomical pendulum from Officine Galileo, donated in 2023 by Giacomo Franceschini (1938-2023).

The Kendall pendulum

The Specola's most prestigious and accurate clock was the pendulum built by the Englishman Larcum Kendall (1719-1790). Kendall, a watchmaker active in London from the 1740s,

primi tentativi di determinazione delle longitudini in mare. Uno dei membri del *Board of Longitude* era l'Astronomo Reale Nevil Maskelyne (1732-1811). Proprio a Maskelyne si era rivolto il fisico Felice Fontana (1730-1805), primo direttore del Museo di Firenze, per l'acquisto di vari strumenti scientifici. Fra questi, appunto, il pendolo di Kendall, acquistato nel 1790. Così lo descrive l'astronomo Domenico de Vecchi (1768-1824), primo direttore della Specola:

L'Osservatorio possiede quattro Orologj a pendulo ch'io distinguo con i numeri I, II, III, IV. Il primo segnato N.º I. è dell'artista inglese Kendall. Esso non dimostra nulla di singolare nè di nuovo nel suo meccanismo, ed il suo *scappamento* è quello notissimo di Graham. [...] Il pendulo [...] è composto di 9 verghe di compensazione [...] Io ho riconosciuto l'effetto di questa compensazione col paragone de' passaggi del Sole al meridiano osservati, e calcolati. [...] Queste condizioni [...] pongono il nostro Orologio fra gli ottimi che possono ottenersi per gli usi Astronomici. [...] Quest'Orologio a cui sono solito di rapportare tutte le osservazioni del Sole, delle stelle, e de' pianeti scorre sul moto sidereo, ed è posto nella stanza della Meridiana prossimo all'*Istrumento de' passaggi* (De Vecchi 1810).

Il pendolo Kendall, regolato a tempo siderale, era quindi l'orologio di riferimento (o *normale*) della Specola, continuamente confrontato con le determinazioni di tempo fatte osservando il passaggio degli astri al meridiano celeste. La lunghezza dell'asta del pendolo era mantenuta costante da un sistema di compensazione formato da 9 verghe accoppiate di due metalli con coefficiente di dilatazione diverso, garantendo un'ottima precisione sotto diverse condizioni di temperatu-

was famous for collaborating with the British *Board of Longitude* and making some marine chronometers used in early attempts to determine longitude at sea. One of the members of the *Board of Longitude* was the Royal Astronomer Nevil Maskelyne (1732-1811). It was to Maskelyne that physicist Felice Fontana (1730-1805), the first director of the Florence Museum, had turned for the purchase of various scientific instruments. These included Kendall's pendulum, purchased in 1790. This is how the astronomer Domenico de Vecchi (1768-1824), first director of the Specola, describes it:

The Observatory owns four pendulum clocks, which I distinguish by the numbers 1, 2, 3 and 4. The first one marked No. 1 is by the English craftsman Kendall. It reveals nothing singular or new in its mechanism, and its *escapement* is the well-known Graham escapement. [...] The pendulum [...] consists of nine compensation rods [...] I recognised the effect of this compensation by comparing the passages of the Sun at the meridian observed and calculated. [...] These conditions [...] place our Clock among the finest that can be obtained for Astronomical uses. [...] This Clock, to which I usually relate all my observations of the Sun, stars and planets, runs on sidereal motion, and is situated in the Sala Meridiana next to the *Instrument of Passages* (De Vecchi 1810).

The Kendall pendulum, regulated to sidereal time, was therefore the Specola's reference (or *normal*) clock, continuously compared with the time determinations made by observing the transit of the stars at the celestial meridian. The length of the pendulum rod was kept constant by a compensation system consisting of nine coupled rods made of two metals with different

ra atmosferica: secondo De Vecchi, l'orologio mostrava variazioni medie di solo mezzo secondo al giorno.

Molto probabilmente questo stesso orologio divenne il riferimento di tempo anche per la città di Firenze (e, per estensione, per le linee telegrafiche e ferroviarie che da qui si dipartivano) quando la Specola iniziò a trasmettere, ammainando una bandiera nazionale, il mezzogiorno di tempo medio di Firenze all'orologio della Torre di Palazzo Vecchio, a partire dal 24 dicembre 1860 (Bianchi 2019).

Il Kendall venne poi collocato nella nuova sede dell'Osservatorio ad Arcetri: il giorno dell'inaugurazione dell'edificio principale, il 27 ottobre 1872, lo troviamo nella grande Cupola centrale sopra l'Osservatorio, di corredo al telescopio equatoriale di Amici (Cipolletti 1872). Pochi anni più tardi, nel 1877, il Kendall venne spostato nella Sala meridiana, di nuovo in uso come pendolo normale e di corredo ad uno strumento dei passaggi². Sul finire del XIX secolo, l'orologio venne spostato di nuovo, questa volta nel Cupolino Est in ausilio ad un piccolo equatoriale di Fraunhofer (Abetti 1901b). In questa occasione era dotato di un circuito elettrico collegato ad un cronografo, per registrare su una striscia di carta il tempo durante le osservazioni (ne reca testimonianza una serie di forellini su un lato della cassa in legno).

Dopo la dismissione del Fraunhofer, intorno agli anni '20 del XX secolo, il Kendall tornò nella Sala meridiana e, quando questa fu smantellata con i lavori edilizi iniziati nel 1959, nella saletta al piano focale della Torre Solare. Dal 2002, dopo un sapiente restauro curato dai tecnici Gianni e Paolo Marcucci, l'orologio si trova nella biblioteca dell'Osservatorio (Fig. 1). Regolato oggi sul tempo me-

expansion coefficients, guaranteeing excellent precision at different atmospheric temperatures: according to De Vecchi, the clock displayed average variations of just half a second a day.

Most likely, this clock also became the time reference for the city of Florence (and, by extension, for the telegraph and railway lines that ran from here) when the Specola began transmitting Florence's mean noon time to the clock in the tower of Palazzo Vecchio by lowering a national flag, starting on 24 December 1860 (Bianchi 2019).

The Kendall was then relocated to the Observatory's new premises at Arcetri: on the day of the inauguration of the main building, 27 October 1872, it was found in the large central dome above the Observatory, as an accessory to Amici's equatorial telescope (Cipolletti 1872). A few years later, in 1877, the Kendall was moved to the Sala Meridiana, where it was used once again as a normal pendulum and as an accompaniment to a passage instrument². Towards the end of the 19th century, the clock was moved again, this time to the East Dome, in aid of a small Fraunhofer equatorial (Abetti 1901b). On this occasion it was equipped with an electric circuit connected to a chronograph, to record the time during observations on a strip of paper (a series of small holes on one side of the wooden case bears witness to this).

After the decommissioning of the Fraunhofer in around the 1920s, the Kendall returned to the Sala Meridiana and, when this was dismantled with the building work that began in 1959, to the room on the focal floor of the Solar Tower. Following skilful restoration by technicians Gianni and Paolo Marcucci, the clock has been in the Observatory library since 2002 (Fig. 1). Regulated to mean time today, it retains the same precision observed by De Vecchi

dio, mantiene la stessa precisione riscontrata più di due secoli fa da De Vecchi: in inverno, il pendolo risulta in genere in anticipo di mezzo secondo al giorno, in estate in ritardo di un secondo e mezzo (variazioni derivate da controlli mensili).



Figura 1. I tre pendoli dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri: Kendall (a sinistra), Manetti (al centro) e il "pendolone" donato dall'Ing. Giacomo Franceschini (a destra). I quadranti recano le iscrizioni, rispettivamente, "Larcum Kendall / London", "Philippus Manetti / Florentiae", "Officina Galileo / Firenze 1896".

Figure 1. The three pendulums of the Arcetri Astrophysics Observatory: Kendall (left), Manetti (centre) and the "pendolone" donated by Giacomo Franceschini (right). The dials bear the inscriptions "Larcum Kendall / London", "Philippus Manetti / Florentiae", "Officina Galileo / Firenze 1896", respectively.

Gli altri pendoli della Specola nel 1810

Alla Specola, il Kendall andò a sostituire altri orologi precedenti di minor precisione. Uno di questi era un pendolo costruito dall'orologiaio inglese John Ellicott (1706-1772). Scriveva De Vecchi:

L'Orologio N.º II è del celebre Ellicott, ed apparteneva in proprietà all'Astronomo Pisano il Perelli³. Esso presenta il grado di precisione proprio de' suoi tempi, è però estremamente inferiore a quello che riconoscemmo nell'Orologio di Kendall. Quest'Orologio che segna il tempo medio prossimamente [...] è collocato nella sala ottagonale superiore, e serve d'ordinario alle osservazioni delle eclissi de satelliti (De Vecchi 1810).

Il pendolo Ellicott, regolato a tempo medio, veniva quindi usato nella sala di osservazione della Specola. In questo orologio il baricentro del peso oscillante veniva mantenuto costante, sotto varie condizioni atmosferiche, da un complesso meccanismo a leve contenuto nella lente all'estremità dell'asta del pendolo. Forse per migliorarne le prestazioni, l'orologio fu poi modificato per avere una compensazione a mercurio⁴: con questo metodo, la dilatazione dell'asta è controbilanciata dalla dilatazione in senso opposto del mercurio, posto in un contenitore che sostituisce la lente.

Ad Arcetri il pendolo fu collocato nella Sala meridiana fino allo smantellamento di questa (Fig. 2). Alcune voci lo vogliono collocato in un ufficio fino ad almeno gli anni '80 del XX secolo; attualmente è disperso.

over two centuries ago: in winter, the pendulum is generally ahead by half a second a day, in summer it is behind by one and a half seconds (variations resulting from monthly checks).

The Specola's other pendulums in 1810

At the Specola, the Kendall replaced other earlier, less precise clocks. One of these was a pendulum built by the English watchmaker John Ellicott (1706-1772). De Vecchi wrote:

Clock No. 2 is by the famous Ellicott and belonged to the Pisan Astronomer Perelli³. It presents the degree of precision typical of its time, but is considerably inferior to that which we found in Kendall's clock. This clock, which marks the mean time proximally [...] is located in the upper octagonal room, and is normally used for the observation of satellite eclipses (De Vecchi 1810).

The Ellicott pendulum, regulated to mean time, was then used in the observation room of the Specola. In this clock, the centre of gravity of the oscillating weight was kept constant under various atmospheric conditions by a complex lever mechanism contained in the lens at the end of the pendulum rod. Perhaps to improve its performance, the clock was subsequently modified to mercury compensation⁴: with this method, the expansion of the rod is counterbalanced by the expansion of the mercury, placed in a container that replaces the lens, in the opposite direction.

At Arcetri, the pendulum was placed in the Sala Meridiana until it was dismantled (Fig. 2). According to some rumours, it was placed in an office until at least the 1980s; its whereabouts are currently unknown.

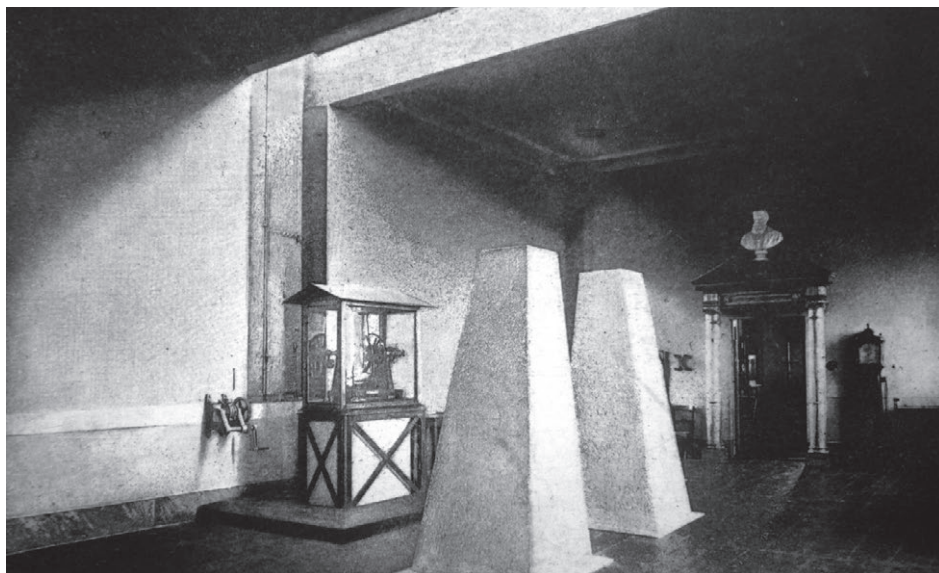


Figura 2. Il pendolo Ellicott sulla parete ovest della Sala meridiana a inizio XX secolo (Abetti 1901c). La struttura sul muro a forma di "X" dall'altro lato della porta è il supporto del meccanismo del pendolo di Kendall, a quel tempo spostato temporaneamente nel Cupolino Est. La porta conduceva alla stanza del pendolo normale Cavignato/Mioni. In primo piano, davanti alla fenditura del meridiano, lo strumento dei passaggi usato per la determinazione del tempo.

