Società Italiana degli Storici
della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XLIV Congresso Nazionale SISFA

Proceedings of the 44th SISFA National Congress

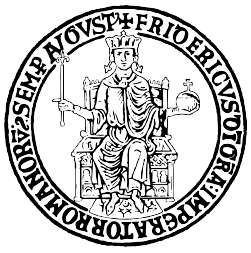
Firenze, 17-20 settembre 2024

a cura di / edited by

Mauro Gargano, Antonella Gasperini & Samuele Straulino

Federico II University Press

fedOA Press



Università degli Studi di Napoli Federico II

SISFA Studies in the History of Physics and Astronomy

3

SISFA

Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia

Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XLIV Congresso Nazionale SISFA

Proceedings of the 44th SISFA National Congress

Firenze, 17-20 settembre 2024

a cura di / edited by

Mauro Gargano, Antonella Gasperini & Samuele Straulino

Federico II University Press

fedOA Press

Atti del XLIV Congresso nazionale SISFA : Firenze, 17-20 settembre 2024 = Proceedings of the 44th SISFA National Congress / Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia; a cura di = edited by Mauro Gargano, Antonella Gasperini, Samuele Straulino. - Napoli: Federico II University Press, 2025; xix, 446 p. : ill. ; 21 cm. - (SISFA Studies in the History of Physics and Astronomy; 3).

Versione elettronica: www.fedoabooks.unina.it

ISBN: 978-88-6887-362-2

DOI: 10.6093/978-88-6887-362-2

Comitato Scientifico:
Luisa Bonolis (*Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlino*), Salvatore Esposito (*Università degli Studi di Napoli Federico II*), Lucio Fregonese (*Università degli Studi di Pavia*), Ivana Gambaro (*Università degli Studi di Genova*), Roberto Lalli (*Politecnico di Torino*), Adele La Rana (*Università degli Studi di Macerata*), Flavia Marcacci (*Università degli Studi di Urbino Carlo Bo*), Matteo Valleriani (*Technische Universität, Berlino*), Valeria Zanini (*INAF-Osservatorio Astronomico di Padova*)

Copertina ed elaborazione progetto grafico: Mauro Gargano

©2025 FedOAPress - Federico II University Press
Università degli Studi di Napoli Federico II
Centro di Ateneo per le Biblioteche "Roberto Pettorino"
Piazza Bellini 59-60, 80138 Napoli, Italia
www.fedoabooks.unina.it
Published in Italy
Prima edizione: settembre 2025

Gli E-Book di FedOAPress sono pubblicati con licenza Creative Commons Attribution 4.0 International

44th National Congress of the Italian Society for the History of Physics and Astronomy

The Congress is part of a well-established series that SISFA has been organizing yearly since its foundation. It aims to promote research activities in the history of physics and astronomy in Italy, conducted by academic historians, independent scholars, and school teachers alike, who are interested in exploring the role of the history of physics and astronomy in present-day teaching. At the same time, the Congress fosters collaboration among SISFA members, other scholarly societies, and researchers in related fields, strengthening existing connections and establishing new ones.

Scientific and Organizing Committee:

Salvatore Esposito, *Università di Napoli Federico II*
Ivana Gambaro, *Università di Genova*
Mauro Gargano, *INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte*
Antonella Gasperini, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
Roberto Lalli, *Politecnico di Torino*
Adele La Rana, *Università di Macerata*
Flavia Marcacci, *Università di Urbino*
Samuele Straulino, *Università di Firenze*
Valeria Zanini, *INAF-Osservatorio Astronomico di Padova*
Patrizia Braschi, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
Francesca Brunetti, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
Alessio Coppola, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
Tommaso Matteuzzi, *Università di Firenze*
Giovanna Pacini, *Università di Firenze*
Michela Paolucci, *Università di Firenze*
Claudio Pino, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
Rossella Spiga, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*
Giovanni Vitali, *INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

INDICE

Introduzione
Zanini V. xi

Il programma del Congresso xiii

100 Years since the Birth of the University of Florence

The history of the Arcetri Physics Institute from the 1920s to the end of the 1960s
Dominici S. 5

Waiting for another centennial: first ideas for Astrophysics at the Arcetri Astronomical Observatory (1872-1921)
Bianchi S. 17

La storia dell'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri - Firenze
Jafrancesco D., Farini A. 23

La città delle stelle: Astronomia e comunicazione scientifica a Firenze tra Ottocento e Novecento
Ciardi M. 29

In Memory of Giusepe Occhialini

Giuseppe Occhialini: the Florentine years
Tucci P. 39

1924–2024: From Quantum Statistics to Condensed Matter Physics

Lo stato solido e la nuova mappa della fisica
Martin J. 53

The origins of solid state physics in Italy: 1945 – 1960
Giuliani G. 57

From Information to AI: More Than 100 Years of Communication and Computation

Information transmission as artificial intelligence
Bianchini F. 67

L'arte della comunicazione: dalla Teoria dell'Informazione allo Shannon-Fano Code
Campanile B. 79

From Shannon to von Neumann: A Partial Understanding of Information
Covoni N. 89

History of Physics and Astronomy (until 19th Century)

Earliest meteorological observations in Naples in the 18th century
Esposito S., Naddeo A. 97

The first meteorological series of southern Italy. Report on a rediscovered archive
De Frenza L. 105

Il passaggio della Cometa C/1861 J1 (Tebbutt) nel 1861. I disegni di Angelo Secchi e la tempera *Cometa di S. Pietro*, storia e restauro
Macaluso T. 115

Enrico Dal Pozzo un fisico del risorgimento tra eresia e innovazione
Sanchini G. 123

Angelo Catone e la cometa del 1472
Gargano M. 131

A fifteenth-century Hebrew witness of the Theorica planetarum from the Kingdom of Naples
Wartenberg I. 139

E noi uscimmo a riveder le stelle. La famiglia Medici e il mecenatismo scientifico a Firenze
Bercigli E. 147

Joseph Sauveur and the fixed sound
Capecchi D., Capecchi G. 155

A study on Curie's paper and the many versions of "Curie's principle"
Drago A. 163

Insegnamento scientifico nel Seminario Vescovile di Bergamo tra XVIII e XIX Secolo
Serra L. 173

The two transits of Venus of 1874 and 1882 or, "the greatest astronomical events of the nineteenth century"
Lovisetti L. 181

La corrispondenza Lorenzoni-Abetti: scienza e amicizia nelle lettere di due astronomi dell'Italia post-unitaria
Zanini V., Gasperini A. 189

Friendly Stilbon, fraudful Hermes. Schiaparelli and the rotation of Mercury
De Piccoli L., Carpino M. 199

Tempeste solari che incantano e spaventano: viaggio storico-artistico tra le aurore boreali osservate a Napoli
Sasso C., Gargano M., Olostro Cirella E. 207

Scienze astronomiche e diplomazia scientifica: Giuseppe Lorenzoni e la pratica geodetica post-unitaria (1865-1875)
Schiavon M. 215

The Italian Society of Sciences known as the Society of XL in Modena from the late 18th and to the middle of 19th century
Corradini E., Fedrezzoni U., Giglio M. 225

La divulgazione dell'astronomia in Italia: il passaggio della Cometa di Halley del 1910 nelle conferenze di Elia Millosevich e Augusto Righi
Boni M. 235

History of Physics and Astronomy (until 20th Century)

Presentation of a 'Mach Corpus' and its preliminary analysis
Gasco E. 245

At Home in a Super-Copernican Cosmos, Part II: The Nature of the Observer and Wheeler's 'It from Bit'
Furlan S., Puleio D. 253

"Percepire, comprendere e comunicare i luoghi storici della meteorologia ferrarese attraverso la multisensorialità". Un progetto di Public Engagement dell'Università di Ferrara
Maragno A., Incerti M., Lenisa P. 261

La prima misura della carica dell'elettrone: le ricerche di J. J. Thomson e di R. Millikan a confronto
Leone M., Monti F., Robotti N. 269

Dirac and Quantum Times
Giannetto E. 277

La corrispondenza italiana di Bruno Pontecorvo dal 1945 al 1950
Rossi P. 285

Exchanges in the nucleus in the 1930s: Werner Heisenberg and Ettore Majorana
Di Mauro M., Esposito S., Naddeo A. 289

Revisiting Bruno Rossi's experiment on cosmic rays' secondary emissions: comparison with the original results
Carlà M., Poggi G., Righi T., Straulino S. 297

Strumentaria

Lippmann: history, art and science in one photo
Cattaneo B., Giatti A., Gurioli M. 305

Sacred Alignments of Early Christian Churches, Baptisteries and Mausoleums in Ravenna: The Intuition of Giuseppe Gerola, 1936
Spinazzè E. 315

The celestial Weigel Globe in the Stibbert Museum: restoration and valorisation
Giatti A., Angellotto D., Collina V., Di Marco S. 325

Un quadrante lunare, forse cosmologico, nell'Abbazia di San Martino delle Scale
Tuscano M. 333

1924–2024: Edwin Hubble and the Evolution of Modern Cosmology

Beyond the Milky Way: an historical perspective
Corbelli E. 343

On Hubble's new idea of Large Scale: a social paradigm-based analysis
Adamo A. 355

Hubble non ha scoperto l'espansione dell'universo: osservazione versus scoperta
Macchia G. 365

Dialogue Between History, Teaching and Dissemination in Physics and Astronomy

Fotone o quanto di luce? Investigazione sulla radiazione elettromagnetica dagli inizi del XX secolo
Bologna V., Poli V., Parmigiani F., Longo F. 375

La forza e le trasformazioni di Lorentz: un esempio di come la storia della fisica può semplificare la didattica
Battocchio A. 381

From Faraday's candle to today's STEM: some suggestions for teachers
Cerreta P. 389

Cultural Understanding of Physics – Quantum Mechanics a Century Later
Giliberti M., Lovisetti L. 397

Birth and death of "Demonstration Experiment" in Physics
Ganci S. 405

Museums, Archives, and Scientific Collections of Physics and Astronomy in Italy and Abroad

The Mathematisch-Physikalischer Salon in Dresden: a princely collection of scientific instruments
Plassmeyer P. 411

"Mondo in Tasca": celebrations at MUMEC
Casi F. 421

L'istituto Archimede per la produzione di materiale scientifico-didattico: il ruolo dei musei della scuola nella ricostruzione della storia delle discipline
Mortellaro R. 423

Gli incunaboli e le cinquecentine dell'INAF: un catalogo a stampa per scoprire il patrimonio bibliografico antico degli Osservatori italiani
Olostro Cirella E. 431

I libri di astronomia dell'antico Istituto Tecnico di Firenze
Faustini L. 439

Introduzione

Il XLIV Congresso nazionale della nostra Società ha avuto il privilegio di svolgersi nella suggestiva cornice di Firenze, presso l'edificio Garbasso del dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze e presso la Biblioteca dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, ospitato dalla effervescente comunità scientifica che opera sul Colle di Arcetri. Non poteva esserci sede più adatta, per la SISFA, per celebrare i 100 anni che hanno segnato sia la nascita della statistica di Bose-Einstein che della moderna cosmologia, tenuto conto che proprio nel 2024 ricorrevano anche i 100 anni dalla fondazione dell'Università di Firenze.

Questo importante anniversario, che ha rappresentato anche un'occasione per sottolineare l'importanza dell'intero Colle di Arcetri nello sviluppo scientifico della fisica e dell'astronomia italiana dell'ultimo secolo, è stato efficacemente illustrato dagli interventi di Daniele Dominici, Simone Bianchi, Marco Ciardi e Alessandro Farini. Particolarmente significativa è stata anche la commemorazione di Giuseppe Occhialini (1907-1993) tracciata da Pasquale Tucci, che ha messo in luce l'influenza che l'ambiente fiorentino esercitò su Occhialini e la connessione con i più importanti contributi allo studio dei raggi cosmici che lo scienziato italiano diede prima a Cambridge e poi a Bristol. A questa è seguita la proiezione del documentario "Giù nell'abisso, fino alle stelle – Le scoperte di uno scienziato, le esplorazioni di uno speleologo", che ha messo in evidenza un aspetto poco noto del fisico di Fossombrone.

La sessione "Dalla Statistica Quantistica alla Fisica della Materia Condensata" ha visto tra i relatori di spicco gli esperti del settore Joseph Martin e Giuseppe Giuliani, mentre la sessione "1924-2024: Edwin Hubble e la Nascita della Cosmologia Moderna" ha commemorato la pubblicazione dell'articolo di Hubble che sanciva la scoperta epocale compiuta grazie alle Cefeidi classiche nella galassia di Andromeda (M31), dimostrando che la 'nebulosa' di Andromeda non era parte della nostra Galassia. La presentazione di Edvige Corbelli ha illustrato efficacemente come questa scoperta abbia modificato il nostro concetto di Universo e abbia segnato l'inizio dell'astronomia extragalattica e dell'esplorazione dello spazio oltre la Via Lattea.