Figure 2. The Ellicott pendulum on the west wall of the Sala Meridiana at the beginning of the 20th century (Abetti 1901c). The X-shaped structure on the wall on the other side of the door is the support for the mechanism of Kendall's pendulum, which had been moved temporarily to the East Dome at that time. The door led to the room of the Cavignato/Mioni normal pendulum. In the foreground, in front of the meridian slit, is the transit instrument used to determine time.

Another pendulum was a *masterpiece* by the Viennese watchmaker Lorenz Schwartz (18th-19th century). De Vecchi, did not, however, agree with this qualification:

Clock N°. 3 is the work of the German Schwartz. It bears the title of masterpiece (Maister stuck); this title is far from being appropriate, since at present it is accompanied by very evident intrinsic defects, such that no observer would trust it. [...] the diurnal motion of this clock is very variable, and embarrasses the observer who wishes to acknowledge its course. However, it is placed in the meridian room, and marks the mean time proximally (De Vecchi 1810).

After astronomy was relocated to Arcetri in 1872, this pendulum remained at the Specola, which was reduced to a meteorological and then a geophysical observatory. The Specola also retained the service of reporting the mean time to the city: initially, measurements continued to be taken on site by observing the passage of the Sun on the meridian line, but later the measurements taken in Arcetri were increasingly used, communicated to the Specola by simple telephone calls. In the inventories of the Meteorological/Geophysical Observatory⁵, Schwartz's clock is the only astronomical pendulum in use, having been altered to mercury compensation (originally the rod was not compensated). It is therefore probable that it was the clock used to keep the mean time (measured at the Specola or transmitted from Arcetri), then communicated every noon, again by telephone, to Fort Belvedere for the firing of the *votapentole* cannon, from 1899, or to activate the anti-aircraft sirens, used between 1936 and 1944 (Bianchi 2019).

When the Geophysical Observatory was closed down in 1952, some of its instruments

Un altro pendolo era un *capolavoro* dell'orologiaio viennese Lorenz Schwartz (sec. XVIII-XIX). De Vecchi però non condivideva questa qualifica:

L'Orologio N.º III è dovuto al Tedesco Schwartz. Esso porta scritto il titolo di capo d'opera (Maister stuck); lungi per altro che questo titolo possa convenirgli attualmente è accompagnato da de' difetti intrinseci sensibilissimi, che niuno Osservatore s'affiderebbe a lui. [...] il moto proprio diurno di quest'Orologio è variabilissimo, ed imbarazza non poco l'Osservatore che voglia riconoscere il suo andamento. Tuttavia è collocato nella stanza meridiana, e segna il tempo medio prossimamente (De Vecchi 1810).

Dopo lo spostamento definitivo dell'astronomia ad Arcetri nel 1872, questo pendolo rimase alla Specola, ridotta ad un osservatorio meteorologico e poi geofisico. Alla Specola rimase anche il servizio di segnalazione del tempo medio alla città: all'inizio le misure continuarono ad essere effettuate in loco osservando il passaggio del Sole sulla linea meridiana, ma poi ci si avvalese sempre più delle misure fatte ad Arcetri, comunicate alla Specola con semplici chiamate telefoniche a voce. Negli inventari dell'Osservatorio meteorologico/geofisico⁵, l'orologio di Schwartz è l'unico pendolo astronomico in dotazione, modificato per avere la compensazione a mercurio (mentre in origine l'asta non era compensata). È quindi probabile che sia stato l'orologio usato per conservare il tempo medio (misurato alla Specola o trasmesso da Arcetri), poi comunicato ogni mezzogiorno, sempre via telefono, al Forte Belvedere per lo sparo del cannone *votapentole*, dal 1899, o per azionare le sirene antiaeree, usate nel periodo dal 1936 al 1944 (Bianchi 2019).

were transferred to Arcetri: the last mention of the clock is found in an inventory compiled after 1975, in which it is described as a "Wall clock which strikes the hour and half-hour [...] built by Lorenz Schwartz in Vienna, Maister Stuck, and purchased from the watchmaker Battelli"⁶. All traces of this clock have been lost too.

The last pendulum among the Specola's original equipment was made by Joao Jacinto de Magalhaes (1722-1790):

Giovanni Magellan presided over the construction of Clock No. 4, perhaps following some of its methods. However, he does not deserve the honour of this name, much less that of occupying a place in an Observatory. After having troubled our craftsmen at length to reduce it to an ordinary motion, I had to give it up altogether, and leave it idle and motionless in a corner of the upper octagonal room (De Vecchi 1810).

It is no wonder, therefore, that no subsequent use can be found for it. And perhaps it is precisely because of its uselessness for astronomy that the instrument still exists: it is preserved today in the Galileo Museum's vault.

The Manetti and Cavignato-Mioni pendulums

One of the craftsmen employed by the Florence Museum for repair work and instrument construction in the first two decades of the 19th century was Filippo Manetti (18th-19th cen-

Soppresso l'Osservatorio geofisico nel 1952, alcuni dei suoi strumenti passarono ad Arcetri: l'ultima menzione dell'orologio rimane in un inventario compilato dopo il 1975, in cui viene descritto come "Pendola da muro con suoneria ore e mezze [...] costruita da Lorenz Schwartz in Wien, Maister Stuck, ed acquistata dall'orologiaio Battelli"⁶. Anche di questo orologio non c'è più traccia.

L'ultimo pendolo nella dotazione originale della Specola si deve a Joao Jacinto de Magalhaes (1722-1790):

Alla costruzione dell'Orologio N.° IV ha presieduto Giovanni Magellan seguendo forse alcuno de' suoi metodi. Esso non merita però l'onore di questo nome, e molto meno quello d'occupare un posto in un Osservatorio. Dopo d'avere inquietati per lungo tempo i nostri artisti per ridurlo ad un moto qualunque, ho dovuto rinunziarvi affatto, e lasciarlo inoperoso ed immobile in un angolo della sala ottagonale superiore (De Vecchi 1810).

Non è quindi da meravigliarsi se non se ne trova alcun utilizzo successivo. E forse proprio grazie alla sua inutilità per l'astronomia lo strumento esiste ancora: è oggi conservato nel deposito del Museo Galileo.

I pendoli Manetti e Cavignato-Mioni

Fra gli artigiani utilizzati nei primi due decenni del XIX secolo dal Museo di Firenze, per lavori di riparazione e costruzione di strumenti, figura Filippo Ma-

tury), "a highly skilled mechanic and watchmaker in this city [of Florence]" (Targioni Tozzetti 1818). Manetti was called upon several times to restore the Kendall pendulum⁷: this experience probably enabled him to make a copy of the English pendulum, with an identical rod compensation (Fig. 1).

The clock was purchased for the Specola towards the middle of the 19th century; in fact, it appears in an 1854 update to the 1839 Inventory of Astronomical Instruments: "a pendulum built by Manetti in imitation of the Kendall pendulum that exists in the Observatory"⁸. Regulated to sidereal time, it was initially placed in the Sala Meridiana of the new Arcetri Observatory. It was then moved in 1877 to Amici's equatorial; subsequently, as with the Kendall, an electric switch was applied to it, to record time on a chronograph in use in the dome. It has been alongside the telescope ever since, and is still found in the dome of the Amici Pavilion of Arcetri Observatory, where they were both installed in 1959.

A more modern pendulum was purchased by Antonio Abetti (1846-1928), director from December 1893. It was built by Sante Mioni (1863-1928), a mechanic at the Workshop of the Padua Observatory, under the direction of Giuseppe Cavignato (1851-1915). Abetti was familiar with the products of the Padua workshop, having worked at that observatory for a long time. The clock was a copy of a pendulum by the English watchmaker Charles Frodsham (1810-1871), with a Graham escapement and mercury compensation⁹.

In 1894, the Cavignato-Mioni pendulum was placed in an isolated room under the West Dome, which was accessed from the Sala Meridiana (Fig. 2 and 3), replacing the Kendall as

netti (sec. XVIII-XIX), “abilissimo meccanico e orologiaio di questa Città [di Firenze]” (Targioni Tozzetti 1818). Più volte Manetti venne chiamato per restauri del pendolo Kendall: questa esperienza probabilmente gli permise di realizzare una copia del pendolo inglese, con una identica compensazione a verghe (Fig. 1).

L'orologio venne acquistato per la Specola verso la metà del XIX secolo; figura infatti in un aggiornamento, datato 1854, all'Inventario degli strumenti astronomici del 1839: “un pendolo costruito dal Manetti ad imitazione di quello di Kendall che esiste nell'Osservatorio”⁸. Regolato sul tempo siderale, venne inizialmente collocato nella Sala meridiana del nuovo Osservatorio di Arcetri. Fu poi spostato nel 1877 all'equatoriale di Amici; successivamente gli venne applicato, come al Kendall, un interruttore elettrico per registrare il tempo su un cronografo in uso nella cupola. Da allora è sempre stato affiancato al telescopio, e tuttora si trova nella cupola del Padiglione Amici dell'Osservatorio di Arcetri, dove furono entrambi collocati nel 1959.

Un pendolo più moderno venne acquistato da Antonio Abetti (1846-1928), direttore dal dicembre 1893. Fu costruito da Sante Mioni (1863-1928), meccanico dell'Officina dell'Osservatorio di Padova, sotto la direzione di Giuseppe Cavignato (1851-1915). Abetti conosceva bene i prodotti dell'officina patavina, avendo lavorato a lungo in quell'Osservatorio. L'orologio era copia di un pendolo dell'orologiaio inglese Charles Frodsham (1810-1871), a scappamento Graham e con compensazione a mercurio⁹.

Il pendolo Cavignato-Mioni fu collocato nel 1894 in uno stanzino isolato sotto il Cupolino Ovest, a cui si accedeva dalla Sala meridiana (Fig. 2 e 3), e sop-

the normal clock (of the Observatory and the city). Its deviations from the time measured by the passage of the stars at the meridian were written down in a special register, so that the time could be corrected without necessarily adjusting the clock. The same was done for the other three pendulums (Manetti, Kendall and Ellicott), which were compared daily with the normal pendulum (Abetti 1896). The Cavignato-Mioni pendulum was also electrically connected to a chronograph, used in conjunction with the Observatory's new transit instrument, the *small Bamberg meridian* (Fig. 2). A few decades later, determination of time using the transit instrument was put into retirement: starting with some experiments in 1923 (Abetti 1924), the Observatory procured an instrument for receiving the time signal via radio (Fig. 3). From then on, the task of “making clocks” consisted of checking the pendulums on the basis of the radio signal (Fracastoro 1982).

All traces of the Cavignato-Mioni pendulum were lost after the Sala Meridiana was dismantled: the last time it was mentioned was in the post-1975 Inventory.

A newcomer: the Officina Galileo pendulum

A “new” pendulum, donated by the engineer Giacomo Franceschini, arrived at the Arcetri Observatory in autumn 2023. The engineer's life was always intertwined with that of a historic Florentine company, Officine Galileo (now part of Leonardo Spa). The company was a kind of family to him, where he himself had worked, as had his father and maternal grandfather, Giulio Martinez (1870-1957), who owned it from 1895 to 1907 (when it was still called “Officina”,

piantò il Kendall come orologio normale (dell'Osservatorio e della città). Le sue deviazioni rispetto al tempo misurato col passaggio degli astri al meridiano venivano scritte su un apposito registro, in modo da poter correggere l'ora senza necessariamente registrare l'orologio. Lo stesso veniva fatto per gli altri tre pendoli (Manetti, Kendall e Ellicott), confrontati giornalmente con il pendolo normale (Abetti 1896). Anche il pendolo Cavignato-Mioni era collegato elettricamente ad un cronografo, utilizzato insieme al nuovo strumento dei passaggi dell'Osservatorio, il *Piccolo Meridiano di Bamberg* (Fig. 2). Qualche decennio dopo, le determinazioni di tempo con lo strumento dei passaggi andarono in pensione: a partire da alcuni esperimenti nel 1923 (Abetti 1924), l'Osservatorio si procurò un apparecchio per la ricezione del segnale orario via radio (Fig. 3). Da allora la mansione di “fare gli orologi” consistette nel controllare i pendoli sulla base del segnale radio (Fracastoro 1982).

Anche del pendolo Cavignato-Mioni, dopo lo smantellamento della Sala meridiana, si sono perse le tracce: l'ultima volta che viene nominato è nell'Inventario post 1975.

Un nuovo arrivato: il pendolo Officina Galileo

Nell'autunno 2023 è arrivato all'Osservatorio di Arcetri un “nuovo” pendolo, donato dall'Ing. Giacomo Franceschini. La vita dell'Ingegnere è sempre stata

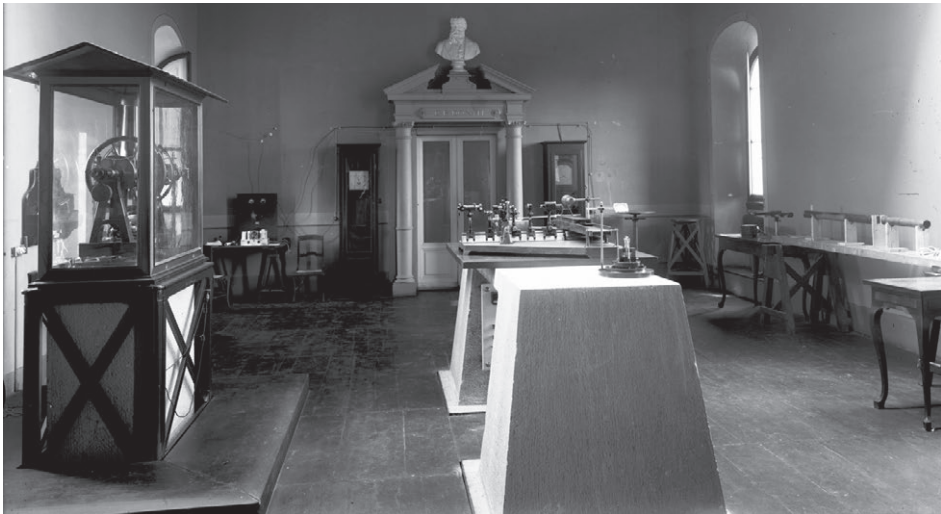


Figura 3. La Sala meridiana nel 1936 con il pendolo Kendall (a sinistra) e Ellicott (a destra). Entrambi i pendoli erano protetti da una vetrinetta. A sinistra del Kendall, l'apparato radio per la ricezione del segnale orario (Archivio INAF/Arcetri).

Figure 3. The Sala Meridiana in 1936 with the Kendall (left) and Ellicott (right) pendulums. Both pendulums were protected by a glass case. To the left of the Kendall, we can see the radio apparatus for receiving the time signal (Archivio INAF/Arcetri).

intrecciata con quella di una storica azienda fiorentina, le Officine Galileo (oggi parte di Leonardo Spa). L'azienda era per lui una sorta di famiglia, dove non solo aveva lavorato personalmente, ma l'avevano fatto anche il padre ed il nonno materno, quel Giulio Martinez (1870-1957) che ne fu proprietario dal 1895 al 1907 (quando ancora si chiamava "Officina", al singolare). Franceschini viveva poi nella stessa palazzina dove aveva vissuto il nonno, adiacente ad una vecchia sede dell'Officina; conservava nel suo appartamento una ricca collezione di strumenti prodotti della Galileo. Fra questi spiccava un "pendolone", con scappamento Denison e compensazione a mercurio (contenuto in sei ampolle distinte), costruito nel 1896: una sorta di cimelio aziendale e familiare, donato da Giulio Martinez ai genitori di Franceschini in occasione del loro fidanzamento (Franceschini 2004).

Da tempo l'Ingegnere cercava una collocazione adeguata, una collezione che permettesse di esporre al pubblico questo pregevole saggio dell'arte meccanica fiorentina, e per questo aveva già contattato il noto fisico e storico della scienza Paolo Brenni (1954-2021; Schechner, Giatti & Strano 2022). Il desiderio di Franceschini si è poi concretizzato, grazie all'interessamento di Anna Giatti, con la donazione del pendolo all'Osservatorio di Arcetri. L'Osservatorio ha accettato ben volentieri, anche per il legame dell'istituto con le Officine Galileo: fu infatti il fondatore dell'Osservatorio, l'astronomo Giovanni Battista Donati (1826-1873), a ideare il primo nucleo dell'Officina, e la prima commessa fu proprio la montatura equatoriale originale del telescopio Amici (Bianchi, Galli & Gasperini 2012).

Il pendolo delle Officine Galileo, collocato nella cupola del telescopio Amici insieme al Manetti (Fig. 1), compensa l'Osservatorio dei pendoli a mercurio per-

singular). Franceschini then lived in the same building where his grandfather had lived, next to the old Officina premises; he kept a rich collection of instruments produced by the Galileo company in his flat. Among these was a "pendulum clock", with a Denison escapement and mercury compensation (contained in six separate ampoules), built in 1896: a sort of company and family heirloom, donated by Giulio Martinez to Franceschini's parents at the time of their engagement (Franceschini 2004).

The engineer had been looking for a suitable location for some time, a collection that would allow this valuable example of Florentine mechanical art to be exhibited to the public, and, with this in mind, had already contacted the well-known physicist and historian of science Paolo Brenni (1954-2021; Schechner, Giatti & Strano 2022). Franceschini's desire was fulfilled thanks to the interest of Anna Giatti, with the donation of the pendulum to the Arcetri Observatory. The Observatory gladly accepted, not least because of the institute's link with Officine Galileo: it was in fact the Observatory's founder, astronomer Giovanni Battista Donati (1826-1873), who conceived the Officina's first nucleus, and the first order was the original equatorial mount of the Amici telescope (Bianchi, Galli & Gasperini 2012).

The Officine Galileo pendulum, placed in the dome of the Amici telescope together with the Manetti (Fig. 1), compensates for the Observatory's lost mercury pendulums; it also recalls, albeit indirectly, the time when these instruments were used to tell the time in Florence. In fact, Franceschini's "pendolone" is similar to another pendulum from the Officina Galileo used as a normal pendulum at the Ximénian Observatory, located in the city centre and run by the Scolo-

duti; ricorda anche, se pur indirettamente, l'epoca in cui questi strumenti servivano alla segnalazione del tempo a Firenze. Infatti, il "pendolone" di Franceschini è simile ad un altro pendolo dell'Officina Galileo usato come pendolo normale all'Osservatorio Ximeniano, situato nel centro cittadino e retto dai padri Scolopi. Il direttore Padre Guido Alfani (1876-1940) fu un pioniere dell'utilizzo del segnale orario via radio, trasmesso dalla Torre Eiffel, grazie ad una stazione ricevente installata già nel 1912. Regolato su questo segnale, il pendolo normale dello Ximeniano (oggi conservato nel Museo della Tecnologia "A. Tiezzi" della Galileo a Campi Bisenzio) trasmetteva elettricamente l'ora ad altri pendoli, fra cui uno nella portineria dell'Osservatorio a pianterreno, accessibile ai cittadini che volessero regolare i propri orologi (Alfani 1928, Franceschini, Bartalesi & Romeo 2014).

L'ingegner Franceschini ha curato ogni passaggio della donazione del suo "pendolone", finanche gli aspetti burocratici; è stato presente durante lo smontaggio, il trasporto ed il suo successivo rimontaggio ad Arcetri, ad opera di Gilberto Falcini e Jacopo Lenzi dell'Osservatorio di Arcetri, e del proprio tecnico fidato (e già collega alla Galileo) Pino Cattonar. Ha ricontrollato più volte l'andamento dell'orologio, fino alla settimana precedente alla sua inaugurazione. Questa è avvenuta il 6 dicembre 2023, alla presenza dell'allora direttrice dell'Osservatorio Sofia Randich e di molti familiari, colleghi e amici di Giacomo; purtroppo non ha potuto partecipare lui stesso, mancato improvvisamente pochi giorni prima. Ha consolato i presenti la constatazione che il desiderio dell'Ingegnere, espresso a più riprese a molte persone nel corso degli anni, è stato finalmente esaudito. A lui è dedicato questo scritto.

pian fathers. The director, Father Guido Alfani (1876-1940), pioneered the use of the time signal via radio, transmitted from the Eiffel Tower, thanks to a receiving station installed as early as 1912. Adjusted to this signal, the normal pendulum of the Ximenian (now housed in the "A. Tiezzi" Galileo Museum of Technology in Campi Bisenzio) electrically transmitted the time to other pendulums, including one in the Observatory reception on the ground floor, accessible to citizens who wanted to adjust their clocks (Alfani 1928, Franceschini, Bartalesi & Romeo 2014).

Franceschini oversaw every step of the donation of his "pendolone", even the bureaucratic aspects; he was present during its disassembly, transport and subsequent reassembly in Arcetri by Gilberto Falcini and Jacopo Lenzi of the Arcetri Observatory, and his trusted technician (and former colleague at the Galileo) Pino Cattonar. He checked the performance of the clock several times, up until the week before its inauguration. This took place on 6 December 2023, in the presence of the then Observatory Director Sofia Randich and many of Giacomo's family, colleagues and friends; unfortunately, he himself was unable to attend, having passed away suddenly a few days earlier. What consoled those present was the realisation that the engineer's wishes, expressed on several occasions to many people over the years, had finally been granted. This paper is dedicated to him.

Notes

¹ The second type of instruments includes those for measuring the positions of the stars, supported by the telescope. See also Abetti (1901a).

Note

¹ La seconda tipologia di strumenti include quelli per la misura delle posizioni stellari, coadiuvati dal telescopio. Vedasi anche Abetti (1901a).

² Lo spostamento avvenne in occasione della riparazione di un altro pendolo nella Sala meridiana (il Manetti che incontreremo successivamente; Archivio INAF/Arcetri, Fondo Tempel, Serie 4.2, fascicolo 1).

³ Il pendolo faceva parte dell'eredità di Tommaso Perelli (1704-1783), direttore della specola di Pisa. All'inizio del 1784 se ne approvò l'acquisto per il Museo di Firenze, a patto che fosse esaminato a Pisa dal successore di Perelli, Giuseppe Antonio Slop di Candemberg (1740-1808) (Archivio Museo Galileo, ARMU Affari 001, c. 159).

⁴ Un inventario datato 1839 lo descrive come "Un orologio a pendolo con compensazione ~~a leve~~ a mercurio nella lente e fusto della medesima [...] eseguito in Londra da Elliot [sic]", dove le parole cassate e l'aggiunta "a mercurio" hanno grafia diversa (Archivio Museo Galileo, ARMU Cataloghi e inventari 12). Nell'Inventario dei beni mobili post 1975 dell'Osservatorio di Arcetri è indicato come "Orologio inglese Ellicolt [sic], con pendolo a mercurio contenuto in un vaso di marmo" (Archivio INAF/Arcetri, Fondo Archivio istituzionale, Contabilità/inventari dei beni).