Un'altra sessione tematica di grande rilievo è stata "Dall'informazione all'intelligenza artificiale: oltre 100 anni di comunicazione e computazione", che ha celebrato i 150 anni dalla nascita di Guglielmo Marconi e i 100 anni dalla pubblicazione del fondamentale articolo di Harry Nyquist (1889-1976). Gli interventi di Giovanni Paoloni e Francesco Bianchini, assieme a quelli di Benedetta Campanile e Niccolò Covoni, hanno offerto una riflessione storica e critica sull'evoluzione dei concetti di informazione, comunicazione e calcolo, fino alle attuali sfide poste dall'intelligenza artificiale.

Il Congresso fiorentino ha voluto porre anche una attenzione particolare al tema degli strumenti scientifici e delle collezioni museali, archivistiche e bibliografiche, vero patrimonio per la storia della fisica e dell'astronomia. Oltre alle consuete apposite sessioni, dedicate agli strumenti e alle collezioni scientifiche, arricchite dagli interventi di elevata caratura scientifica di Peter Plassmeyer, Anna Giatti, Emilia Olostro Cirella e Fausto Casi, il Congresso ha ospitato anche una appassionante tavola rotonda sul tema della valorizzazione e della conservazione, con particolare attenzione agli aspetti giuridici e normativi, argomenti che certamente coinvolgeranno nuovamente la SISFA nei prossimi anni.

Le visite organizzate dal LOC alle collezioni dell'Istituto Nazionale di Ottica, dell'INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, e a quelle del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze conservate presso il Garbasso, hanno rappresentato un ulteriore esempio virtuoso e una fonte preziosa di spunti per riflettere sul valore e sulla conservazione di questi preziosi manufatti, capaci di raccontare la storia del pensiero scientifico.

Il ricco programma fiorentino non ha naturalmente trascurato il consueto dialogo tra storia, didattica e divulgazione, che è stato affrontato nelle comunicazioni di Francesco Longo, Andrea Battocchio, Pietro Cerretta, Salvatore Ganci, Marco Giliberti e Luisa Lovisetti.

Un momento particolarmente emozionante è stato il concerto del giovedì sera, tenuto dall'astronomo e Maestro Marco Padovani nella biblioteca dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Il concerto ha visto protagonista il celebre pianoforte Blüthner del 1899, donato da Albert Einstein alla sorella Maja nel 1931 e oggi noto come il pianoforte di Einstein. Il programma musicale, che ha incluso brani di Mozart, Beethoven e Castelnuovo-Tedesco, ha creato un ponte ideale tra musica, scienza e storia, incarnando perfettamente lo spirito del Congresso.

In generale tutto il Congresso ha dato ampio spazio alla fondamentale interazione tra i soci SISFA e gli studiosi italiani e internazionali di storia della fisica e dell'astronomia. Le numerose comunicazioni presentate, che da sempre costituiscono l'anima dei congressi SISFA, hanno evidenziato la vivacità, la profondità e la varietà delle ricerche in questo campo. Un significativo spazio è stato riservato ai giovani ricercatori, la cui vitalità e qualità degli studi sono state testimoniate anche dal consolidato Premio di Laurea SISFA.

È doveroso sottolineare come l'ottima riuscita sia stata frutto di un lavoro corale. Un ringraziamento sentito va in particolare al Comitato Organizzatore Locale, in particolare ad Antonella Gasperini e Samuele Straulino, che con dedizione e competenza hanno curato ogni dettaglio, assicurando il perfetto svolgimento dell'evento. La loro abnegazione, unita alla partecipazione entusiasta di tutti i loro colleghi, ha reso possibile una nuova, significativa tappa nella storia dei congressi SISFA. A loro, che assieme a Mauro Gargano sono anche i curatori del presente volume che vede ora la pubblicazione, va la più profonda gratitudine dell'intera Società, del Consiglio Direttivo e mia personale.

Valeria Zanini
Presidente SISFA

44th National Congress of the Italian Society for the History of Physics and Astronomy

Florence, 17-20 September 2024

Programme

17 September

8.30-9:00 - Registration

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

9:00-9:30 - Congress Opening

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Salvatore Esposito – *President of SISFA*
Marco Pierini – *Vice Rector for Technology transfer, cultural activities and social impact, University of Florence*
Guido Risaliti – *Vice Director, Physics and Astronomy Department, University of Florence*
Simone Esposito – *Director, INAF - Arcetri Astrophysical Observatory*
Giovanni Passaleva – *Director, Division INFN - Florence*

9.30-10:30 - 100 Years since the Birth of the University of Florence

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Dominici D. – *The history of Florence Institute of Physics from the 1920s to the end of the 1960s*
Bianchi S. – *Waiting for another centennial: first ideas for Astrophysics at the Arcetri Astronomical Observatory (1872-1921)*

10.30-11:00 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

11.00-12:00 - 100 Years since the Birth of the University of Florence

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Jafrancesco D. & Farini A. – *La storia dell'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri - Firenze*
Ciardi M. – *La città delle stelle: Astronomia e comunicazione scientifica a Firenze tra Ottocento e Novecento*

12:00-13:00 - In Memory of Giuseppe Occhialini and Bruno Rossi

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Bonolis L. – *Bruno Rossi and the magical years in Arcetri: 1929-1932*
Tucci P. – *L'influenza dell'ambiente fisico e astrofisico di Firenze sui contributi di Occhialini allo studio dei raggi cosmici*

13:00-14:00 - Lunch

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

14:00-15:00 - 1924–2024: From Quantum Statistics to Condensed Matter Physics

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Martin J. – *When condensed matter physics became king*

15:00-15:40 - SISFA Prize 2024 & Cartacci Prize 2024

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

15.40-16:00 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

16:00-17:00 - Documentary

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Tronconi R. – *Giù nell'abisso, fino alle stelle – Le scoperte di uno scienziato, le esplorazioni di uno speleologo*

18 September

9.00-10:40 - From Information to AI: More Than 100 Years of Communication and Computation

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Paoloni G. – *Il 'sistema Marconi' e il suo sviluppo, fra scienza, società e politica*
Bianchini F. – *Information transmission as artificial intelligence*
Campanile B. – *The art of communicating: from the theory of information transmission to the Shannon-Fano Code*
Covoni N. – *From Shannon to Von Neumann: a partial understanding of information*

10.40-11:10 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

11:10-13:10 - History of Physics and Astronomy (until 19th century)

Arcetri Astrophysical Observatory

Amabile A. – *William Rowan Hamilton, poet and mathematician*
Esposito S. & Naddeo A. – *Earliest meteorological observations in Naples in the 18th century*
De Frenza L. – *The first meteorological series of southern Italy. Report on a rediscovered archive*
Del Monte R. – *On the "last discovery of Cavalier Melloni"*
Macaluso T. – *The passage of the Comet C/1861 J1 in 1861. Angelo Secchi's drawings and the Cometa San Pietro tempera, history and restoration*
Sanchini G. – *Enrico Dal Pozzo, a physicist of the Risorgimento between heresy and innovation*

11:10-12:50 - History of Physics and Astronomy (until 20th century)

Dept. of Physics and Astronomy, Garbasso Bld

Guzzardi L. – *Theoretical patterns for understanding scientific collaborations*
Furlan S. & Puleio D. – *At home in a Super-Copernican Cosmos: the nature of the observer and Wheeler's "It from Bit"*
Lalli R. – *Fusing Europe from EURATOM to ITER: A network analysis of European techno-scientific cooperation in controlled thermonuclear research*
Bassanelli S. – *The diplomacy of standardization: how the SUN commission negotiated electrical units during the interwar period*
Maragno A. – *Percepire, comprendere e comunicare i luoghi storici della meteorologia ferrarese attraverso la multisensorialità. A public engagement project of the University of Ferrara*

13:10-14:00 - Lunch

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

14:00-15:40 - History of Physics and Astronomy (until 19th century)

Arcetri Astrophysical Observatory

Leone M., Monti F. & Robotti N. – *The first electron charge measurement: status, meaning and implications of J.J. Thomson's and R. Millikan's respective research*
Giannetto E. – *Dirac's quantum time*
Rossi P. – *La corrispondenza italiana di Bruno Pontecorvo dal 1945 al 1950*
Di Mauro M., Esposito S. & Naddeo A. – *Exchanges in the nucleus in the 1930s: Werner Heisenberg and Ettore Majorana*
Carlà M., Poggi G., Righi T. & Straulino S. – *Revisiting Bruno Rossi's experiment on cosmic rays showers: comparison with the original results*

14:00-16:00 - Dialogue Between History, Teaching and Dissemination in Physics and Astronomy

Dept. of Physics and Astronomy, Garbasso Bld

Mantovani R. – *The Belli-Babinet tap: an innovation in pneumatic technology in the first half of the 19th century*
Rossi E. – *Hidden treasures: The tale of Florentine thermometers 150 years after their crafting*
Giatti A., Gurioli M. & Cattaneo B. – *Lippmann: history, art and science in one photo*
Spinazzè E. – *Sacred alignments of early christian churches and baptisteries in Ravenna, Italy*
Giatti A. – *The celestial Weigel Globe in the Stibbert Museum: restoration and valorisation*
Tuscano M.L. – *Un quadrante lunare, forse cosmologico, nell'Abbazia di San Martino delle Scale*

16:00-16:30 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

16:30-17:00 - Remembering Giorgio Dragoni

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Bevilacqua F.
Tucci P.

17:00-18:30 - SISFA Gereral Assembly

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

20:30-22:30 - Social dinner

19 September

9.00-11:00 - History of Physics and Astronomy (until 19th century)

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Gargano M. – *Angelo Catone and the comet of 1472*
Gambaro I. – *Astronomical observations and scientific practices between Cayenne and Paris*
Wartenberg I. – *A Hebrew witness of the Theorica Planetarum from 1492 Naples*
Bercigli E. – *E noi uscimmo a riveder le stelle: the Medici family and the scientific patronage in Florence*
Capecchi D. & Capecchi G. – *Joseph Sauveur and the fixed sound*
Drago A. – *The history of the many versions of the "Curie's Principles". A comparative study of their versions and their ranges of validity*

11.00-11:30 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

11.30-12:40 - 1924–2024: Edwin Hubble and the Evolution of Modern Cosmology

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Corbelli E. – *Beyond the Milky Way: an historical perspective*
Adamo A. – *A semi-Malthusian analysis of the possible social and cultural causes behind Hubble's discovery of the law of recession of galaxies*
Macchia G. – *Hubble did not discover the expansion of the universe: observation versus discovery*

12.40-13:10 - 1924–2024: From Quantum Statistics to Condensed Matter Physics

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Giuliani G. – *The origins of solid state physics in Italy: 1945-1960 circa*

13:10-14:00 - Lunch

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

14:00-15:40 - History of Physics and Astronomy (until 19th century)

Arcetri Astrophysical Observatory

Serra L. – *Insegnamento scientifico nel Seminario Vescovile di Bergamo tra XVIII e XIX Secolo*
Lovisetti L. – *The two transits of Venus of 1874 and 1882: or the greatest astronomical events of the 19th century*

14:00-15:20 - Dialogue Between History, Teaching and Dissemination in Physics and Astronomy

Dept. of Physics and Astronomy, Garbasso Bld

Bologna V, Longo F., Parmigiani F. & Poli V. – *Photon or light quantum?*
Battocchio A. – *The Lorentz force and transformations: an example of how the history of physics can simplify teaching*

Zanini V. & Gasperini A. – *The Lorenzoni-Abetti correspondence: insights into Italian astronomy and social context post-unification*
De Piccoli L. & Carpino M.A. – *Friendly Stilbon, fraudful Hermes. Giovanni Virginio Schiaparelli and the rotation of Mercury*
Sasso C., Gargano M. & Olostro Cirella E. – *Solar storms that enchant and frighten: a historical-artistic journey among the aurorae boreales appeared in the sky of Naples over the last two centuries*

Cerreta P. – *From Faraday's candle to today's STEM: some suggestions for teachers*
Giliberti M. & Lovisetti L. – *Cultural understanding of physics: quantum mechanics a century later*

15.40-16:10 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

16.10-18:00 - Round Table on Instrumentation

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Mauro O.

18:00-21:00 - Social activities

Visit to the Research Institutes located on the Arcetri hill
Padovani M. - *Piano Concert*
Light dinner and astronomical observations

20 September

9.00-11:30 - Museums, Archives, and Scientific Collections of Physics and Astronomy in Italy and Abroad

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Plassmeyer P. – *The Mathematisch-Physikalischer Salon in Dresden. A princely collection of scientific instruments*
Verduci D. – *Il Museo Enrico Fermi di Roma apre le porte ai più giovani: metodi e strumenti per raccontare la scienza alle nuove generazioni*
Casi F. – *Il Mondo in Tasca MUMEC Museum celebrations 2024*
Mortellaro R. – *The Archimedes Institute for the manufacture of scientific-educational materials: the role of school museums in tracing the history of disciplines*
Olostro Cirella E. – *Gli incunaboli e le cinquecentine dell'INAF: un catalogo a stampa per scoprire il patrimonio bibliografico antico degli Osservatori italiani*
Faustini L. – *The astronomy books of the former Istituto Tecnico of Florence*
Mauro O. – *Le città del tempo delle Marche*

11.30-12:00 - Coffee Break

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

12.00-12:40 - History of Physics and Astronomy (until 19th century)

Department of Physics and Astronomy, Garbasso Building

Schiavon M. – *Astronomical sciences and scientific diplomacy: Giuseppe Lorenzoni (1843-1914) and the International Geodesic Association during the second half of the 19th Century*
Corradini E. – *The Italian Society of Sciences known as the Society of XL in Modena in the late 18th and 19th centuries*

12.40-13:20 - Conclusions

ATTI \ PROCEEDINGS

100 Years since the Birth of the University of Florence

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_1, pp. 5–16
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-1

The history of the Arcetri Physics Institute from the 1920s to the end of the 1960s

Daniele Dominici[1]

[1]University of Florence. Department of Physics and Astronomy & INFN - Sezione di Firenze, Sesto Fiorentino (FI), dominici@fi.infn.it.

Abstract: The history of the Arcetri Institute of Physics at the University of Florence is analyzed from the beginning of the 20th century to the 1960s. Thanks to the arrival of Garbasso in 1913, not only did the Institute gain new premises on Arcetri hill, but also hosted brilliant young physicists such as Rita Brunetti, Enrico Fermi, Franco Rasetti in the ’20s and Enrico Persico, Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Daria Bocciarelli, Lorenzo Emo Capodilista, Giuseppe Occhialini and Giulio Racah in the ’30s, engaged in the emerging fields of Quantum Mechanics and Cosmic Rays. This internationally renowned *Arcetri School* dissolved in the late 1930s mainly for the transfer of its protagonists to chairs in other Italian or foreign universities. After the war, the legacy was taken up by some students of this school who formed research groups in the fields of nuclear physics and elementary particle physics. As far as theoretical physics is concerned, after the Fermi and Persico periods, these studies enjoyed a new expansion in the sixties thanks to the arrival of Raoul Gatto who created in Arcetri the first Italian school of theoretical physics.

Keywords: Arcetri, Fermi, Garbasso, Rossi, University of Florence

1. The Garbasso period

Aim of this note is to analyze the history of the Arcetri Physics Institute of the University of Florence from 1920s to 1960s; previous studies, which mainly cover the golden period of the ’30s, are contained in the papers: Mandò, 1986; Bonetti & Mazzoni, 2006; Bonetti & Mazzoni, 2007.

In 1859 the provisional government of Tuscany, which took office after the departure of the Lorraine family, created the Istituto di Studi Superiori, Pratici e di Perfezionamento (ISSPP), an institute to initiate young people into post-graduate studies, with four sections, one medical, one scientific, one philological and one philosophical. The chair of Physics was often vacant until the appointment of Antonio Ròiti in 1880. Ròiti, who had graduated in Mathematics from Pisa in 1869 under the direction of the mathematician Enrico Betti, after his call to Florence was mainly interested in electrical measurements, particularly in the study of the unit of measure of the electric resistance.

In 1913, after Ròiti’s retirement, Antonio Garbasso was appointed as the chair of Experimental Physics. After graduating from Turin in 1892, he did research experience in Germany with Hertz and Helmholtz and held teaching positions in Turin and Pisa; in 1903 he was called to the chair of Experimental Physics in Genoa, where he remained until he moved to Florence. He worked on optics, and spectroscopy and explained the Stark Lo Surdo effect within the Bohr theory.

Two years after he arrived in Florence, Garbasso succeeded in obtaining funding from the town council to move the Physics Laboratory from the premises in the center of Florence to a new building on Arcetri hill which already was housing the Astronomical Observatory, not far from Villa Il Gioiello, where Galileo had lived from 1631 until he died in 1642. Garbasso was also very interested in technological

applications, as shown by his initiative to open in 1918 the Laboratory of Practical Optics and Precision Mechanics which later became the premises of the National Institute of Optics.

Garbasso was also an important public figure: he was Mayor of Florence from 1920 to 1927, standing with the National Bloc, made up of liberals, radicals, republicans, and reformists. In the field of physics, he was President of the SIF (Italian Physical Society) for two periods (1912-1914, 1921-1925) as well as of the Committee of Astronomy, Mathematics and Physics of the CNR (National Research Council). In addition to the construction of the new building, Garbasso started by recruiting brilliant young physicists, in 1922, as assistant, Franco Rasetti, who had just graduated from Pisa with a thesis on spectroscopy with Luigi Puccianti, and in 1924 Enrico Fermi, as lecturer to cover courses in Theoretical Mechanics and Mathematical Physics.

At that time, Antonio Garbasso's assistants were Rita Brunetti, who was working on spectroscopy in the visible and the X range and was the first woman to win a chair in Physics in Italy in 1926, and Vasco Ronchi, who became Director of the National Institute of Optics when it was founded in 1930.

The course in Theoretical Mechanics was taken by students in the undergraduate courses of Physics, Physics and Mathematics, of Mathematics, and of the two-year engineering preparatory course. Two of the students for engineering studies in the academic year 1925-26 reorganized the notes of the Theoretical Mechanics course into handouts that were printed in 1926[1] .

The course in Mathematical Physics, taught in the fourth year of Physics, Physics and Mathematics and of Mathematics, included for 1924/25 the traditional topics of Electrodynamics supplemented by a mention of the new Theory of Relativity. In the following year, the title of the course was changed to Theoretical Physics and Fermi covered notions of Probability, Thermodynamics, and Statistical Mechanics. This course in Theoretical Physics in the academic year 1925/26, together with a similar course held in Naples, were the first with this title in Italy[2] .

Rasetti's recollections are very important to reconstruct this period:

> My first job was in Florence, and I worked on atomic spectroscopy... The equipment was pretty good for those times - especially for spectroscopy, which was my field. They had a very good spectrograph and spectroscope; we had an excellent Rowland grating in the Rowland mounting. And I didn't have much teaching to do, because [Antonio] Garbasso gave the physics course (Goodstein, 2001, p. 295).

On Garbasso, Rasetti says:

> Garbasso had been a good physicist, but when I knew him he was only interested in politics. He was the mayor of Florence... He gave his course in elementary physics and he was quite intelligent at it. And later Fermi explained to him what we were doing and he understood because he was intelligent. I mean, he knew the classical theory - he didn't know much about the quantum theory, because that had come after he lost direct interest in physics. But he followed what we were doing, and he was a very pleasant person (Goodstein, 2001, p. 297).

Enrico Fermi's time in Florence was short but very fruitful: he wrote several articles with Rasetti, in particular a paper on the effect of weak but high-frequency magnetic fields on the depolarization of resonance light in mercury vapor. In 1926 Fermi published the work on the Fermi-Dirac statistics, which made him internationally famous. Since 1923 he has been interested in Statistical Mechanics and particularly in the problem of the absolute constant of the entropy of a perfect gas (Cordella & Sebastiani, 2000; Casalbuoni, 2023). The new factor, that enabled him to discover the Fermi-Dirac statistics, was the Exclusion Principle formulated by Pauli in 1925. Fermi's great merit was having applied Pauli's Principle, which until then had been advanced for the interpretation of spectroscopic phenomena, to a general system of particles. Paul Dirac also arrived at the same result in August 1926, by relating the

[1] A book containing these lessons was recently published by Firenze University Press (Casalbuoni, Dominici & Pelosi, 2019)

[2] For a reconstruction of the institution of the first chairs of Theoretical Physics in Italy, see (La Rana & Rossi, 2020)

two quantum statistics to the two possibilities of the wavefunctions of a system being symmetric or antisymmetric under the exchange of the coordinates of two identical particles. After the publication of Fermi's work, important applications by Thomas (1926), independently of Fermi (1927), treating the internal electrons of a heavy atom with statistics, and by Fowler (1926), on white dwarfs and Sommerfeld (1928) on conduction in metals followed.

In 1926 Corbino succeeded in having the first chair of Theoretical Physics and, after the selection process, Fermi was appointed to Rome, Enrico Persico to Florence and Aldo Pontremoli to Milan. The arrival of Persico in Florence on the chair of Theoretical Physics was of great importance for his extraordinary teaching skills and his contribution to the spread of Quantum Mechanics.

After Fermi also Rasetti left for Rome, then Garbasso hired Bruno Rossi and Gilberto Bernardini in 1928, and thanks to the graduations of Giuseppe "Beppo" Occhialini in 1929 (advisor Rossi), Giulio Racah (advisor Persico) and Daria Bocciarelli (advisor Rossi) in 1931 and Lorenzo Emo Capodilista in 1932, a group of young people who greatly boosted cosmic ray research was formed[3].

In Arcetri Rossi developed the famous coincidence circuit, consisting of triodes allowing the detection of triple or higher coincidences of ionizing particles. In this device, the current flow in the circuit is interrupted only when all counters are working at the same time. With this new electronic coincidence apparatus at his disposal, improving sizably the time resolution of Bothe's and Kohlhörster's experiment, Rossi experimented with magnetic lenses to measure the charge of the corpuscles that made up the cosmic rays. In the summer of 1930, when Rossi was in Berlin with Walter Bothe, he conjectured the existence of an east-west asymmetry in the distribution of cosmic rays, due to the effect of the earth's magnetic field, which predicted the arrival of more particles from the east or west of the magnetic meridian depending on whether the particle's charge was negative or positive. However, his experiment on this effect performed in Florence proved negative within the errors.

A particularly important consequence of the cosmic ray studies stemmed from the lack of expertise on cloud chambers in Italy, which were fundamental instruments for determining the characteristics of particles. Rossi, who had met in the 1930 summer in Berlin Patrick Blackett, Europe's leading expert on the subject, decided to send Occhialini to work there. Occhialini left in 1931, taking the skills acquired in the field of coincidences at Arcetri with the idea of combining the Rossi circuit with the cloud chamber. Blackett and Occhialini obtained their first results in 1933, the most exciting being the discovery of the showers produced by cosmic rays and the formation of electron-positron pairs. Moreover, thanks to the cloud chamber immersed in a magnetic field, it was possible to observe the components of the shower and also determine the sign of the particle charge. Occhialini's contribution was extremely important for the identification of the positron thanks to Rossi's circuit. This enabled him and Blackett to confirm Carl Anderson's discovery of the positron (1932), published just a few months earlier, and the positive and negative electron showers[4].

Racah was not very involved in the experimental research on cosmic rays however he did relevant calculations of bremsstrahlung cross sections from high-energy electrons, of the production of electron-positron pairs, and of hyperfine structures in atoms. From 1932 to 1937, he taught the course Theoretical Physics and then moved to Pisa, and in 1939, because of the racial laws, to Palestine. He often travelled to Rome to collaborate and discuss with Enrico Fermi, Ettore Majorana, and Gian Carlo Wick and had also established an important working relationship with Wolfgang Pauli in Zurich.

It is also important to note that the scientific relations between the Florence and Rome groups in those years were very intense, as remembered by Edoardo Amaldi in a round table at the conference held in Arcetri in 1987 for the 80th birthday of G. Occhialini (Bonetti & Mazzoni, 2007), (Fig. 1). Rasetti, who

[3] For Bruno Rossi's contribution to the physics of cosmic rays, see (Bonolis, 2011) and talk at this conference.

[4] For the influence of the Arcetri school on the formation of Giuseppe Occhialini see Tucci contribution at this conference.

had been Garbasso's assistant in 1922, became Orso Mario Corbino's assistant in 1926, filling the position vacated by Persico, who had been called to Florence to the chair of Theoretical Physics. This exchange of personnel strengthened relations and collaborations between the two groups, which soon achieved international fame working on different topics, cosmic rays in Florence and atomic spectroscopy, the Raman effect and, from 1932, nuclear physics in Rome.

Fig. 1: Round table at the conference held in Arcetri in 1987 for the 80th birthday of G. Occhialini. From left: Bernardini, Bocciarelli, Rossi, Amaldi, Mandò (courtesy of Pier Andrea Mandò).