⁵ Archivio INAF/Arcetri, Fondo Giorgio Abetti, Serie 1.7, fascicolo 18, Osservatorio Geofisico di Via Romana, Inventari di beni 1910-1944.

⁶ Inventario post 1975, cit. nota 4.

⁷ Come ad esempio nel 1819 (Archivio Museo Galileo, ARMU spese 38, conto di Manetti del 13/12/1819).

⁸ Inventario 1939, cit. nota 4.

⁹ Relazione di A. Abetti, Padova, 30/3/1894 (Archivio Università di Firenze, Carteggio della Sovrintendenza, 1894/83). Forse si tratta della copia del Frodsham tuttora conservato all'Osservatorio di Padova.

² The move took place during the repair of another pendulum in the Sala Meridiana (the Manetti that we will discuss later; Archivio INAF/Arcetri, Fondo Tempel, Serie 4.2, fascicolo 1).

³ The pendulum was part of the legacy of Tommaso Perelli (1704-1783), director of the Specola of Pisa. Its purchase for the Florence Museum was approved at the beginning of 1784, on condition that it be examined in Pisa by Perelli's successor, Giuseppe Antonio Slop of Candemberg (1740-1808) (Archivio Museo Galileo, ARMU Affari 001, c. 159).

⁴ An inventory dated 1839 describes it as "A pendulum clock with ~~a lever~~ a mercury compensation in the lens and shaft [...] made in London by Elliot [sic]", where the words with the line drawn through it and the addition of "mercury" are written differently (Archivio Museo Galileo, ARMU Catalogues and inventories 12). In the post-1975 Inventory of assets of the Arcetri Observatory, it is indicated as an "English Ellicolt [sic] clock, with mercury pendulum contained in a marble vessel" (Archivio INAF/Arcetri, Fondo Archivio istituzionale, Accounts/inventories of assets).

⁵ Archivio INAF/Arcetri, Fondo Giorgio Abetti, Serie 1.7, fascicolo 18, Osservatorio Geofisico in Via Romana, Inventory of Assets 1910-1944.

⁶ Inventory post 1975, cit. note 4.

⁷ As in 1819 for example (Archivio Museo Galileo, ARMU spese 38, Manetti account dated 13/12/1819).

⁸ Inventory 1939, cit. note 4.

⁹ Report by A. Abetti, Padua, 30/3/1894 (Archivio Università di Firenze, Carteggio della Sovrintendenza, 1894/83). This may be a copy of the Frodsham still conserved at the Padua Observatory.

Bibliografia

- Abetti, A. (1896). Sulle determinazioni di tempo, sull'azimut della mira meridiana e su quello conseguente di Monte Senario. *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astronomico di Arcetri*, vol. 5, pp. 35-45.
- Abetti, A. (1901a). *Galileo in Arcetri. Discorso inaugurale letto nell'Aula Magna del R. Istituto di studi superiori e di perfezionamento in Firenze il 4 novembre 1901*. Galletti & Cocci, Firenze.
- Abetti, A. (1901b). Piccolo Equatoriale di Fraunhofer. *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astronomico di Arcetri*, vol. 15, pp. 63-65.
- Abetti, A. (1901c). *L'Osservatorio astronomico di Arcetri. Appunti storici ed illustrazioni*. Galletti & Cocci, Firenze.
- Abetti, G. (1924). Premessa. *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astronomico di Arcetri*, vol. 41, pp. 5-8.
- Alfani, G. (1928). *L'Osservatorio Ximeniano e il suo materiale scientifico. Vol. IX: il servizio dell'ora*. Firenze: Tipografia Barbera.
- Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2012). Il primo osservatorio astronomico d'Italia. La nascita dell'Osservatorio di Arcetri. *Il Colle di Galileo*, Vol. 1, n. 1-2, pp. 55-70.
- Bianchi, S. (2019). Il segnale orario a Firenze. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, anno LXXIV, n. 1, pp. 61-89.
- Bianchi, S. (2020). The time signal in Florence. *Proceedings of the 39th Annual Conference of the Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia*, pp. 367-372. Pisa University Press.

Bibliography

- Abetti, A. (1896). Sulle determinazioni di tempo, sull'azimut della mira meridiana e su quello conseguente di Monte Senario. *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astronomico di Arcetri*, vol. 5, pp. 35-45.
- Abetti, A. (1901a). *Galileo in Arcetri. Inaugural address read in the Aula Magna of the R. Istituto di studi superiori e di perfezionamento in Florence on 4 November 1901*. Galletti & Cocci, Florence.
- Abetti, A. (1901b). Piccolo Equatoriale di Fraunhofer. *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astronomico di Arcetri*, vol. 15, pp. 63-65.
- Abetti, A. (1901c). *L'Osservatorio astronomico di Arcetri. Appunti storici ed illustrazioni*. Galletti & Cocci, Florence.
- Abetti, G. (1924). Premessa. *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astronomico di Arcetri*, vol. 41, pp. 5-8.
- Alfani, G. (1928). *L'Osservatorio Ximeniano e il suo materiale scientifico. Vol. IX: il servizio dell'ora*. Tipografia Barbera, Florence.
- Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2012). Il primo osservatorio astronomico d'Italia. La nascita dell'Osservatorio di Arcetri. *Il Colle di Galileo*, Vol. 1, n. 1-2, pp. 55-70.
- Bianchi, S. (2019). Il segnale orario a Firenze. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, year LXXIV, n. 1, pp. 61-89.

- Cipolletti, D. (1872). Il nuovo Osservatorio astronomico di Firenze. *La Nazione*, 27/10/1872
- De Vecchi, D. (1810). Memorie del professore d'astronomia. *Annali del Museo Imperiale di Fisica e Storia Naturale*, Vol. I. Piatti, Firenze.
- Favaro, A. (a cura di, 1897). Le Operazioni Astronomiche, in *Le opere di Galileo Galilei: edizione nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il Re d'Italia*, Vol. VIII, pp. 453-466. G. Barbèra, Firenze.
- Fracastoro M. G. (1982). Quando il mago domandò «Chi vuol fare l'astronomo?». *La Stampa*, 24/2/1982
- Franceschini G. (2004). Storia e descrizione tecnica di un pendolo centenario della Officina Galileo. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, anno LIX, n. 6, pp. 909-916.
- Franceschini G., Bartalesi, F., Romeo, L. (2014). *Il pendolo astronomico della Officina Galileo*. Selex ES, Campi Bisenzio (FI).
- Schechner, S. J., Giatti, A., & Strano, G. (2022). In Memory of Paolo Brenni (1954-2021). *Physis*, 57(1), 360-366.
- Targioni Tozzetti, A. (1818). *Rapporto delle adunanze tenute dalla terza classe dell'Accademia delle belle arti e dei perfezionamenti delle manifatture in Toscana*. Piatti, Firenze.

Bianchi, S. (2020). The time signal in Florence. *Proceedings of the 39th Annual Conference of the Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia*, pg. 367-372. Pisa University Press.

Cipolletti, D. (1872). Il nuovo Osservatorio astronomico di Firenze. *La Nazione*, 27/10/1872

De Vecchi, D. (1810). Memorie del professore d'astronomia. *Annali del Museo Imperiale di Fisica e Storia Naturale*, Vol. I. Piatti, Florence.

Favaro, A. (ed., 1897). Le Operazioni Astronomiche, in *Le opere di Galileo Galilei: edizione nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il Re d'Italia*, Vol. VIII, pp. 453-466. G. Barbèra, Florence.

Fracastoro M. G. (1982). Quando il mago domandò «Chi vuol fare l'astronomo?». *La Stampa*, 24/2/1982

Franceschini G. (2004). Storia e descrizione tecnica di un pendolo centenario della Officina Galileo. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, year LIX, n. 6, pp. 909-916.

Franceschini G., Bartalesi, F., Romeo, L. (2014). *Il pendolo astronomico della Officina Galileo*. Selex ES, Campi Bisenzio (FI).

Schechner, S. J., Giatti, A., & Strano, G. (2022). In Memory of Paolo Brenni (1954-2021). *Physis*, 57(1), 360-366.

Targioni Tozzetti, A. (1818). *Rapporto delle adunanze tenute dalla terza classe dell'Accademia delle belle arti e dei perfezionamenti delle manifatture in Toscana*. Piatti, Florence.



Machine Learning at GGI

Florence 22/08/2022 - 30/09/2022

Organizers

Massimo Brescia (INAF Naples)
Filippo Caruso (U. Florence)
S. George Djorgovski (Caltech)
Duccio Fanelli (U. Florence)
Alessandro Marconi (U. Florence)
Florian Marquardt (Max Planck Erlangen)
Giuliano Panico (U. Florence)
Jesse Thaler (MIT)
Andrea Wulzer (CERN & U. Padua)

Abstract. Machine learning (Machine-learning) has become an important toolbox for theoretical and experimental physics, and its importance is expected to grow steadily over the years to come. Thanks to its effectiveness and extreme flexibility, it can be applied in a huge set of topics, ranging from statistical data analysis to simulation and modelling. For this reason, Machine learning has been successfully used in very different research areas, such as high-energy physics, astrophysics and cosmology, condensed matter and statistical physics. Applications in different domains often share strong similarities either in the problems to be solved or in the methodology employed. This motivates a fruitful exchange of ideas which is, however, seldom achieved in practice due to the distance separating the various research communities. The workshop brought together researchers with interest and expertise in Machine learning from different fields in physics, strongly encouraging and promoting the cross-topic exchange of ideas and collaborations.

Keywords: machine learning, artificial intelligence, particle physics, condensed matter, astrophysics.

Scientific context

One of the best-selling textbooks on Machine Learning (“Hands on Machine Learning”, Aurelien Geron) starts with the example of a toddler who is taught the meaning of the name “apple” simply by pointing to an actual apple once. This is what the author defines as “genius”. Machines or – as they are more broadly defined, algorithms – do not learn as fast as a toddler yet, as they each need lots and lots of data (many, many pictures of the aforementioned apple for instance) to work at the desired level of precision in their tasks. With a limited set of data, machines are only exposed to a limited amount of “training”, leading literally to the comparison of apples to pears. With proper training, on the other hand, (almost) nothing is impossible.

Clearly, the apple is just an example, one which is dear to physicists, but machine-learning techniques have a much broader spectrum of applications. And even if “machines” don’t have the same level of “genius” as of a two-year old, the boom of machine-learning algorithms is already easily visible in our everyday lives. In particular, the past decade has witnessed a prodigious rise of machine-learning-based techniques, impacting many areas of industry, including autonomous driving, healthcare, finance, manufacturing, and more. The success of machine learning was initially marked by significant improvements in some existing technologies, in the field of image recognition for example, the famous identification of the “apple”. To a large extent, these advances were the first demonstrations of the impact that machine-learning methods can have on specialized tasks. More recently, applications traditionally inaccessible to automated software have been successfully enabled, in particular by deep learning technology, moving a step closer to what is expected from general artificial intelligence.

Along with the rise of machine-learning techniques in industrial applications, scientists have become increasingly interested in the potential of machine learning for fundamental research, with important consequences for physics. This is not really surprising, as both machine learning and physics share some of their methods as well as their goals. Both disciplines are concerned about the process of gathering and processing data to design models that can analyze and predict the behaviour of complex systems. The strong interplay between the two areas of research has recently received further recognition in the form of the 2024 Nobel Prize for physics, awarded to two scientists, J. Hopfield and G. Hilton, who “used tools from physics to construct methods that helped lay the foundation for today’s powerful machine learning”.