During one of these visits on a weekend in 1933, Bruno Rossi, after a discussion with his Roman colleagues on the effect of the earth's magnetic field, wrote an article on this subject in collaboration with Fermi where they showed that the explanation for the negative result for the east-west effect required large absorption by the atmosphere and that the effect would have been visible near the equator. Rossi, also helped by Garbasso, began to organize a mission to Eritrea to prove this statement. The mission could only be held in 1933 after Rossi moved to Padua. Sergio De Benedetti and Ivo Ranzi also participated in the mission. The experiment definitively confirmed the corpuscular theory of cosmic rays that the prevailing direction of the particles was from the west of the magnetic meridian and that the particles were therefore positively charged. Unfortunately, due to the delay in the organization, the Rossi experiment could take place only after the Alvarez Compton and Johnson ones.

Thanks to the good relationship between the physics institutes in Florence and Rome, when Fermi needed Geiger counters to study neutron-induced radioactivity, the Florentines supplied all their expertise. In particular, the Bothe secret on the fact that his Geiger counters had not a steel but an aluminum wire, which Bothe confessed to Rossi in Berlin in 1930, was from Rossi transmitted to his friends in Florence and Rome (Rossi, 1987). Amaldi also recalls that when Rossi had already moved to Padua, "one weekend in April or May 1934, Bernardini, Occhialini, Daria Bocciarelli, and Emo Capodilista came to Rome and brought us boxes full of Geiger counters and proportional counters: they were a gift to help us in our work... They were beautiful and worked very well, but unfortunately, the geometry was wrong" (Bonetti

& Mazzoni, 2007). An interesting hypothesis has been put forward to this end, that among the counters tested by Fermi and mentioned in the Roman scientist's notebook, found by Francesco Guerra and Nadia Robotti in Avellino, there were those brought by the Florentines (Guerra & Robotti, 2015).

During the 1987 Occhialini conference, it was also remembered by Occhialini and Bernardini the fundamental contribution of Giorgio Abetti, who, as Director of the Observatory, launched the Mathematical, Physical and Astrophysical Seminar of Arcetri. This was a series of conferences by international speakers aimed at all students and professors of the university, which was officially approved by the Faculty in 1932 and ran until 1943. This seminar was of great importance for the young people of the Institute of Physics, because it allowed them to get to know many world-famous scientists, who were invited by Abetti regularly.

Fig. 2: From the right Franchetti, Mandò, Isidor Rabi and two other visitors on the Arcetri terrace (University of Florence, Department of Physics and Astronomy, Scientific and Technological Hub).

The commencement of nuclear research in Italy dates back to 1933 and the institutes involved included Rome, Padua, and Florence. It has to be stressed that this program, supported by the National Research Council, assigned the Florentine institute the task of studying the excitation of neutrons in various elements with α particles of different energies, as well as the disintegrations produced by neutrons as they pass through matter (Guerra & Robotti, 2015). This program involved Bernardini, Bocciarelli and Capodilista, but was essentially carried out abroad by Bernardini and Emo Capodilista in Berlin Dahlem, where Lise Meitner was also working. The group in Padua was supposed to focus on cosmic rays while the group in Rome was supposed to focus on γ-spectroscopy. The Rome group, as is well known, under the leadership of Fermi was to discover neutron-induced radioactivity in 1934, paving the way for nuclear fission.

In 1932, Rossi moved to the chair of Experimental Physics at the University of Padua. After his departure, the research activity on cosmic rays in Arcetri was carried on by Bernardini, Bocciarelli,

Capodilista and Franchetti. The activity of these researchers was also devoted to the study of induced radioactivity, like for example in the polonium-beryllium system (polonium emits α particles that hit beryllium that becomes neutron emitter). Unfortunately, at the end of the 1930s, this golden age of Florentine physics came to an end. In 1937, Bernardini left Florence for the chair of the University of Camerino; after his return in 1934, Occhialini left for Brazil in 1937 to escape the fascist regime sizing the opportunity of Gleb Wataghin's invitation and contributing to the birth of the Brazilian school of particle physics in Säo Paulo. He returned to Europe in 1944 and collaborated with the Brazilian Cesare Lattes and with Cecil Powell on the discovery of the pion in 1947. Daria Bocciarelli, in 1938, moved to the Istituto Superiore di Sanità in Rome, where she played a very important role. Racah moved to Pisa in 1937, after winning the second Italian selection for professorships in Theoretical Physics. Emo Capodilista abandoned his scientific career, after a period in the United States at the Lawrence Radiation Laboratory.

Added to all this in 1933 Antonio Garbasso died and was replaced by Laureto Tieri, an old-style professor who was not much interested into the new physics. The atmosphere at the Institute had changed, *the spirit of Arcetri* was no longer there. Perhaps these young researchers would have gone anyway, but certainly, the change of the human environment at the Institute was largely responsible for it. By the end of the 1930s, Manlio Mandò, Michele Della Corte, and Giuliano Toraldo di Francia had graduated from Arcetri, and, together with Simone Franchetti and Nello Carrara, they were to contribute to the rebirth of Florentine physics in the post-war period (Figs. 2 and 3).

Fig. 3: Della Corte (right) with Louis Leprince-Ringuet in Florence in 1954 (University of Florence, Historical Archives of the Sciences Library, *Michele Della Corte*)

2. The Second World War period

In the academic year 1937/38, Franchetti became Assistant Professor and lecturer in Theoretical Physics in Florence, where he began his studies on the physics of the nucleus, focusing particularly on the interaction of γ-rays with the matter, and later on the spectra of μ leptons or, as they were then called, mesons. In 1937, Tito Franzini arrived from the University of Pavia and Vincenzo Ricca from the University of Messina. Tito Franzini moved as Assistant Professor to Florence to take over the position vacated by Mandò who, in the meantime, had become Assistant Professor in Palermo, where Emilio Segré had been called as Professor from 1935. After the departures described at the end of the previous Section, Simone Franchetti, the last to remain at the Institute from the time of Bernardini, was expelled from the Florentine University due to the racial laws, because, although his mother was Catholic, his father was Jewish.

In addition to the Director Laureto Tieri, several young graduates remained at the Institute of Physics, including Carlo Ballario and Della Corte, who, together with Tito Prosperi in 1940, experimented on the absorption of cosmic rays under rock in the Tuscan-Emilian Apennines. The experiment took place in a shaft of the tunnel of the Florence-Bologna railway, which descended a slope to a depth of 200 metres to the underground station called Precedenze. The experiment aimed to detect the particles that make up cosmic rays, after passing through the layers of matter of the mountain, using Geiger Müller counters and an electrical coincidence circuit. The apparatus was mounted on the carriage of the well and this allowed measurements to be taken at various depths.

Della Corte then left for military service and in 1942, at the Cascine Air War School, he met Air Force Captain Italo Piccagli, a staunch anti-fascist. Piccagli was also an expert atmosphere scientist and had presented his studies at the Mathematical, Physical, and Astrophysical Seminar. In the period immediately preceding 8 September 1943, Piccagli proposed to Della Corte the opportunity to transfer the instruments and apparatuses of the Meteorology and Air Navigation Laboratories to Arcetri to save them from requisition by the German army. The equipment was hidden in the Institute of Physics and Arcetri Observatory. The Institute was then searched by the German SS, who had been alerted to the presence of air force material on the premises. Fortunately, the material had been well hidden and the Germans only took away a few items. A few months later, Della Corte and Ballario, again following an invitation by Captain Piccagli, joined Radio CORA, a clandestine radio station promoted by the Radio Commission of the Action Party. The radio, which had the task of transmitting relevant information to the allied commands and partisan troops, had several bases in the city, including the Institute of Physics in Arcetri. The experience of Radio CORA tragically ended on 7 June 1944; the Nazis located the radio on the premises in Piazza d'Azeglio in Florence and stormed in. Luigi Morandi, who was on duty at the radio transmitter managed to fight back and kill a German but was wounded and died a few days later. Despite being tortured, Piccagli and the lawyer Enrico Bocci took the entire responsibility for the organization, exonerating the others. Piccagli was killed by German soldiers in the hills above Florence on 12 June 1944, together with other anti-fascists. Enrico Bocci was probably killed by the SS, but his body was never found. Della Corte and Ballario were saved by the sacrifice of Bocci and Piccagli and because they were not on radio duty that day. From 1944 to 1947, Ballario was Assistant Professor at the University of Bologna before moving to Rome, where he collaborated with Amaldi and Bernardini's group. Della Corte continued his academic career in Florence.

Simone Franchetti's expulsion from the university ended on 28 December 1944 when he resumed service at Arcetri. Mandò, called to arms and sent to Libya in 1939, in December 1940 was badly wounded in battle and captured by the British army. He was operated on and treated by the British in the military hospital in Alexandria and then transferred to prison camps in India. He finally returned to Italy on 1st July 1946.

3. After the war until the '60s

In this section the birth of three areas of physics research in Florence in the 1960s, high energy physics, physics of the nucleus and finally theoretical physics is reviewed. For the microwave and laser physics activities, that were born and developed in Florence around the figures of Nello Carrara and Giuliano Toraldo di Francia, see (Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2022).

In 1951, on the initiative of Edoardo Amaldi and Gilberto Bernardini and with the support of Gustavo Colonnetti, President of the CNR, a new important research agency, the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (National Institute of Nuclear Physics), was born to coordinate theoretical and experimental research activities in nuclear physics and cosmic rays. Its first four Sections were those of Rome, Padua, Milan, and Turin. In Florence, a Subsection was created in 1952, and was directed by Franchetti until 1966, by Renato Angelo Ricci in 1967/68, and then by Mandò until 1972, when it was transformed into a Section.

3.1. Experimental physics

The Arcetri school's research into cosmic rays, initiated by Rossi, was continued by Della Corte, who, in 1950, with the support of CNR and Della Riccia Foundation grants, went to Paris to work with Louis Leprince-Ringuet's group at the École Polytechnique, to learn the nuclear plate technique. Upon his return, he created the Florentine *plate group*, a team performing particle physics experiments with nuclear emulsions. The group's first research was on trace formation and the determination of the charge and the mass of the particles (Cartacci, 2014).

The Florence group, joined later by Anna Maria Cartacci and Pier Giorgio Bizzeti, then switched from research on cosmic rays to research with accelerators, by collaborating with groups from other Italian universities at CERN, the new European facility for particle and nuclear physics. After the study of positive pion-proton scattering at 8.3 MeV to determine phase shifts, the Florence-Genoa-Turin collaboration studied 25 GeV proton interactions at CERN's Proton Synchrotron, determining the characteristics of these interactions; the Parma-Florence collaboration on the other hand studied the final products in the interactions of strange mesons in nuclear emulsions. In 1964, the group abandoned the technique of nuclear emulsions and switched to the analysis of bubble chamber frames in experiments at CERN.

At the end of the 1960s, Della Corte, having become increasingly interested in the application of physics to medicine, switched to nuclear medicine, abandoning elementary particle research; however, Giuliano Di Caporiacco and Giuliano Parrini joined the group. In collaboration with the groups in Bologna, Bari, and the Institut de Physique Nucléaire in Orsay, the Florentine group published results on the research of new particles in resonant pion systems, produced in interactions of the 5.1 GeV positive pion beam of CERN's Proton Synchrotron in a bubble chamber filled with deuterium. A new collaboration with the groups of Milan, Bologna, and Oxford continued studying the production of new states in interactions of π^- of 11.2 GeV in a bubble chamber filled with hydrogen. The group would later return to the emulsion technique in the search for particles containing a charm-type quark, carried out at CERN in the 1970s.

Before analyzing the history of the nuclear group, it is worthwhile to mention also the figure of Tito Fazzini, who graduated with Franchetti in 1947 on the energy spectrum of μ, in 1957 moved to CERN, where, three years after CERN birth, the 600 MeV CERN synchrocyclotron (SC) started accelerating protons. In August 1958, Fazzini, Giuseppe Fidecaro, Alec Merrison, Helmut Paul and Alvin Tollestrup proved the rare pion decay in electron neutrino by measuring at the SC the ratio $R=\frac{\Gamma(\pi^+\to e^+\nu_e)}{\Gamma(\pi^+\to\mu^+\nu_\mu)} > 5x10^{-5}$, a value consistent with the V-A expectation of weak interaction theory. Fazzini returned to Florence in 1962, where he focused on research into nuclear physics with Mandò's group.

At the end of the 1950s, Manlio Mandò, after moving from Bologna to Florence as an Assistant Professor of Experimental Physics and having carried out research on cosmic rays in the immediate post-war period, succeeded in setting up an experimental group to work on nuclear physics. In the years that followed, this group became of international importance thanks partly to its fruitful contacts with centers of excellence for nuclear physics in the United States, Japan and especially Germany. In addition to Manlio Mandò, Tito Fazzini, Piergiorgio Bizzeti (after the initial period with the plate group), Anna Maria Bizzeti Sona, Mario Bocciolini, Giuliano Di Caporiacco (who later joined the plate group) and, from 1962-63, the new graduates Pietro Sona, Paolo Maurenzig, Nello Taccetti and Paolo Blasi were part of the nuclear physics group and in the early 1960s turned to experimental nuclear physics with accelerators, using a PN400 Van de Graaff accelerator, which provided a terminal voltage of 400 kV and could accelerate protons and deuterons to be sent to a target, to produce neutrons and γ-rays (Taccetti, 2017).

The main activities carried out were the production of isomeric states and the measurement of photo-production cross-section fluctuations. The group also worked on the development of new detectors. When Renato Ricci moved to the University of Florence in 1965, he founded the aforementioned group of young experimental physicists, which was studying the use of new Silicon-based detectors to detect electrons and α particles, and new Germanium-based detectors to detect γ-rays. These detectors made it possible to achieve much better energy resolutions than could be obtained with thallium-doped sodium iodide detectors. At the end of 1966, Ricci proposed to the group the participation in nuclear spectroscopy research at the Legnaro Laboratory (Padua), which was to become the INFN's Legnaro National Laboratories dedicated to nuclear physics in 1968. This marked the start of the Florentine nuclear group's long collaboration with the Legnaro Laboratory.

The PN400 accelerator was decommissioned at the end of the 1960s. The Florentine group then managed to obtain from INFN the KS3000 electron accelerator, a 3 MV Van de Graaf, which had been the injector of the Frascati Electron Synchrotron, decommissioned in 1968-69. The accelerator, which arrived in Florence in 1971, was transformed into a positive ion accelerator with the important contributions of Tito Fazzini, Giacomo Poggi and Nello Taccetti and the group technicians. The new accelerator, renamed KN3000, was used in the 1970s to perform nuclear spectroscopy measurements and parity violation experiments in nuclei. Its career came to a close with participation, under the leadership of Pier Andrea Mandò, in the initial phase of the programme of nuclear physics applied to the environment and cultural heritage. This initial activity gave birth to the group that now works at the Laboratory of Nuclear Techniques Applied to Cultural Heritage (LABEC) at the Scientific Hub of the University of Florence in Sesto Fiorentino.

3.2. Theoretical physics

To conclude, I am going to review the activities of the theoretical physics group. After his initial studies of nuclear physics and cosmic rays, from the 1950s onwards, Franchetti concentrated on the theoretical analysis of condensed states, especially liquids, and was among the pioneers in studying liquid helium.

After Persico's departure in 1930, the chair of Theoretical Physics remained vacant until 1958, when Giacomo Morpurgo was appointed. When in 1962 Morpurgo moved to Genoa the chair was assigned to Raoul Gatto - on the figure of Raoul Gatto see (Casalbuoni & Dominici, 2018; Battimelli, Buccella & Napolitano, 2019).

Raoul Gatto graduated at the Scuola Normale Superiore in Pisa in 1951 with a thesis on nuclear shell models, prepared under the guidance of Bruno Ferretti, who held the chair of Theoretical Physics in Rome at the time, and Marcello Conversi, who taught Experimental Physics in Pisa and was his supervisor. In the same year, he obtained a diploma with honors from the Scuola Normale Superiore

with a thesis on statistical theories of nuclei, supervised by Tullio Derenzini. After his thesis, Gatto moved to Rome and became assistant of Bruno Ferretti, studying weak hadron decays and associated angular distributions. In 1956 Gatto obtained the "Libera docenza" in Theoretical Physics and moved to the Radiation Laboratory in Berkeley, California, where he remained until 1957. At Berkeley, where Louis Alvarez's group was discovering numerous new particles using a bubble chamber, Gatto continued his work on the phenomenology of hyperons, the symmetries of weak interactions, and the consequences of the violation of parity in weak interactions. In the early 1960s, Gatto became a Full Professor in Cagliari but also spent part of his time at the Frascati Laboratories. As one of the leading theoretical experts in Quantum Electrodynamics, he participated in the research for the first particle collider, or Storage Ring (AdA), the well-known electron-positron machine devised by Bruno Touschek, and in the research for the subsequent ADONE (Bonolis, Buccella & Pancheri, 2023).

Fig. 4: Raoul Gatto in Florence in the 1960s (courtesy of the family).

In Florence, Gatto (see Fig. 4) decided to create a group of young theorists, organized in the style of the famous Landau school. He found in Arcetri Marco Ademollo, Emilio Borchi, and Giorgio Longhi, and brought to Florence Guido Altarelli, Franco Buccella, and Giuliano Preparata who had done their theses at the Rome University under his supervision and Enrico Celeghini from Cagliari. Luciano Maiani, who graduated from Rome in 1964 with an experimental thesis on semiconductor detectors, supervised by Giorgio Cortellessa of the Istituto Superiore di Sanità, obtained, thanks to Mario Ageno, a scholarship to work not only in the Istituto Superiore di Sanità but also in Florence with Gatto. The only Florentine student who graduated with Gatto in this early period was Gabriele Veneziano, who, in 1967, began his collaboration with Ademollo on sum rules and dual models, which, in 1968, led him to the formulation of the internationally acclaimed Veneziano model.

The research activity of the group was devoted to phenomenological aspects related to the discovery of new particles like the classification of baryonic and mesonic resonances by using the group SU(3) and its generalization SU(6), determination of their spins from various angular correlations, electron-positron radiative corrections but also to more formal aspects, like dispersion relations, Schwinger terms and non-renormalization theorem. In 1966, Gatto decided to expand the group by recruiting the students who seemed most promising. On the whole, Gatto's students were truly exceptional, as is shown by the success of their scientific careers, but certainly, the atmosphere and his teaching contributed in no small measure to what has been considered the only true school of theoretical physics ever to have existed in Italy. Many

scientifically important results were obtained, probably the best known of which is the Ademollo-Gatto theorem on certain properties of weak interactions (non-renormalization for the strangeness-violating vector currents to first order in the symmetry-breaking interactions). In the academic year 1967-68, Gatto went on leave to Geneva, then in 1968-69 moved to Padua and again to Rome. In the 1970s, he was called to the University of Geneva where he taught until 1995. At the end of the 1960s, after Gatto's departure, Ademollo, Altarelli, Buccella, Gallavotti, and Preparata left Arcetri for the United States and CERN, Maiani got a permanent position at the Istituto Superiore di Sanità; only Longhi and Celeghini stayed in Florence with a group of young people who had just graduated or were about to (Roberto Casalbuoni, Luca Lusanna, Emanuele Sorace). Let us conclude by quoting (Maiani & Bonolis, 2017):

> With the end of 1966, the Florence experience came to an end. Although Gatto had done very well in Florence and had become really famous for having grown all these pupils, he was thinking to move... The perfect atmosphere of '65/'66 was not there anymore... What we achieve in Florence? We certainly participated in the struggle of theoretical physics of those years towards a theory of strong interactions and we had been recognized as useful interlocutors.

4. Conclusions

The history of modern physics at the Arcetri Institute of Physics of the University of Florence traced back to the beginning of the 20th century with the arrival of Antonio Garbasso. Thanks to Garbasso, brilliant groups of young physicists (Rita Brunetti, Enrico Fermi, Franco Rasetti, Enrico Persico, Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Daria Bocciarelli, Lorenzo Emo Capodilista, Giuseppe Occhialini and Giulio Racah) started their scientific carriers in Arcetri. Very important was also the role of Giorgio Abetti, Director of the Arcetri Observatory, who created the Mathematical, Physical, and Astrophysical Seminar, an institution to promote in Arcetri conferences by foreign and Italian physicists and mathematicians. This internationally renowned Arcetri School ended up in the late 1930s mainly for the transfer of its protagonists to chairs in other universities, but also, to some extent, for the environment created by the fascist regime. After the war, the legacy was taken up by some students of this school who formed research groups in the field of nuclear physics, elementary particle physics, and matter physics. As far as theoretical physics was concerned, after the Fermi and Persico periods, these studies enjoyed a new expansion in the '60s, with the arrival of Raoul Gatto, who created the first real Italian school of theoretical physics.

Acknowledgments

The author would like to thank Roberto Casalbuoni and Massimo Mazzoni for their fruitful collaboration on this topic and Luisa Bonolis, Pier Andrea Mandò, and Paolo Rossi for their useful and stimulating suggestions. The talk is based on the papers Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2021 and Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2022. A complete list of references can be found in these two works.

Bibliography

Battimelli, G., Buccella, F. & Napolitano, P. (2019). "Raoul Gatto, a great Italian scientist and teacher in theoretical elementary particle physics", *Quaderni di Storia della Fisica*, 1, pp. 145–169.

Bonetti, A. & Mazzoni, M. (2006). "The Arcetri School of Physics", in Redondi, P. *et al.* (eds), *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*. Bologna : Società Italiana di Fisica; Berlin [etc.]: Springer, pp. 3–34.

Bonetti, A. & Mazzoni, M. (2007). *L'Università di Firenze nel centenario della nascita di Giuseppe Occhialini (1907-1993)*. Firenze: Firenze University Press.

Bonolis, L. (2011). “Walther Bothe and Bruno Rossi: the birth and development of coincidence methods in cosmic-ray physics”, *American Journal of Physics*, 79(11), pp. 1133–1150.

Bonolis, L., Buccella, F. & Pancheri, G. (2023), “Raoul Gatto and Bruno Touschek’s collaboration in the birth of electron-positron physics”, *The European Physical Journal H*, 49, 24.

Cartacci, A. (2014). “The plates group of the Antonio Garbasso Institute of Florence (1953- 1983)”, *Il Colle di Galileo*, 3(1), pp. 7–14.

Casalbuoni, R. (2023), “La statistica di Fermi – Fermi statistics”, *Quaderni di Storia della Fisica*, 28(1), pp. 103-112.

Casalbuoni, R. & Dominici, D. (2018). “The teacher of the gattini (kittens)”, *Il Colle di Galileo*, 7(2), pp. 47–69.

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2021). *Lo spirito di Arcetri a cento anni dalla nascita dell’Istituto di Fisica dell’Università di Firenze*. Firenze: Firenze University Press.

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2022). “A brief history of Florentine physics from the 1920s to the end of the 1960s”, *The European Physical Journal H*, 47(1), p. 15.

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Pelosi, G. (eds.) (2021). *Enrico Fermi a Firenze*. Firenze: Firenze University Press.

Cordella, F. & Sebastiani, F. (2000). “Sul percorso di Fermi verso la statistica quantistica”, *Il Nuovo Saggiatore*, 16, p. 11–22.

Goodstein, J. (2001). A Conversation with Franco Rasetti. *Phys. perspect.*, 3, pp. 271–313.

Guerra, F. & Robotti, N. (2015). *Enrico Fermi e il quaderno ritrovato: 20 marzo 1934, la vera storia della scoperta della radioattività indotta da neutroni*. Bologna: SIF.

La Rana, A. & Rossi, P. (2020). “The blossoming of quantum mechanics in Italy: the roots, the context and the first spreading in Italian universities (1900-1947)”. *The European Physical Journal H*, 45, pp. 237–252.

Maiani, L. & Bonolis, L. (2017). “The Charm of Theoretical Physics (1958-1993), *The European Physical Journal H*, 42, pp. 611-661.

Mandò, M. (1986). “Notizie sugli studi di fisica (1859-1949)”, in *Storia dell’Ateneo fiorentino*, vol. 1. Firenze: Parretti Grafiche.

Rossi, B., (1987). *Momenti nella vita di uno scienziato*. Bologna: Zanichelli.

Taccetti, N. (2017). “Physics with accelerators at Arcetri. A short chronicle dedicated to Tito Fazzini who was one of its leading protagonists”, *Il Colle di Galileo*, 6(1), pp. 19–38.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_2, pp. 17–22
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-2

Waiting for another centennial: first ideas for Astrophysics at the Arcetri Astronomical Observatory (1872-1921)

Simone Bianchi[1]

[1]INAF - Arcetri Astrophysical Observatory, Florence, simone.bianchi@inaf.it.

Abstract: In 2025, we will celebrate 100 years from the inauguration of the Solar Tower, a landmark of the Arcetri Observatory and the symbol of its full dedication to astrophysics. Yet, ideas to dedicate Arcetri, in full or in part, to the new science have been expressed already since its foundation in 1872 as an Astronomical Observatory. I will review these earlier suggestions and highlight the role of the director, Antonio Abetti, in setting the new course.