Thanks to its effectiveness and extreme flexibility, machine learning offers useful applications for a wide spectrum of research topics, ranging from statistical data analysis, to simulation and modelling. Surprisingly good results have been obtained in many cases, often surpass the efficacy of traditional techniques. All areas of theoretical and experimental physics have greatly profited from machine-learning applications, which are becoming a necessary ingredient of modern research. Unlike many other areas to which machine learning is applied, physics offers the huge benefit of providing a high degree of control over the quality of data and, in many cases, the underlying models. Such a combination of factors is particularly suitable for developing a robust understanding of the learning process, which continues to be one of the major unknown aspects of machine-learning techniques. Obtaining a description of the machine learning behaviour that can be understood and easily interpreted would be a huge step forward from the traditional use of machine learning as a “black box”. This is clearly a cross-cutting theme with extensive consequences for all the areas of research included in the workshop.

Structure of the workshop

The workshop “Machine Learning at GGI” was held at the Galileo Galilei Institute in the late summer of 2022. The program aimed to bring together researchers with interests and expertise in machine-learning from different fields in physics and strengthen the collaboration within each research area. It also strongly encouraged and promoted a cross-topic exchange of ideas. Experts from different research branches were hosted by the GGI and several fields were covered during the activities.

The focus was on the following areas: high energy physics; astrophysics, cosmology and astro-particles; condensed matter and statistical physics (including quantum information). These three macro areas were equally represented by the talks and seminars during the daily activities and also during the conference. The scientific schedule was inspired by the distinctive trait of the workshop: a focus on a theoretical physics perspective rather than on purely experimental applications. Theoretical physics was, however, interpreted in the broad sense, including phenomenological topics, in keeping with the GGI’s mission. A few experimental participants and talks were also scheduled, to provide a complete overview of machine-learning applications and their benefits for research in theoretical physics.

Participation in the workshop was numerous, with approximately thirty scientists present every day, for an overall total of around a hundred. As in the spirit of the initiatives of the GGI, most of the participants stayed in Florence for an average of two weeks.

Conference

The third week of the workshop was dedicated to an international conference. The conference lasted five days and comprised about forty plenary talks. The topics covered ranged from applied physics to cosmology (determination of cosmological parameters, dark matter detection), astrophysics (galaxy evolution), collider physics (anomaly detection, new-physics searches, Monte Carlo generators), condensed matter, quantum information and statistical physics (quantum noise, quantum machine learning), to the mathematical foundations of artificial intelligence. The recordings are available on the GGI YouTube channel.

Scientific output

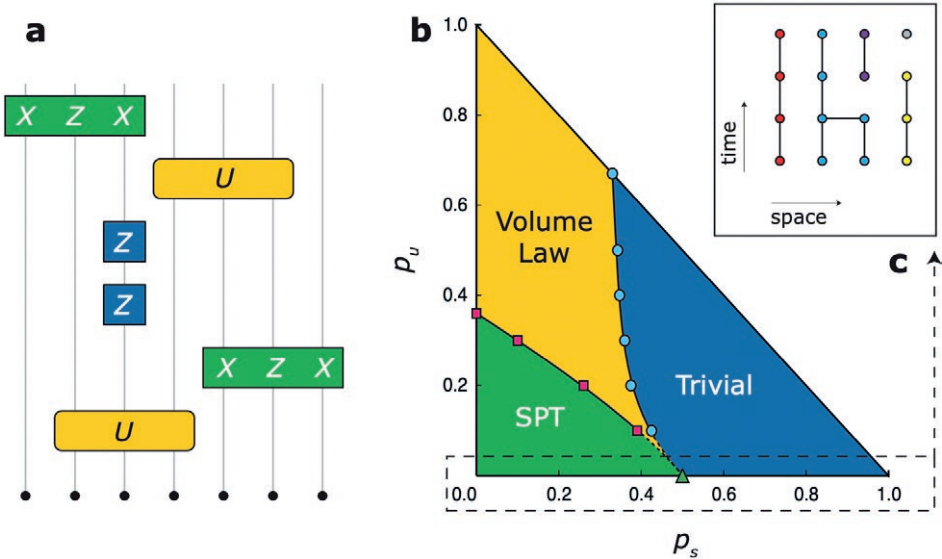
The main output of the workshop can be summarized by highlighting the main topics discussed for each of the three macro areas.

High-Energy Physics

Machine learning has been successfully applied to high-energy physics for a long time. This is particularly true for collider experiments characterized by the gathering of huge datasets, which naturally lend themselves to big-data analysis techniques. To get an idea of the vast landscape of machine-learning applications in particle physics, all you need to do is look at the hundreds of references in the “Living Review of Machine Learning for Particle Physics” (<https://iml-wg.github.io/HEPML-LivingReview/>). In this context, it is worth mentioning the discussion devoted to methods of statistical analysis and inference during the workshop, such as the use of the neural network to determine the parton distribution functions, or the use of Monte Carlo integration to achieve a fast and reliable comparison between theory and data in collider experiments.

Astrophysics and cosmology

The presence of big datasets is also a feature of modern astrophysics and cosmology, which have witnessed a rapidly growing set of machine-learning applications. In this context, time was dedicated during the workshop to activities such as the use of classification algorithms aimed at source detection in astrophysics, applications of recurrent neural networks for the search for signals in pulsar timing arrays, and the use of machine learning tools for the analysis of large-scale-structure data.



Phase diagram of random quantum circuits (Lavasani, Alavirad and Barkeshli, *Nature Phys.* 17 (2021) 342-347).

Condensed matter and statistical physics

Condensed matter and statistical physics takes advantage of the effectiveness of machine-learning in simulating complex systems. A considerable amount of time was dedicated to this field for discussions during the workshop. In particular, the new and very rapidly growing field of quantum machine learning is emerging from the interplay of quantum information theory and machine-learning techniques. Discussions on how it can enhance classical algorithms, running them on the already available and much more powerful quantum computers, was one of the main topics during the workshop. Other talks focused on the use of machine learning for classifying phases of physical systems (see figure). Finally, a set of theoretical studies on the use of spectral methods for enhancing neural-network learning efficiency was presented.



Fostering innovation through quantum technology transfer: Insights from the second Vasco Ronchi Colloquium

Arcetri, March 27, 2024

Organizers:

Francesco Saverio Cataliotti (CNR-INO, Florence)

Giulia Adembri (CNR-INO, Sesto Fiorentino)

Chiara Mustarelli (CNR-INO, Florence)

Giuseppe Lombardo (CNR-IPCF, Messina)

Annamaria Fedele (CNR-INO, Florence)

Maja Colautti (CNR-INO, Florence)

Abstract. The article presents an in-depth analysis of the topics covered by this second Vasco Ronchi Colloquium (VRC), held on March 27th 2024 at the Arcetri headquarters of the National Institute of Optics of CNR, entitled “(QU)BITS OF TECHNOLOGY TRANSFER” and focusing on quantum technologies for sensing and security. The VR Colloquia are a format of brief targeted meetings, designed specifically by CNR-INO for boosting the interaction between researchers from the institute and businesses with an effective approach which could trigger the start of a collaboration aimed at the technology transfer of the research results. The two VRCs experienced at CNR-INO have proven effective in capturing corporate interest and initiating collaborations for the transfer of technologies to the market, both with lower and higher TRLs. The fields of application of quantum technologies developed at CNR-INO and presented here range from biomedical imaging to next-generation sensors, to new data encoding methods for secure applications and transmissions. The experience of a spin-off in the reference sector that participates in the VRC serves as an important example of successful technology transfer in this specific market. At the same time, the VRC provides a valuable opportunity for spin-offs, offering a boost for potential new trade connections and opportunities for collaboration with entrepreneurs.

Keywords: Vasco Ronchi, Technology Transfer, intellectual property, quantum technology, sensing, quantum security.

Introduction

The Istituto Nazionale di Ottica of the Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-INO) is a preeminent Optics, Photonics, and Quantum Technologies research in-

stitution. Its research covers a wide range of subjects, from atomic, molecular and condensed matter physics to quantum optics, non-linear optics and advanced optical materials. The institute is dedicated to bridging fundamental science with practical applications, aiming to transfer cutting-edge technologies to society.

CNR-INO has a longstanding tradition of solving the unmet needs of society and companies, since 1927 – the year of its foundation, when expertise in Optics and the creation of optical instrumentation was a priority for the nation's security. Collaborating with industrial partners is often a key strategy to translate scientific expertise into practical applications, drive innovation, and contribute to economic growth.

Despite the critical importance of technological transfer, it presents significant challenges. Bridging the gap between advanced research and practical applications requires the navigation of complex regulatory landscapes, securing adequate funding, and fostering strong partnerships with industry. Additionally, aligning cutting-edge innovations with market needs and consumer demands is often a difficult task, requiring continuous dialogue and collaboration between researchers and companies.

To address these challenges, over the past two years CNR-INO has been promoting and organizing the *Vasco Ronchi Colloquium* (VRC) at its headquarter in Arcetri (Florence). This event facilitates connections between researchers and industrial companies through a series of short thematic talks focused on specific areas of interest. The goal is to enable researchers to effectively communicate their findings to address societal needs, while also helping companies engage with the research community to proactively tackle foreseeable industry challenges.

The Vasco Ronchi Colloquium experience

The primary goal of the VRC is to create a platform for meaningful and productive dialogue between researchers and entrepreneurs. This interaction is designed to initiate collaborative initiatives that drive technology transfer activities, bridging the gap between innovative research and practical industrial applications. The core of the initiative lies in meticulously planning the meeting around a specific research area that has potential business applications. This focused approach ensures that the discussions are relevant and valuable for both researchers and industry participants¹.

Key aspects of the VRC:

- concentration of the event into a half-day session, minimizing the time commitment for both researchers and entrepreneurs;
- presentation of 5-6 innovative enabling technologies, including a successful case of technology transfer, such as a spin-off, licensing patent or other success stories;
- invitation of a select group of targeted companies.

The VRC provides valuable insights for researchers and entrepreneurs through the participation of a recognized expert who shares their vision and experience in technological transfer. The event also highlights funding opportunities and collaboration methods with CNR-INO, presented by the Director. These topics are further explored during face-to-face interactions at the concluding networking session with a *coffee with entrepreneurs*.

The selection of companies to invite is based on their alignment with the technologies presented and their existing relationships with the researchers or CNR-INO, fostering mutual trust and collaboration.

To engage entrepreneurs, it's crucial to present technologies in *layman's terms* while clearly outlining the competitive advantages for companies adopting them. To assist researchers in this task and provide clear, concise documentation, we have created a leaflet for the technologies showcased at each VRC edition. The leaflet summarizes the value proposition, underlying physical principles or key technologies, potential market applications, and relevant intellectual property background.

Technological leaflets created for VRC editions are accessible on a dedicated CNR-INO webpage (see Figure 1). This page also provides the option to download a double-sided PDF of the leaflets.

During the inaugural edition of the Vasco Ronchi Colloquia, a range of photonic technologies were showcased, highlighting their applications across the biomedical sector, telecommunications, and various industrial fields. The success story was based on the case study of the start-up Regensight².