Keywords: Arcetri Observatory, Giovanni Battista Donati, Otto Wilhelm Struve, Antonio Abetti

1. A concise summary

The contribution presented at the conference discussed the transition between the *Osservatorio Astronomico di Arcetri*, a facility inaugurated in 1872 mainly for research in classical astronomy and only marginally in the nascent branch of astrophysics, and the current denomination of *Osservatorio Astrofisico* in 1921. Since the presentation was entirely based on two published papers (Bianchi & Gasperini, 2021; Bianchi, 2021a), I provide here only a summary, with a few more details for the topics that have not yet been presented in English (Section 2).

2. Nostradamus' prophecy[1]

> These discoveries [of spectral analysis] have given physical astronomy a new impetus, opening up an immense future for the study of the stellar universe, a future whose boundaries we cannot conceive, but which we foresee as so beautiful, great and unexpected, as to impel philosophical curiosity to progress further at any cost, and at the price of any sacrifice (Nostradamus, 1874).

This "prophecy" on the bright future of astrophysics appeared on the Italian national newspaper *L'Epoca*, on 25 November 1874; it was part of an article titled "On the opportunity of establishing in Florence an observatory of physical astronomy", signed by an anonymous Nostradamus. The author urged the Istituto di Studi Superiori (from which the University of Florence sprouted in 1924) to dedicate the new astronomical Observatory of Arcetri entirely to astrophysical studies. The Observatory had been inaugurated just two years before, but its founder, Giovanni Battista Donati (1826-1873), died before operations could start (Bianchi, 2020) (Fig. 1). After Donati's death, the Istituto strived to appoint as director Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910), director of the Brera Observatory in Milan and already famous for his studies on meteoric showers, but eventually he only became an external scientific advisor for the new observatory (see Bianchi, Galli & Gasperini, 2011).

[1] Most of the content of this Section comes from Bianchi & Gasperini, 2021.

Fig. 1: The Arcetri Observatory on the day of its inauguration, 27 October 1872. credit: INAF-Historical archives of Rome Observatory).

According to Nostradamus[2], the choice of Schiaparelli (either as director or advisor) showed that the directorship of the Istituto intended to devote Arcetri to classical astronomy; on the contrary, Donati, a pioneer of spectroscopical studies would have liked, Nostradamus believed, to devote the new facility to astrophysics. Furthermore, research on classical astronomy would have required large expenses, since the Observatory still lacked a costly meridian circle for high-precision measurements of the position of celestial bodies; instead, instruments for spectroscopy, physics and photography, required by the research line Nostradamus suggested, were much less expensive.

Only dedicating Arcetri to astrophysics – Nostradamus continued – the new Observatory could have rivalled with similar institutes that were (or were being) established abroad; among these the observatory that had been proposed to the French Government (eventually, it will be the Meudon Observatory, established in 1876) and for which a report had been presented to the Académie des Sciences on 2 November 1874 (Faye, 1874): indeed, it was this report that must have inspired Nostradamus for publishing his article (a good part of which, including the prophec, it's a mere translation of the French text into Italian).

At the beginning of the following year, it was the time for Schiaparelli to present his views on the Arcetri Observatory. In a report asked by the Istituto, he stated that the same aspect of the building, with a large (and yet empty) room for meridian observations, declared its intended destination to classical astronomy (Schiaparelli, 1875; Bianchi, Galli & Gasperini, 2011). Schiaparelli had on his side the original ideas of Donati, which, contrary to what Nostradamus believed, had stated that:

> The New Observatory, for its position and construction, must be especially directed towards the astronomical observations that are called fundamental, that is the determination of the positions of celestial

[2] Schiaparelli believed that Nostradamus was the engineer Demetrio Emilio Diamilla Muller (1826-1906) (Bianchi & Gasperini, 2021).

> bodies. This purpose, although less universally understood, and, I will say, less seductive than those other studies that target the physical constitution of the stars, is still the most important of astronomy (Donati, 1873, as reported in Bianchi, 2020).

Clearly, the founder of Arcetri, despite its interests in astrophysics, had thought the new observatory as a place mainly for pursuing positional astronomy; a project in line with his other interests in astronomy-supported geodetical studies (Bianchi, 2020). Beside Donati, Schiaparelli (1875) asked for the opinion of another champion of classical astronomy, his friend Otto Wilhelm Struve (1819-1925), director of the Pulkovo Observatory in Russia. Struve's concerns about astrophysics were mainly about its mathematical rigor, as he already expressed in 1869 at the general assembly of the *Astronomische Gesellshaft*:

> a completely new branch of astronomical science has emerged in recent years, astrophysics, whose vigorous development to date justifies the boldest hopes... While Astronomy is particularly the exact natural science in which theory and observation go hand in hand and support each other, there is still far too much room for arbitrary explanation in astrophysics, since neither astrophysical observations can be expressed strictly enough in figures..., nor has mathematical analysis sufficiently taken on the task of subjecting the practical acquisitions of astrophysics to its rigorous examination... In time, these aims must and will be achieved (Bericht..., 1869, pp. 243-244).

In the letter he wrote for Schiaparelli's report, Struve repeated the same concepts and stressed that it was not time yet to devote the full resources of a great Observatory as Arcetri to astrophysics. Only when a large amount of data will be acquired and ordered, Struve said:

> will the time have come for the great observatories to devote themselves with all their strength to this part of science, and to raise this branch to the heights of the other branch, which we call mathematical astronomy, by means of exact and relevant measurements (Schiaparelli, 1875, p. 8).

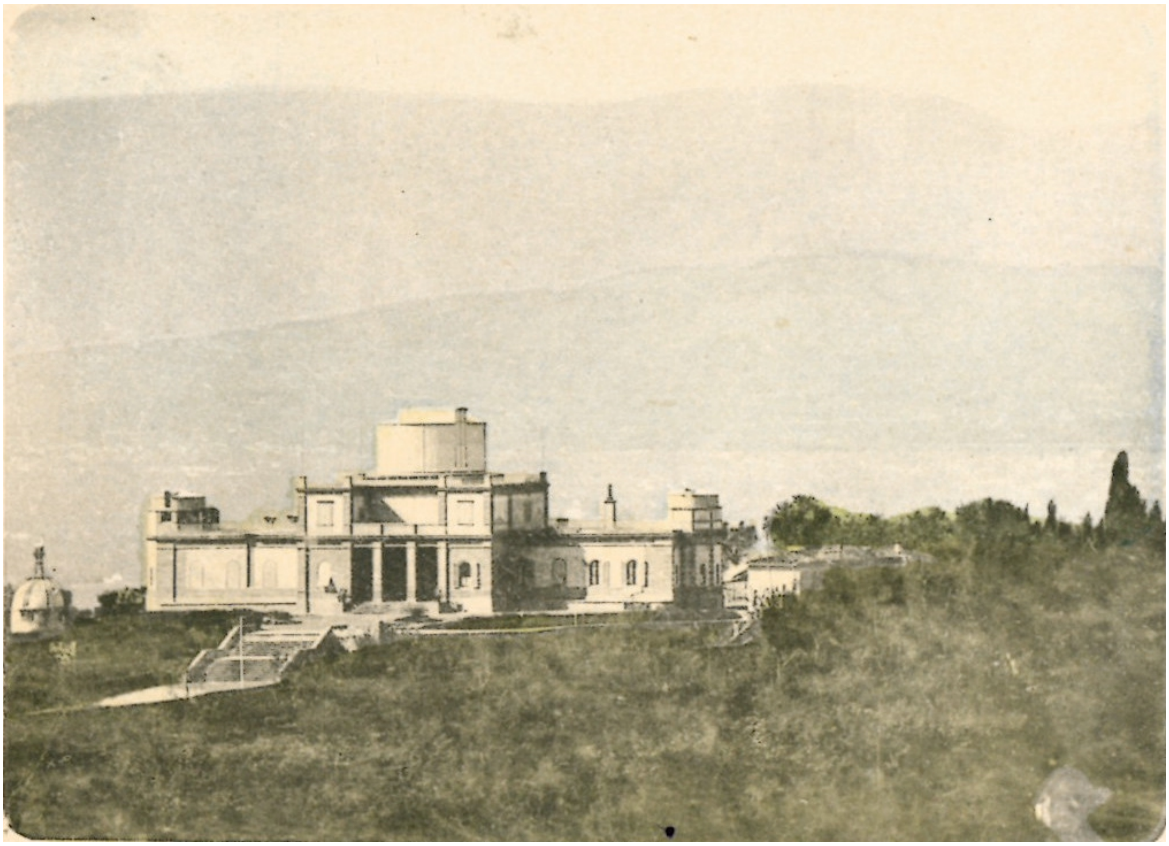


Fig. 2: The Arcetri Observatory at the turn of the century (picture from a postcard posted in 1900; private collection)

Fig. 3: The Observatory and the Solar Tower in 1933 (INAF-Arcetri archive).

3. Antonio Abetti ushering astrophysics in Arcetri[3]

Two decades after the death of Donati, a new director was finally chosen for Arcetri: Antonio Abetti (1846-1928). Abetti, devoted to classical astronomy, decided to follow the directions laid by Schiaparelli and Struve and wait for a further development of astrophysics. Yet, he was open to explore the possibility of introducing astrophysical studies in the Observatory, provided they did not interfere with the main program in classical astronomy: this was expressed already in 1894 during a visit of the eminent US astrophysicist George Ellery Hale (1868-1938).

In the following years, Antonio Abetti kept contact with Hale, also thanks to his son Giorgio Abetti (1882-1982), who visited the Yale and Mt. Wilson Observatories in the US (two creations by the American astrophysicist). The idea sprouted of building in Arcetri a tower telescope similar to those used at Mt Wilson to study the Sun spectra and monochromatic images (a Solar tower, as Giorgio called it). A first project to build the tower in front of the Observatory (Fig. 2), at the place of the isolated dome on the left of fig. 1, was discussed by Antonio and Hale late in spring 1909, when Hale again visited the Observatory. After WWI, the project gained momentum with the move to the Arcetri hill of the Physics Institute of the nascent University of Florence by the physicist Antonio Garbasso (1871-1933). The building of the solar tower started at the end of 1919, in the definitive position between the Observatory and the Physics Institute. The definitive dedication to astrophysics was completed with the change of the denomination to Arcetri Astrophysical Observatory in 1921, the passing of the directorship to Giorgio Abetti at the retirement of his father the same year, and finally the inauguration of the Solar Tower in 1925, a century ago (Fig. 3).

[3] This section is a summary of Bianchi, 2021a. For more details on the role of Hale and Giorgio Abetti in the development of astrophysics in Italy Bianchi, 2021b.

Bibliografia

"Bericht über die dritte Versammlung der Astronomischen Gesellschaft" (1869). *Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft*, 4, pp. 241-292.

Bianchi, S., Galli, D., Gasperini, A. (2011). *Giovanni Virginio Schiaparelli e l'Osservatorio di Arcetri*. Firenze: Fondazione Giorgio Ronchi.

Bianchi, S. (2020). "The founding of Arcetri Observatory in Florence", *Journal of Astronomical History and Heritage*, 23(3), p. 553-581.

Bianchi, S. (2021a). "How the Arcetri Astronomical Observatory became Astrophysical", *Il Colle di Galileo*, 10(2), pp. 5-20.

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

Bianchi, S. & Gasperini, A. (2021). "Arcetri: 100 anni da Osservatorio Astrofisico", *Giornale di Astronomia*, 47(2), pp. 49-52.

Faye, H. (1874). "Rapport de la Commission... au sujet de l'opportunité de la création d'un Observatoire d'Astronomie physique aux environs de Paris", *Comptes Rendus Hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 79, pp. 1018-1024.

Nostradamus (1874). "Sulla opportunità di stabilire a Firenze un Osservatorio di Astronomia fisica", *L'Epoca*, 1(15). Firenze-Roma, p.2.

Schiaparelli, G.V. (1875). *Osservatorio Astronomico d'Arcetri – Relazione e proposte*. Firenze, Le Monnier.

Fonti d'archivio

Donati, G.B. (1873). *Relazione intorno ad alcuni importanti provvedimenti per il Nuovo Osservatorio*, Febbraio 22. Archivio Storico dell'Università di Firenze, *Fondo Carteggio della Soprintendenza*, 1873/52.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_3, pp. 23–28
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-3

La storia dell'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri - Firenze

David Jafrancesco[1] and Alessandro Farini[2]

[1]CNR - Istituto Nazionale di Ottica, Firenze, david.jafrancesco@ino.cnr.it.
[2]CNR - Istituto Nazionale di Ottica, Firenze, alessandro.farini@ino.cnr.it.

Abstract: The National Institute of Optics, now part of the CNR, has undergone significant development since its foundation in 1927. Initially led by Vasco Ronchi, the Institute aimed at designing and testing optical devices and training specialized technical personnel, particularly for military applications. Following World War II, optical devices were largely supplanted by electronic sources, which were more controllable and easier to handle than traditional optical sources, which were inherently limited in terms of spectral coherence and output power. In 1946, the Institute was renamed the National Institute of Optics (INDO), still under the direction of Prof. Vasco Ronchi. The advent and development of lasers and opto-electronic devices restored optics to the prominent role it enjoyed in the early decades of the century. Since 1975, the Institute, now known as the National Institute of Optics (INO), has been restructured to meet new scientific challenges. Under the leadership of Prof. F. Tito Arecchi, initially as Commissioner and later as President, INO achieved excellence in various areas, including Quantum Optics, Optical Metrology, and Optoelectronics over the next two decades. Throughout its history, the Institute has maintained a strong focus on research and teaching. For many years, it was the principal site for teaching optometry and hosted a specialization school in optics at the University of Florence.

Keywords: Optics, Arcetri, History

1. Nascita

L'Istituto Nazionale di Ottica ha la sua origine in un altro ente, dalla vita molto più breve, che era stato fondato nel 1918 con il nome di "Laboratorio di ottica pratica e meccanica di precisione". Quest'ultima struttura nacque perché era divenuto evidente che la forte dipendenza dall'estero riguardo alle forniture di materiale ottico rappresentava un problema a livello nazionale. In particolare, come evidenziato nel primo conflitto mondiale, i nuovi strumenti impiegati in campo bellico richiedevano spesso ottiche di elevata qualità: periscopi efficienti per i sommergibili, telemetri accurati per le artiglierie terrestri e navali, sistemi di ripresa per la nascente aerofotogrammetria e strumenti ottici come binocoli, concettualmente più semplici ma indispensabili a livello tattico sul campo di battaglia. L'industria ottica italiana di quel tempo non disponeva di una sufficiente competenza per sviluppare progetti di una certa complessità garantendo una qualità costante, per cui fu ipotizzata la creazione di una struttura specifica, che fu deciso di impiantare a Firenze sia per la presenza di una certa tradizione industriale nella zona, sia per l'interesse mostrato dal Consiglio Comunale dell'epoca. La sede del "Laboratorio di ottica pratica e meccanica di precisione" fu posta nel centro della città (in pratica era la stessa dell'Istituto di Fisica). Il nuovo Laboratorio, inaugurato il 24 Novembre 1918, vide come soci fondatori il Comune di Firenze, le Officine Galileo, Il Ministero delle armi e munizioni, la Provincia di Firenze, la Camera di Commercio, la Fonderia del Pignone e la"Società Toscana per imprese elettriche". È importante sottolineare che la sua *mission*, così come previsto dallo Statuto, era inusitatamente moderna, in quanto univa la ricerca scientifica, la didattica e quella che potremmo chiamare "terza missione" (che però per il nascente Laboratorio era di fatto la "prima missione"), cioè la collaborazione con le imprese. Lo scopo finale,

infatti, era proprio quello di sviluppare le competenze delle industrie del settore mettendo a disposizione, sia tramite iniziative didattiche che collaborazioni, il patrimonio di conoscenze acquisito in ambito accademico. Secondo un promemoria citato da Vasco Ronchi, il primo Direttore dell'Istituto Nazionale di Ottica, la finalità del Laboratorio era così specificata:

> Il Laboratorio dovrebbe: a) eseguire ricerche originali di carattere scientifico e tecnico; b) elaborare metodi di misura, formulare norme per il collaudo dei materiali e degli istrumenti; c) studiare e costruire modelli di apparecchi non fabbricati o male fabbricati in Italia; d) esaminare le nuove invenzioni, comunicarle agli industriali interessati; e) risolvere i problemi che eventualmente venissero proposti dai capi delle officine; f) offrire ai giovani ingegneri la possibilità di perfezionarsi nell'ottica pratica e nella meccanica di precisione; g) ospitare, del resto, con molta larghezza chiunque volesse attendere, con qualche garanzia di serietà, alle dette discipline; h) fornire alle grandi e, soprattutto, alle piccole aziende dati, consigli e direttive per il più ampio sviluppo e la più armonica coordinazione delle loro attività (Ronchi, 1977, p. 14).

Il problema, però, era che i mezzi messi a disposizione per perseguire tali fini erano veramente scarsi: la dotazione economica iniziale era di 60.000 lire, ed il numero di unità di personale era molto basso, poiché negli anni 1920-1921 consisteva in un direttore (il Prof. Raffaello Augusto Occhialini), due laureati e tre tecnici; poi, dal 1922 al 1927, l'organico si ridusse di fatto ad una sola persona, il fisico Vasco Ronchi, che era stato assunto nel Laboratorio nel 1920. Oltre che nei numeri, anche nelle competenze in ottica vi era un clamoroso deficit: infatti nessuno dei membri del Laboratorio (direttore compreso) aveva una qualche preparazione di ottica; a questo proposito, Vasco Ronchi ricorda che quanto sapeva di ottica, quando entrò a lavorare nel Laboratorio, era ciò che aveva appreso durante gli anni del liceo (Ronchi, 1977, p. 55)!

Nel 1920 il Laboratorio fu trasferito dal centro di Firenze ad Arcetri (così come l'Istituto di Fisica di cui faceva parte), ma non ebbe una sede propria; solo nel 1927, praticamente in concomitanza con la sua trasformazione in Istituto di Ottica (il termine "nazionale" fu aggiunto in seguito), gli fu assegnato un allora piccolo edificio, costruito per essere la sede di un "Istituto di Fisica Terrestre" che non vide mai la luce; questa costruzione, nel seguito notevolmente ampliata, è ancora oggi la sede del CNR INO.

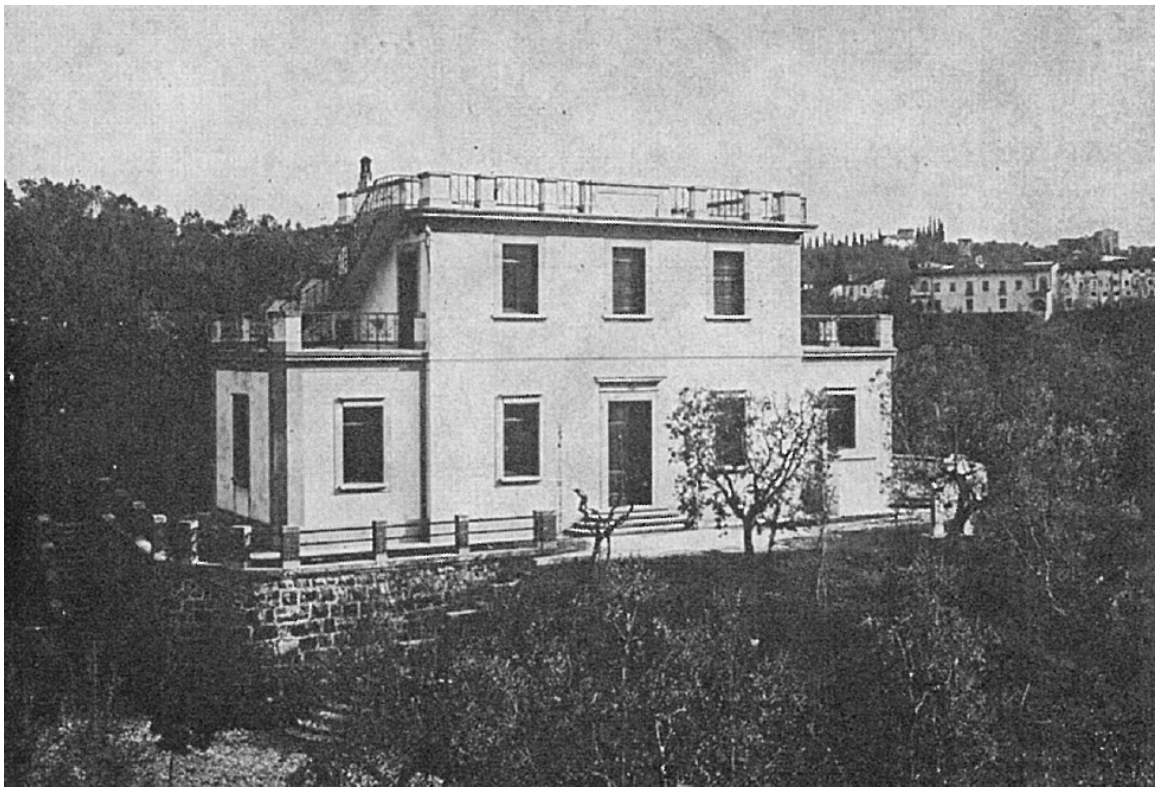


Fig. 1: La sede del Laboratorio di Ottica pratica e Meccanica di precisione / Istituto di Ottica nel 1927.

La perseveranza di Vasco Ronchi, unita sia alla sua indubbia levatura di scienziato che alla capacità di coltivare relazioni professionalmente importanti, riuscì a salvare il Laboratorio e a fornirgli nuove prospettive. Infatti, grazie all'aiuto del Gen. Nicola Vacchelli, direttore dell'Istituto Geografico Militare, del Prof. Luigi Pasqualini, direttore generale delle Officine Galileo, e del Prof. Garbasso, all'epoca Podestà di Firenze, nel 1927 Vasco Ronchi fu nominato direttore del nuovo "Istituto di Ottica"[1], che prendeva il posto (e le finalità) del "Laboratorio di Ottica pratica e Meccanica di precisione". Vasco Ronchi riuscì anche ad ottenere nuove assunzioni di personale e nuovi finanziamenti, e così il nuovo Istituto poté iniziare ad organizzare dei corsi di ottica per personale militare e dell'industria.

1.1. La direzione di V. Ronchi

Il 18 Luglio 1930, con il Regio Decreto n. 1224, era formalmente soppresso il "Laboratorio di Ottica pratica e Meccanica di precisione" e, al suo posto, veniva istituito l'"Istituto Nazionale di Ottica"[2]. Come si evince dal suo primo statuto, le finalità del nuovo Istituto sono di fatto le medesime del vecchio Laboratorio: la didattica, la consulenza ed il collaudo, la ricerca scientifica.

La novità stava nella persona del suo Direttore, Vasco Ronchi, che diede particolare impulso prima della II Guerra Mondiale al collaudo della strumentazione ottica e successivamente alla scienza della visione. In lui si coniugavano sia la competenza tecnico-scientifica che la capacità gestionale ed organizzativa, e nei primi dieci-dodici anni della sua direzione l'Istituto conobbe un notevole sviluppo, sia nel volume di attività che nel numero di dipendenti e nelle strutture; per esempio l'edificio sede dell'Istituto raggiunse già nel 1939 le sue dimensioni attuali. Un punto particolare merita di essere sottolineato: l'importanza che Ronchi diede ai controlli sulle ottiche; cosa non facilissima per uno scienziato dell'epoca, capì che la chiave per ottenere ottiche di qualità risiedeva nella disponibilità di metodi e strumenti per il controllo della produzione che fossero facilmente applicabili, affidabili e riproducibili[3]. Da qui l'invenzione del "Ronchi test", un metodo veloce di controllo della forma delle superfici di lenti e soprattutto specchi che impiega un particolare tipo di reticolo, il "Reticolo di Ronchi". Impegnandosi in modo particolare, anche se non esclusivo, nella didattica e nei test strumentali, negli anni '30 l'Istituto stabilì forti relazioni con le principali aziende del settore[4]; inoltre, anche grazie all'opera dell'INO, il periodo 1928-1934 vide, in riferimento al materiale ottico, una diminuzione delle importazioni italiane del 40% ed un incremento delle esportazioni di oltre il 500%; così già nel 1934 la bilancia commerciale del settore divenne positiva (Ronchi, 1979, p. 5).

Dopo la II Guerra Mondiale, che colpì personalmente Ronchi[5], l'attività dell'Istituto subì un notevole cambiamento: sia per le distruzioni avvenute nel comparto industriale che per il trattato di pace, che limitava grandemente la produzione militare italiana, furono privilegiati gli aspetti scientifici, soprattutto in relazione alla scienza della visione. Sostanzialmente, Ronchi tentò di reinterpretare l'ottica come visione, adducendo il fatto che ogni fenomeno ottico può essere ricondotto, almeno nelle sue finalità

[1] In realtà l'erezione ufficiale del nuovo Istituto avvenne con un Regio Decreto nel 1930, come specificato più avanti, ma già a dicembre del 1927 la Giunta Esecutiva del Laboratorio aveva deciso di rifondarlo, ed in tale occasione si riferì alla struttura futura come "Laboratorio e Istituto di Ottica" (o viceversa) senza definire cosa rappresenti quest'ultimo.