Organized within the framework of the National Quantum Science and Technology Institute (NQSTI) project (PE000023 PNRR Next Generation EU), the

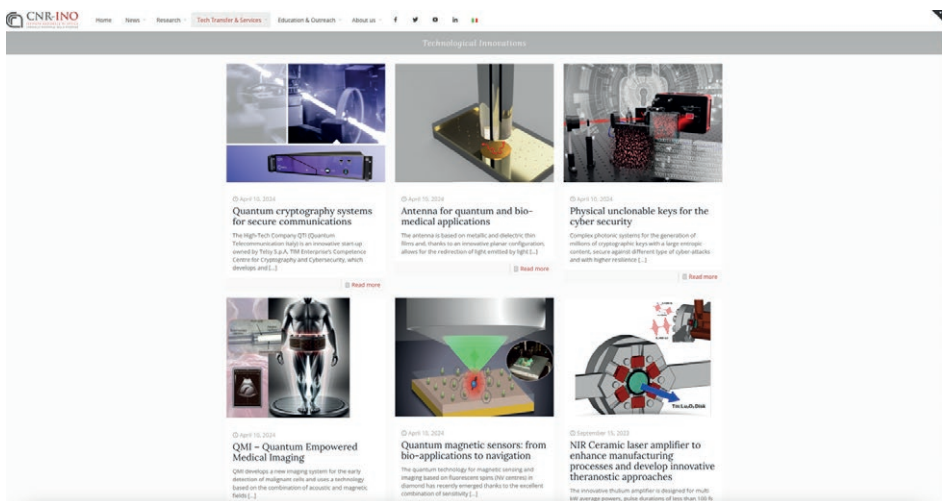


Figure 1. CNR-INO webpage dedicated to Technological Innovations portfolio accessible from Tech Transfer & Services website menu (https://www.ino.cnr.it/?page_id=21418).

second VCR showcased cutting-edge advancements in quantum technology and smart photonic materials, highlighting their applications in security and biomedical fields. A successful user case, in quantum technologies, was presented by Dr. Alessandro Zavatta, co-founder of Quantum Telecommunications Italy (QTI). QTI aims to revolutionize communication security using Quantum Key Distribution (QKD)³(see Figure 2), as stated by Dr. Zavatta:

Our idea was to use individual photons to make communications intrinsically secure, meaning they are unbreakable by any hacker, even the powerful computers of the future, such as quantum computers. Today, we can generate, manipulate, and detect single light quanta with unprecedented reliability to achieve communications systems guaranteeing the so-called unconditional security.

QTI⁴ was founded in October 2020 as a spin-off of CNR-INO. The initial challenges were numerous, including pragmatic issues typical of spin-offs originating in public research sectors, such as interactions between different entities (CNR-INO, Technical University of Denmark and University of Florence), Intellectual Property management and, most importantly, finding the funds to develop the first industrial device. The question of whether to merge with an already established company arose, as simple seed funds were insufficient. Millions of euros were needed to start bridging the technological gap with competitors and to penetrate a young but already highly competitive market.

Leveraging its scientific and entrepreneurial expertise, in Trieste, in August 2020, QTI participated in the Euro Science Open Forum (ESOF), the most sig-

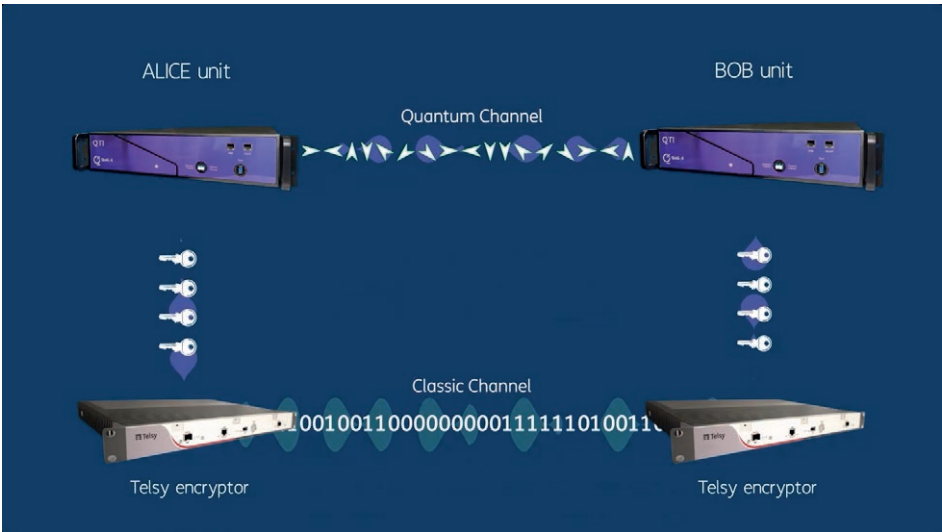


Figure 2. Quantum Key Distribution (QKD): devices that generate, encrypt and decrypt quantum cryptographic keys. Difference between classical and quantum channel systems.

nificant European event dedicated to dialogue among science, technology, society, and politics. During this event, QTI presented its first *proof-of-concept*, which was used for the first demonstration in Italy of quantum encryption communication.

This demonstration facilitated a secure video call between the Rector of the University of Trieste and the then Italian Prime Minister Giuseppe Conte, connecting the port of Trieste with the Rectorate of the University of Trieste. The event received significant media coverage, sparking interest in QTI's activities and leading to involvement in new research initiatives both in Italy and abroad. Following this success, QTI was invited to organize another public demonstration of quantum communication during the G20 ministerial meeting on digitalization in Trieste in 2021⁵. This event marked the first encrypted quantum communication link between three European countries, with a real-time video call transmitting a live concert between Trieste, Rijeka and Ljubljana, and demonstrated that QKD technology ensured unconditionally secure live communications and accurate reporting, marking a real-world use of quantum technology.

Today, QTI operates within the TIM Group and markets turn-key QKD systems that are compatible with existing telecom infrastructure. QTI is also a QKD provider of the EuroQCI network, the European Union's initiative aimed at building a secure quantum communication infrastructure that will span the whole EU territory.

Alongside the successful use case, other CNR-INO researchers also presented their work within the quantum and smart materials field, using simple and direct language to showcase the technological potential of their studies to the business audience. The next section discusses the main concept of their activities and potential applications.

Quantum and Smart material applications illustrated during 2nd VRC edition

1st Technology - Antenna for quantum and bio-medical applications

By Mario Agio, Costanza Toninelli

A planar antenna configuration aims to achieve the efficient collection and detection of the extremely faint signals emitted by microscopic light sources, such as single fluorescent molecules, thanks to the efficient redirection of their radiation pattern.

The operating principle of this technology is very similar to that of a Yagi-Uda antenna, where dipole elements are arranged to obtain the desired radiation characteristics, that may not be achievable by a single element. The antenna configuration can be optimized so that the contribution of the elements adds up to give maximum radiation in a particular direction or directions, minimum radiation in others, or otherwise as desired. In this way, the radiation pattern of interest can be designed according to the needs for the specific applications.

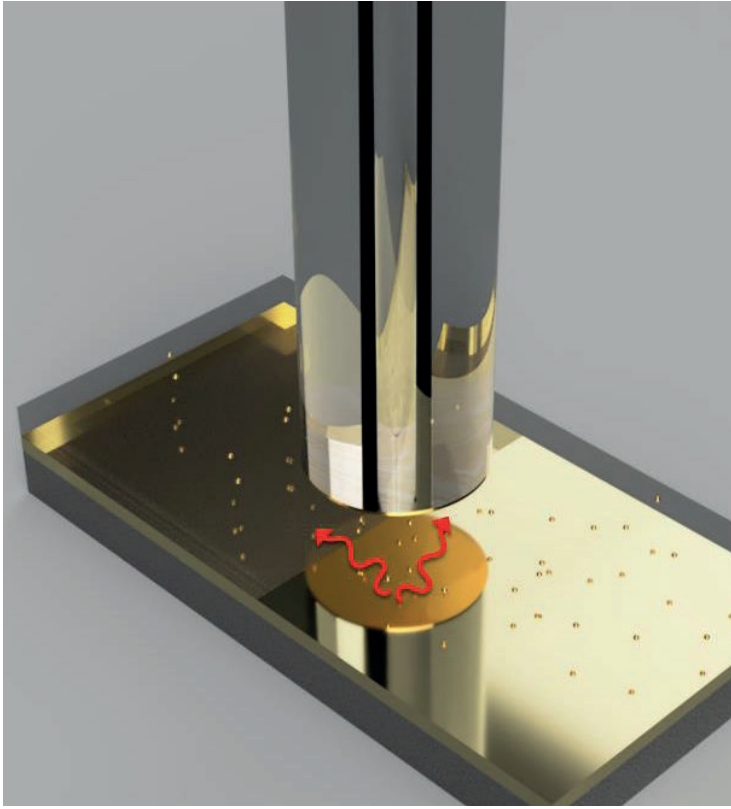


Figure 3. A schematic realization of the planar antenna made up of dipole elements arranged in order to obtain a specific radiation patterns.

The planar antenna configuration presented here is inspired by this concept and adapts it to the case of microscopic light sources, such as single-photon emitters, for which having an efficient interface for photon extraction is key to process the weak signals for the desired applications. In this scenario, the researchers replaced the array of resonant elements of the Yagi-Uda antenna with a multilayer of thin metallic and dielectric films. The dielectric films are placed in the middle of the multilayer structure to embed the microscopic light sources while preserving their photo-physical characteristics. The metallic outer layers act as reflector and director of the light emitted, and, thanks to an interference effect, allow the redirection of the radiation pattern, making it possible to efficiently collect/detect even very weak light signals down to 100 fW and below by simply approaching the fibre with an optical fibre. This innovative planar configuration overcomes the technological challenges of more complex nanostructures involving 3D elements, which require high-resolution micromachining techniques to pattern and etch thin films or depositing materials. Indeed, the planar antenna presented can

be implemented via standard thin-film deposition methods, like spin-coating and sputter-coating. Thanks to the simplicity and efficiency of the configuration, this technological offer can be incorporated into optical systems, directly coupling the redirected emission to an optical fibre without the need for any additional optical element, thereby minimizing costs and complexity compared to standard instruments, which typically involve expensive lenses and optical objectives. These advantages make the technology extremely convenient in terms of cost, simplicity of production and use, beyond spectral flexibility, as it can be employed for a wide range of optical wavelengths.

The technology can be used as key element for quantum photonic technologies, for fast and efficient single-photon collection from sources (fluorescent molecules, quantum dots, colour centres in diamond, defects in 2D materials). The possibility of efficiently coupling single photons to single-mode optical fibres is key for fibre-based optical networks and systems, typically used in applications ranging from quantum computation and simulations to quantum communications.

Moreover, the technique proposed can be a fundamental element for improving light collection in fluorescence-based in-vitro diagnosis, bio-sensing applications and bio-imaging techniques based on the redirection of emission of biological markers. It has been investigated in this sense within a European ERANET project, under the Photonic Sensing call, for the development of a fluorescence diagnostic prototype for biomedical applications. The device consists of a planar antenna, an optical fiber, a 3D motorized stage for mechanical control of the fiber position, a commercial fluorescence detection system, and a computer for remote control. The prototype enables the automatic reading of biomedical assays for in-vitro diagnosis of diseases through the study of fluorescence biomarkers. In particular, it has been validated in the laboratory for reading IgG and IgG* tests (capture antibody and detection antibody), for a CRP assay, an analyte connected to SEPSIS, and promising results have also been obtained for reading in serum.

Planar antenna technology is currently protected by two patents, with protection specifically concerning the design aspects for directing and collecting light signals. The current level of technological maturity is TRL 4, as the technology has been tested and validated in the laboratory.

Reference

- Checucci et al., “Beaming light from a quantum emitter with a planar optical antenna,” *Light: Science & Applications* 6, (2017).
- H. Galal, M. Agio, “Highly efficient light extraction and directional emission from large refractive-index materials with a planar Yagi-Uda antenna,” *Opt. Mater. Express* 7, 1645 (2017).
- Lombardi et al. “A molecule-based single-photon source applied in quantum radiometry,” *Adv. Quantum technol.* 1900083, (2019).

Esteso et al., “Enhanced fluorescence in a lens-less fiber-optic sensor for C-reactive protein detection,” *Chemosensors* 11(8), 448 (2023).

Family patent “Device for the beaming of light emitted by light sources, in particular fluorescence of molecules”: granted in USA n. US10571398 and in EU n. EP3283869.

2nd Technology - QMI Quantum Empowered Medical Imaging

By Augusto Smerzi

QMI develops an innovative imaging system for the early detection of malignant cells based on a technology which makes use of the combination of acoustic and magnetic fields to measure the electrical conductivity of human organs.

Current nuclear and radiological medical imaging technique have high costs and specialized infrastructure requirements. They also rely on potentially harmful methods such as ionizing radiation (CT scans), radioactive tracers (PET, SPECT), or high magnetic fields (MRI). Additionally, these standard imaging techniques typically do not provide specific tissue characterization; instead, they measure factors like water content (MRI), bone density (CT), or the decay of radioactive materials (PET, SPECT), from which relevant tissue information is inferred.

QMI proposes to actively & non-invasively probe and spatially map the organ tissues which present anomalies, by using weak magnetic fields and a new generation of state-of-the-art quantum sensors. This will not only allow an altogether novel structural medical imaging platform, but also the interrogation of the healthiness of tissues at sub-cellular level.

The novel medical imaging proposed is a novel atomic interferometry based on quantum enhanced sensors, which is extremely sensitive to environmental fields. The idea of QMI is exploiting this sensitivity to distinguish between healthy human body tissues and those affected by cancer cells, which exhibit anomalous values of electrical conductivity. The core of the technology lies in the development and optimization of compact and ready-to-use new-generation atomic magnetic sensors, to allow non-invasive probing which can be applied externally to the human body part under diagnostic investigation, without the need to restrict the technique to in-vitro samples. The technique could therefore enable the in-vivo mapping of local electrical conductivity values, allowing the detection of alterations and monitoring the progression and healing of the patient's condition over time. In general, the technology can be promising for the early detection of various types of cancer. In practice, the technique relies on the creation of ultrasound waves at a specific point within the body, with a resolution of 1 mm. In the presence of an applied static magnetic field, positive and negative ions within the human body tissues are separated, creating a secondary electric or magnetic field that can be detected outside the body. The detectable output values depend



Figure 4. A scheme of innovative and non-invasive acoustic and magnetic probes enabling the early detection of various types of cancer.

on the permeability and local conductivity of the tissue investigated. To implement a map of the cancerous tissues, both high sensitivity and spatial precision are needed. An array of magnetometers must be placed accurately around the body, while standard coils are too large to achieve the required spatial probing precision. A major clinical advantage is that this technology does not require the use of radioactive dyes or ionizing radiation. A second key point addressed by the technology proposed concerns a theoretical aspect, specifically the challenge of image reconstruction. This involves managing large datasets, differentiating signals from background noise, and minimizing error rates that lead to false positive or false negative diagnoses. To tackle these challenges, QMI has developed

an artificial intelligence algorithm based on machine learning techniques. This algorithm facilitates high-resolution reconstruction of images of biological tissues from experimental measurements of various parameters and properties associated with the biological sample. Notably, the algorithm enhances the efficient mapping of the presence of cancer cells and their development by analyzing tissue response to electromagnetic fields.

The technology is currently in the early development stage, with a patent application in progress. A dedicated core team of researchers has already been assembled, bringing together expertise in both experimental and theoretical domains. The team is actively seeking seed investment to facilitate the spin-off process.

Reference

Roth, B.J. Magneto-Acoustic Imaging in Biology. *Appl. Sci.*, 13, 3877 (2023).
Yuan Yuan Li and Guoqiang Liu, *Chinese Journal of Electrical Engineering*, Vol. 9, No. 1, March 2023.

3rd Technology – Physical unclonable keys for cyber security

By Francesco Riboli, Sara Nocentini

Complex photonic materials which exploit the interaction with light for the generation of non-cloneable physical keys for the generation of high-security passwords and for the information security in general.

Besides a secure communication and data sharing protocol, this digital age calls for secure and reliable authentication methods to protect private information and to safeguard access to personal devices and services. To date, the most effective method for ensuring an authentication source involves the permanent storage of digital keys in electronic devices, for example in smartphones, car keys, bank cards or computers, and then relies on hardware cryptographic operations such as digital signatures or classical encryption algorithms. Besides the cost in terms of both design and power consumption, this approach is often susceptible to invasive attacks. Protecting against such attacks requires active tamper detection and prevention circuitry, which must be powered constantly, creating an inconvenient limitation, especially for portable electronic device.

Researchers at CNR-INO propose a new technology which offers physical generators of cryptographic keys secure against different types of cyber-attack and with higher resilience against machine learning attacks. Unlike non-volatile memories in which traditional keys are recorded, the technology is based on Physical Unclonable Functions (PUF) which can encode many cryptographic keys in the structural complexity which specific materials can exhibit at microscopic level. This technology belongs to the context of non-digital key generation



Figure 5. Experimental optical setup for generating and collecting millions of cryptographic keys generated by complex photonic materials.

processes, also called primitives, which can derive a secret key by relying on the unique complexity of a physical system, thereby eliminating the need for continuously powered tamper-detection mechanisms. The key generation process in this case is based on PUFs, which rely on randomly structured physical systems that exhibit a complex input–output behavior unique to each PUF. Their uncontrollable individual disorder on small length scales makes them practically unclonable, even for their original manufacturer, and prevents any remote purely digital data connection.

In this context, disordered photonic structures are the perfect choice for creating optical PUFs to be used for authentication or anticounterfeiting. These photonic systems are characterized by many degrees of freedom which, under illumination with coherent light, produce a complex intensity pattern in transmission and/or reflection. This pattern, known as speckle, is the result of the interference of numerous independent transmission channels and is extremely sensitive to microscopic changes in the physical structure of the materials, thereby serving as a unique fingerprint PUF of the scattering volume.

The novel technology proposed here uses smart disordered photonic materials made of dye-doped Polymer-Dispersed and Polymer-Stabilized Liquid Crystals (PD&PS-LCs). These materials can be reversibly reconfigured to achieve a spatial-temporal control of the scattering potential that can be made hysteresis-free by customizing their chemical composition. Furthermore, the optical PUFs made of PD&PS-LCs possess an extremely large internal degree of freedoms that translate into a net entropy increase of the key generated. This new technology enables the integration of multiple cryptographic functions in a single device, facilitating the creation of a multilevel optical PUF, referred to as Hyper-PUF (HPUF). Each level of the HPUF is defined by a distinct configuration of the scattering potential, significantly enhancing its cryptographic versatility and security. These results allow the generation of more complex photonic cryptographic keys and are promising for a variety of applications, ranging from anticounterfeiting labels for goods with multi-factor identification to authentication and secure transmission of classical and quantum data.

Reference

- S. Nocentini et. al. “All-optical multilevel physical unclonable functions”, *Nature materials* (2024), <https://doi.org/10.1038/s41563-023-01734-7>
 Project FOTCOM. *Sistemi fotonici complessi per le tecnologie dell’informazione e della comunicazione*. Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze.
 Project AFOSR (Air force Office of Scientific Research)/RTA 2 «Highly secure nonlinear physical unclonable functions»

4th Technology – Quantum magnetic sensors: from bio-applications to navigation

By Nicole Fabbri

A quantum magneto-microscope, utilizing fluorescent defects in diamond, is designed to map magnetic signals with exceptional sensitivity and spatial resolution.

Magnetometry is a sensing technology with wide applications ranging from material science, chemistry and biomedicine, through to earth monitoring, navigation and even space exploration. In all these applications, significant limitations of current devices in spatial resolution and sensitivity often limit the information that one is able to acquire.

Quantum magnetometers based on fluorescent defects in diamond have the potential to lead an enhancement capable of beating the limits of conventional techniques for sensing and imaging, thanks to their excellent combination of sensitivity and space resolution, operability over large temperature ranges, biocompatibility, and possibility of miniaturization.

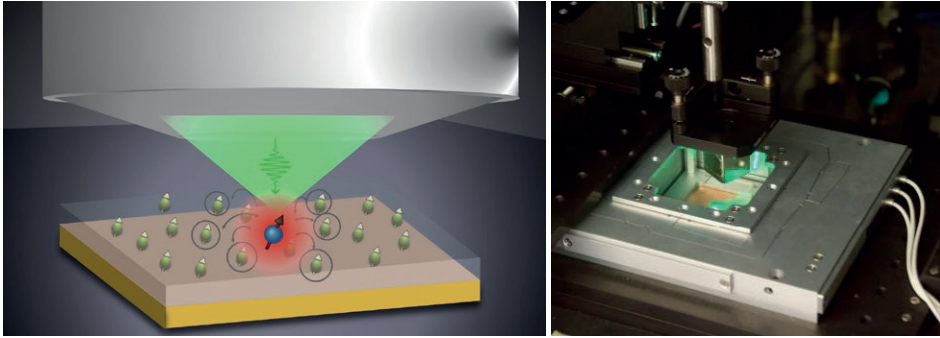


Figure 6. Left: A schematics of Quantum magnetic sensors based on optically readable spins (NV centres) in diamond. Right: a quantum magneto microscope optimized for bio-applications developed by the Research Team.

We have developed optimized diamond-based sensors, enhanced by quantum control techniques and deep learning algorithms for imaging heart disease.

Heart disease based on protein, metabolic and electrical disturbances represent one of the major causes of sudden death in young people worldwide. Understanding and controlling cardiac processes and dynamics is imperative to develop adequate tools for early diagnosis and personalized treatments of pathologies. Despite the huge progress achieved in the last decades, driven by laser-based classical microscopy and spectroscopy, current techniques still have significant limitations in spatial resolution and sensitivity, often leading to late diagnosis.

We have developed a bio-optimized quantum magneto microscope based on dense ensembles of Nitrogen Vacancy Centers in diamond. This magneto-microscope offers biology a distinctive host of powerful features – non-invasiveness, sensitivity, spatial and temporal resolutions, likely to conquer new frontiers in imaging, beyond the reach of their classical counterparts. Targeted sensitivity of nanoTesla on the microscales paves the way for the investigation of the magnetic signature of heart tissue activity. The diamond-to-tissue interface (involving thin layered materials) and the geometry of the excitation laser light are designed to avoid optical and thermal disturbances to the bio-sample. Exploiting the expertise of the group in quantum control and deep learning algorithms, we designed pulsed dynamical decoupling sensing protocols to enhance sensitivity.

Reference

- F. Poggiali, P. Cappellaro, and N. Fabbri. Optimal Control for One-Qubit Quantum Sensing, *Physical Review X* 8, 021059 (2018).
- S. Hernández-Gómez and N. Fabbri. Quantum Control for Nanoscale Spectroscopy With Diamond Nitrogen-Vacancy Centers: A Short Review. *Front. Phys.* 8: 610868 (2021)

- N. Fabbri et. al. “Quantum sensing technologies for Defence applications: the project QUANDO”, Proceedings 23rd International Radar Symposium IRS, pp 294-299 (2022).
- S. Hernández Gómez et. al. Optimal Quantum Control of a Spin Qubit in Diamond for Biosensing Proceedings of 2022 IEEE MetroInd40&IoT, special session on “The frontiers of sensing: Quantum & biosensors” (2022).
- Stefano Martina, Santiago Hernández-Gómez, Stefano Gherardini, Filippo Caruso, and Nicole Fabbri. *Mach. Learn.: Sci. Technol.* 4 02LT01 (2023).
- Santiago Hernández-Gómez, Federico Balducci, Giovanni Fasiolo, Paola Cappellaro, Nicole Fabbri, Antonello Scardicchio, Optimal control of a quantum sensor: A fast algorithm based on an analytic solution. *SciPost Phys.* 17, 004 (2024).

Conclusion

The second edition of the VRC serves as a compelling demonstration of the essential role that technological transfer plays in transforming groundbreaking laboratory research into practical applications that can profoundly benefit society. The event highlighted the significance of converting scientific discoveries into marketable technologies, emphasizing the impact such innovations can have on improving quality of life and driving economic growth.

Technological transfer bridges the gap between research and real-world applications, ensuring that advancements made in the lab do not remain confined to academic journals but are developed into solutions that address pressing societal challenges. This process is crucial for fostering innovation, creating new industries, and enhancing the competitiveness of existing ones.

The colloquium showcased a range of innovative technologies across various fields, including healthcare, cybersecurity, and quantum sensing. These technologies exemplify the potential of scientific research to bring about tangible benefits, from improving diagnostic tools and medical treatments to enhancing data security and developing advanced sensing capabilities.

By facilitating collaboration between researchers, industry partners, and policy-makers, technological transfer initiatives like those highlighted at the VRC play a vital role in overcoming the challenges associated with bringing new technologies to market. Such collaborations ensure that innovations reach those who need them most, ultimately contributing to societal progress and economic development.

Looking to the future, continued investment in technological transfer will be essential for maintaining the momentum of innovation and addressing global challenges. The success of events like the VRC highlights the importance of these efforts and the transformative potential of converting research into real-world applications.

Acknowledgements

We acknowledge financial support under the NRRP, Mission 4, Component 2, Investment 1.3, Topic 4 - funded by the European Union – NextGenerationEU – PE00000023 NQSTI project.

Notes

¹ AAVV, A. (2023). Vasco Ronchi Colloquia: vision on Technology Transfer. *Il Colle Di Galileo*, 12(2), 37–52. Taken from <https://oajournals.fupress.net/index.php/cdg/article/view/14783>

² Web-page of the company for more information: <https://regensight.com/>

³ D. Bacco et al, *I EPJ Quantum Technology* 2019, 6, 5;

⁴ Web-page of the company for more information: <https://www.qticompany.com/>

⁵ D. Bacco et al, *Adv. Quantum Technol.* 2021, 4, 2000156.

⁶ D. Ribezzo, et al., *Adv. Quantum Technol.* 2022, 6, 2200061.



A broadband excursus through stellar afterlife

Florence - Villa il Gioiello, Arcetri - June 5-7 2024

Barbara Olmi, Giovanni Morlino, Niccolò Bucciantini
INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Florence, Italy

Abstract. The workshop drew experts from the Supernova Remnants, Pulsars and Pulsar Wind Nebulae communities, both from a multi-wavelengths observational point of view and a theoretical perspective. Recent developments in these fields were discussed, with broader coverage of the related physical processes (such as acceleration and propagation of particles, relevance of the sources for Galactic Cosmic Rays). Particular attention was also devoted to statistical methods in astrophysics. The workshop also provided an opportunity to celebrate the career of Rino Bandiera who successfully dedicated most of his career to the aforementioned matters and retired this year.

Keywords: neutron stars, pulsars, supernova remnants, statistical methods, non-thermal emission, acceleration of particles.

Summary of the workshop

To mark Rino Bandiera's retirement, the high energy group of the Arcetri Observatory organized a short workshop that recalled some of the leading experts in the field of supernova remnants and pulsars, both in the theoretical and observational multi-frequency fields, topics to which Rino Bandiera successfully devoted much of his scientific career. The workshop took place at "Villa Il Gioiello", Galileo's last residence, kindly made available by Florence University, and hosted 25 participants. This event was funded by INAF through the "Contributo per l'organizzazione di scuole e congressi" and the RSN4 mini grant HYPNOTIC87A (PI B. Olmi).

After graduating in Physics from Scuola Normale Superiore, under the supervision of Prof. Claudio Chiuderi, and spending a few years abroad, Rino Bandiera joined the staff at the Arcetri Observatory, which was under the direction of Franco Pacini at the time. Rino has since been a part of the High Energy Astrophysical Group. He has worked on several different subjects over the years, from theory to observations, from Supernova Remnants and Pulsar Wind Nebulae to Galactic Dynamics, with a penchant for analytical and statistical approaches, mostly devoted to the properties of non-thermal emission.



Figure 1. Group photo in the Villa's garden.

The congress did not have an exclusively celebratory purpose however, but provided an opportunity to discuss recent developments in the field and refresh long-standing collaborations, both at national level, within the INAF community, and at international level.

The main topics discussed in the workshop were all connected to the remnants of very massive stars which also happen to be among the most energetic sources observed in our Galaxy: supernova remnants and pulsar wind nebulae. The discussion focused on both theoretical and observational aspects: these celestial objects are among the most powerful accelerators in our Galaxy and are able to accelerate particles up to an impressive energy of 10^{15} electronvolts (=PeV). However, the acceleration processes at work are not completely understood yet and researchers are struggling to find the best way to understand them. Several steps forward have been made recently in identifying the regions where the acceleration is taking place and new insights are coming from gamma-ray observations about the way particles escape from the sources. A key ingredient that drives the acceleration is provided by the magnetic field, the structure of which can be now more precisely constrained using new polarimetric data from the IXPE satellite, a NASA mission that has a strong INAF participation, and numerical MHD simulations: the combination of these two different pieces of information continues to be a big challenge.

Several works on Supernovas and their remnants were presented, starting from the GalRSG project, an INAF-VST program recently approved to detect transients and variability related to the very late evolutionary stage of massive stars that could be the progenitors of the SN explosion. A detailed discussion focused on the multiwavelength analysis of SNRs, a powerful tool that uses the entire electromagnetic spectrum, including Balmer emission, and allows the constraint of the different non-thermal components of these objects, providing information on the acceleration efficiency of SNR shocks.



Figure 2. The Arcetri high energy group

Compact objects like pulsars are connected to some of the most significant discoveries in modern astronomy. An impressive result concerns gravitational waves: pulsars represent the most precise clocks in the Universe and can now be used to detect the small time delays produced by faint gravitational waves emitted by supermassive black holes: very promising preliminary results of this research have been presented. A further exciting idea is linked to Fast Radio Bursts (FRB), an obscure phenomenon that produces short and powerful bursts in the radio waveband; they seem to be connected to the pulsar and PWN activity.

In addition to the sources, much attention was devoted to the propagation of particles accelerated in those objects that escape and spread through the Galaxy, so-called cosmic rays. The process that allows them to escape is not yet clear but it seems to be closely connected to the kinetic instabilities that these particles are able to excite in the plasma around the sources, slowing down the speed of their escape. The existence of such a process is strongly suggested by peculiar features around PWNe observed either in gamma or X-rays. Finally, a special session was dedicated to statistical methods in astrophysics.



The 44th SISFA Congress in Arcetri

Antonella Gasperini¹, Samuele Straulino²

¹ INAF Osservatorio astrofisico di Arcetri, Italy

² Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze, Italy

Abstract. From September 17 to 20, 2024, the annual Congress of the Italian Society of Historians of Physics and Astronomy (SISFA) was held at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence and the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory. The Congress was an excellent example of the cultural activities that the “Colle di Galileo” memorandum of understanding (signed by CNR, INAF, INFN, and UNIFI) aims to promote and enhance.

Keywords: history of physics, history of astronomy, scientific museums, ancient libraries, historical archives.

The Italian Society of Historians of Physics and Astronomy (SISFA) held its 44th National Congress on Arcetri Hill from September 17 to 20, 2024, with 87 participants. The sessions took place partly in the “Garbasso” building of the Department of Physics and Astronomy and partly in the Library of the Arcetri Astrophysical Observatory.

The Society, founded in 1999, continues the work of the previous National Coordination Group for the History of Physics, established in 1982 within the CNR. SISFA congresses provide a platform for research into the history of physics and astronomy, as well as educational aspects (with significant contributions from secondary school teachers), scientific museums, archives, libraries, and collections of physics and astronomy instruments. SISFA’s work is also characterized by the uninterrupted series of annual congresses held since 1981, evidenced by the approximately thirty volumes of congress proceedings published and the nearly one thousand contributions these volumes offer across various fields of the history of physics and astronomy. The research carried out has also found space in numerous articles and volumes published by both Italian and international publishers.

In this year’s edition, given the special anniversaries that occurred in 2024, there were several thematic sessions:

- From Information to Artificial Intelligence: Over 100 Years of Communication and Computation, to mark the 150th anniversary of the birth of Guglielmo Marconi;
- From Quantum Statistics to Condensed Matter Physics, to celebrate the centenary of Bose-Einstein statistics;
- Edwin Hubble and the Birth of Modern Cosmology;
- In Memory of Giuseppe Occhialini and Bruno Rossi, to honor two leading figures in Florentine physics during the 1920s and 1930s;

- 100 Years Since the Founding of the University of Florence.

The SISFA 2024 Congress also paid special attention to young scholars, awarding two graduate prizes. The SISFA 2024 prize was awarded to Matteo Boni from the University of Bologna for his thesis. *La divulgazione dell'astronomia in Italia: il caso del passaggio della Cometa di Halley*; the graduate prize dedicated to the memory of Prof. Anna Maria Cartacci, jointly established by the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence and the Florence section of INFN, was awarded to Stefano Campagnaro from the University of Milan for his thesis *Meccanica Quantistica per la scuola superiore: elaborazione e sperimentazione di materiali didattici basati sulla ricerca*.

Furthermore, the Society paid tribute during the congress to Professor Giorgio Dragoni, an eminent professor from the “Augusto Righi” Department of Physics and Astronomy at the University of Bologna and the second president of the National Coordination Group for the History of Physics from 1986 to 1994, who passed away in early September. The tribute was delivered by Pasquale Tucci and Fabio Bevilacqua.

The organization of the Congress in Arcetri allowed the direct involvement of both the University and the Observatory, which collaborated perfectly. The Congress offers an excellent example of the cultural activities that the “Colle di Gali-



leo” memorandum of understanding (signed by CNR, INAF, INFN, and UNIFI) aims to promote. The congress began with invited talks focusing on the history of the institutions located on the hill: the Observatory, which recently celebrated its 150th anniversary, the University of Florence, currently celebrating its 100th anniversary (paying special attention to the “Garbasso” Institute of Physics, inaugurated in 1921), and the slightly younger National Institute of Optics.

The cultural and social activities collateral to the Congress were of great interest to the participants. On the evening before the start of the Congress, a welcome aperitif was organized at Villa Galileo, immersing the attendees in the enchanting atmosphere of the hill. A documentary on Giuseppe Occhialini entitled *Giù nell’abisso, fino alle stelle – Le scoperte di uno scienziato, le esplorazioni di uno speleologo*, was played at the end of the first day, 30 years after his passing, in the presence of the director, Roberto Tronconi. On the evening of Thursday, September 19, participants had the opportunity to visit other sites of the educational path in the park: the accelerator KN3000 rooms in the Garbasso building, with a historical overview starting from Bruno Rossi’s experiments on cosmic rays to LABEC’s applied physics, a tour of the National Institute of Optics, where the history and future perspectives of optical research were illustrated, and a visit to the Observatory, particularly the Amici telescope dome. Additionally, maestro Marco Padovani, astrophysicist and pianist, gave a highly appreciated concert in the Observatory Library, playing the piano that Albert Einstein gave his sister Maja in 1931.

Sommario | Table of contents

Volume 14 – 1 · 2025

PILLOLE DI STORIA / HISTORICAL PILLS

Adele e Laura. Dietro le quinte di un romanzo | *Adele and Laura. Behind the scenes of a novel* 5
ROSARIA PETRETI

I raggi cosmici tornano a Firenze | *Cosmic rays return to Florence*..... 21
PIERO SPILLANTINI

Intrappolare la luce negli specchi: viaggio scientifico nella storia della dagherrotipia e dei suoi pionieri | *Capturing light in the mirror: A scientific journey through the history of daguerreotypy and its pioneers*..... 33
DIEGO QUINTERO BALBAS, LAURA BENASSI, JANA STRIOVA

I pendoli dell'Osservatorio di Arcetri | *The pendulums of Arcetri Observatory*..... 45
SIMONE BIANCHI

RAPPORTI DI ATTIVITÀ / ACTIVITY REPORTS

Machine Learning at GGI 61

Fostering innovation through quantum technology transfer: Insights from the second Vasco Ronchi Colloquium..... 67

A broadband excursus through stellar afterlife 83
BARBARA OLMI, GIOVANNI MORLINO, NICCOLÒ BUCCIANINI

The 44th SISFA Congress in Arcetri 87
ANTONELLA GASPERINI, SAMUELE STRAULINO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



INO-CNR
ISTITUTO
NAZIONALE DI
OTTICA