[2] Dal 1934 si chiamerà "Regio Istituto Nazionale Di Ottica" (RINDO), dal 1945 "Istituto Nazionale Di Ottica" (INDO), dal 1975 cambierà l'acronimo in "INO" pur mantenendo lo stesso nome, dal 1999 al 2010 "Istituto Nazionale di Ottica Applicata" (INOA), e da quella data riprenderà il nome di "Istituto Nazionale di Ottica" con acronimo "CNR-INO".

[3] L'attenzione di Vasco Ronchi si estendeva anche ai problemi legati al processo di produzione delle ottiche: per lui infatti il RINDO "non era un istituto d'insegnamento e di ricerca scientifica e tecnica, ma era un organismo nuovo, unico nel suo genere in Italia «creato per risolvere i problemi dell'ottica italiana», di qualunque natura essi fossero" (Ronchi, 1979, p. 20).

[4] Possiamo citare la San Giorgio di Genova, la Filotecnica Salmoiraghi di Milano e le Officine Galileo di Firenze.

[5] Nel 1944, a causa di un bombardamento tedesco su Firenze, morì il giovanissimo figlio di Ronchi, Giorgio. In sua memoria fu poi creata nel 1946 la "Fondazione Giorgio Ronchi", ancor oggi esistente, che si occupa della pubblicazione di lavori e studi nel campo dell'ottica.

Fig. 2: La sede del RINDO nel 1939

ultime, alla visione, ed escludendo ciò che non era riconducibile ad essa[6]. Questa impostazione rese impossibile cogliere i frutti della rivoluzione che avvenne nel 1960, quando fu fatto funzionare il primo laser della storia. A parziale giustificazione di ciò, va sottolineato che negli anni 1940-1970 lo sviluppo tecnologico fu quasi esclusivamente guidato dall'elettronica; negli anni successivi, poi, dei metodi e degli strumenti dell'ottica degli anni '60, sostanzialmente simili a quelli di fine '800, non rimane quasi nulla: la progettazione ottica facilitata enormemente dal CAD, le tipologie di lavorazione delle lenti e degli specchi capaci di produrre componenti *free-form* e con tolleranze estremamente basse, l'integrazione tra ottica ed elettronica donarono un nuovo impulso all'ottica, ma richiesero una flessibilità di approccio che l'INO non disponeva, e per questo rimase fino a metà degli anni '70 ai margini di questa rivoluzione. Le cose cambiarono con l'arrivo del nuovo Direttore, il Prof. Fortunato Tito Arecchi.

2. La direzione di F.T. Arecchi

Nel 1975 fu nominato a guida dell'Istituto Fortunato Tito Arecchi, che proveniva dall'Università di Pavia, ma aveva nel suo curriculum un periodo di lavoro a Stanford, in California e al CISE di Milano. Inizialmente si era occupato della statistica dei fotoni, ma quando arrivò all'Istituto iniziò a rinnovare le linee di ricerca su molti fronti, ed in particolare, verso la metà degli anni '80, introdusse lo studio dei fenomeni caotici in ottica utilizzando il laser. Come Vasco Ronchi, anche F.T. Arecchi univa ad un profilo scientifico di altissimo livello la capacità di gestione della ricerca scientifica, e, cosa non sempre diffusa

[6] Quel che compì Ronchi fu una sorta di limitazione, cioè circoscrisse l'ottica a quei fenomeni dove entra in gioco il meccanismo della visione umana, affermando che il tipo di rivelatore utilizzato (l'occhio nel caso della visione) definisce il tipo di fenomeno (Ronchi, 1982, p. 216). Si tenga conto che negli anni precedenti Ronchi aveva molto lavorato anche su aspetti dell'ottica (intesa nel senso comune del termine) che poi non avrebbe ricompreso nella stessa disciplina da lui così circoscritta. Lascia perplessi un simile cambiamento di prospettiva, da lui giustificato come una maturazione personale generata dallo studio dell'ottica antica (Ronchi, 1955, pp. 1-22). Più realisticamente, si può ipotizzare che una certa influenza l'abbia avuta anche l'impossibilità materiale a competere scientificamente con istituti esteri di ben altra grandezza e disponibilità di risorse.

negli istituti di ricerca italiani, favorì la nascita di linee di ricerca che non erano strettamente attinenti ai sui interessi scientifici. Più specificatamente, istituì all'interno dell'INO tre unità organiche: la prima sui fenomeni caotici e la complessità in ottica, la seconda sulla metrologia, la terza sulla radiometria, fotometria, optoelettronica e scienza della visione.

Il rinnovamento investì anche il personale di ricerca, che in circa 10 anni passò da 3-4 persone a 12-15, e si ebbe anche un rinnovato interesse per le interazioni con l'industria; un esempio di ciò è la creazione nel 1987 del CEO (Centro di Eccellenza Optronica), che era un consorzio pubblico-privato che doveva favorire lo sviluppo dell'ottica sia agendo come una sorta di Reparto R&D per aziende che non possedevano (per dimensione, know-how o interessi) un Ufficio Tecnico che avesse competenze nel campo nell'ottica, sia puntando all'acquisizione di contratti finanziati dall'Europa, dallo Stato o dalla Regione Toscana[7] . Si deve evidenziare che l'idea di fondo teneva in debito conto sia la strutturazione del tessuto industriale toscano, spesso costituito da piccole o medie imprese che non potevano permettersi di mantenere al loro interno personale di ricerca con specializzazione nell'ottica, sia la necessità di stimolare adeguatamente la ricerca applicata e lo sviluppo di nuove tecnologie in un momento storico che vedeva l'inizio dei fenomeni di globalizzazione ed una concorrenza industriale sempre più serrata e basata sull'innovazione.

Anche se il CEO cessò l'attività nel 2005, dopo poco meno di un ventennio di esistenza, tuttavia esso ha rappresentato un tassello fondamentale per l'acquisizione di competenze da parte del personale INO, in particolare nei settori dello sfruttamento dell'energia solare e dei sistemi di controllo ottici.

3. L'ingresso nel CNR

Dal 1999 al 2011 l'Istituto affrontò profonde trasformazioni del suo assetto istituzionale[8]: in questo periodo si succedettero alla sua guida quattro direttori[9]: F.T. Arecchi, F. Pistella, poi divenuto Presidente del CNR, C. Castellini, che ebbe la direzione nel delicatissimo periodo di passaggio al CNR, ed infine P. De Natale. Il 1 Giugno 2005 l'INOA cessò di esistere come ente autonomo e fu incorporato nel CNR (dal 2005 al 2010 come "centro di responsabilità", poi, con il nome di CNR INO, come vero e proprio Istituto del CNR).

L'inserimento nel CNR ha portato ad una riorganizzazione dell'Istituto: se già prima del 2000 esisteva una sede distaccata a Napoli, negli anni successivi sono state erette diverse altre sedi secondarie (Sesto Fiorentino, Pisa, Brescia, Trento, Lecce, Trieste, Lecco), sia per acquisizione di parti di altri istituti CNR, sia per creazione di strutture ex novo. Ciò ha comportato un allargamento delle competenze: esse spaziano adesso dall'ottica applicata alla scienza della visione, dalla sensoristica all'ottica quantistica; in particolare, negli ultimi anni l'Istituto si è sempre più interessato di studi legati alla ricerca fondamentale, pur non tralasciando gli aspetti applicativi.

4. Conclusioni

La storia dell'Istituto Nazionale di Ottica è esemplificativa, almeno in una certa parte, dell'evoluzione del settore dell'ottica in Italia, sia a livello accademico che industriale, per la caratteristica precipua dell'Istituto di collocarsi a metà tra questi due mondi. In particolare è importante notare come gli interessi

[7] Il CEO, per tutto il tempo della sua esistenza, ebbe come direttore un dirigente di ricerca dell'INO, l'Ing. Giuseppe Longobardi. Una breve storia di questo consorzio si trova in Longobardi, *et al.*, 2005, pp. 210-214.

[8] Nel 1999 prese il nome di "Istituto Nazionale di Ottica Applicata", per sottolineare il suo interesse al trasferimento tecnologico.

[9] Tralasciamo la complicata questione della carica formale di chi dirigeva di fatto l'istituto, che poteva essere quella di "presidente", "direttore", "direttore f.f." (facente funzioni) o di "commissario straordinario".

dell'Istituto hanno saputo adattarsi quasi sempre alle richieste provenienti dalla società italiana, privilegiando l'interazione con l'industria negli anni immediatamente seguenti alla sua nascita, occupandosi di scienza della visione quando essa rappresentava forse l'unica attività possibile permessa dal contesto economico e sociale, riagganciandosi poi agli aspetti più innovativi della fisica con gli studi sul caos e sull'ottica quantistica, senza tuttavia trascurare l'interazione con le aziende del territorio e le possibilità espresse dai finanziamenti europei. In generale, ad una analisi più accurata appare evidente che l'Istituto ha saputo dare il meglio di sé (in termini di crescita, numero di pubblicazioni e collaborazioni, capacità di attrazione di finanziamenti) quando non si è posto limiti alla sua azione ed ha potuto spaziare nei vari campi dell'ottica, assumendo un atteggiamento flessibile riguardo a come declinare la sua *mission* originaria.

Ringraziamenti

Ringraziamo la dott.ssa Sandra Poggiali del CNR INO per la collaborazione nella ricerca di alcune fonti documentali.

Bibliografia

Bruscaglioni R., Villani S. (1972). "Vasco Ronchi ha compiuto 75 anni". *Atti della "Fondazione Giorgio Ronchi"*, XXVII(6), pp. 817-827.

Longobardi G., *et al.* (2005). *L'Ottica e la Toscana. La storia dell'Ottica in Toscana dal 1200 ai nostri giorni*. Firenze: Nardini.

Ronchi, V. (1938). "L'attività del R. Istituto Nazionale di Ottica nel suo primo decennio di vita", *Bollettino dell'Associazione Ottica Italiana*, XII(1-2), pp. 52-76.

Ronchi, V. (1955). *L'ottica. Scienza della visione*. Bologna: Zanichelli.

Ronchi V. (1977). *Perché, quando e come nacque l'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri*. Firenze: Baccini & Chiappi.

Ronchi V. (1979). *Il R. Istituto Nazionale Di Ottica desta preoccupazioni*. Firenze: Baccini & Chiappi.

Ronchi V. (1982). *La nuova rotta dell'Istituto Nazionale di Ottica di Arcetri*. Firenze: Tip. Baccini & Chiappi.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_4, pp. 29–36
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-4

La città delle stelle: Astronomia e comunicazione scientifica a Firenze tra Ottocento e Novecento

Marco Ciardi[1]

[1]Università degli studi di Firenze. Dipartimento di Lettere e Filosofia, Firenze, marco.ciardi@unifi.it.

Abstract: Following the unification of Italy in 1861, numerous publishing houses expanded their catalogues of popular science, with a particular focus on astronomy. The Florentine publishing houses also contributed to the development of science communication, with numerous initiatives. However, astronomical culture did not spread solely through popular science. Indeed, literature played a significant role, particularly due to the contributions of Enrico Novelli, better known as Yambo, and the dissemination of adventure comics, which was spearheaded by the Nerbini publishing house.

Keywords: Popular Science, Science Communication, Astronomy, Science Fiction.

Durante gli ultimi decenni dell'Ottocento i canali di diffusione della scienza si ampliano enormemente. Da una parte vengono pubblicate sempre più riviste rivolte a un pubblico di non specialisti, nonché volumi di ampio respiro, come quelli di Camille Flammarion, dedicati a illustrare le meraviglie della scienza; dall'altra romanzi e racconti, da Jules Verne a Albert Robida, intrattengono un continuo dialogo con le discipline scientifiche, dall'astronomia alla biologia, dall'archeologia alla medicina (Ciardi, 2023). Un fenomeno che investe anche l'Italia e, nel caso del nostro specifico interesse, anche il contesto fiorentino (Zangheri, 2001).

Nel 1885 esce a Firenze per la Tipografia Editrice del Fieramosca un libro di Ulisse Grifoni intitolato *Da Firenze alle stelle. Viaggio meraviglioso di due italiani ed un francese*. Grifoni, originario di Monticello di Cinigiano in provincia di Grosseto, è un ufficiale di fanteria - e successivamente docente negli istituti tecnici - che in questi anni risiede a Firenze (Cherubini, 1997, p. 66; Catalano, Pizzo & Vaccaro, 2018, pp. 146-147). Il libro vede una seconda edizione fiorentina (Fig. 1a), ampliata: *Dalla Terra alle stelle. Viaggio meraviglioso di due italiani e un francese* (Tipografia Editrice di Luigi Niccolai, 1887), e una romana con lo stesso titolo (Edoardo Perino, 1890). Il protagonista è un giovane fiorentino, Alberto C., che abbandona gli studi letterari dopo una delusione d'amore per dedicarsi alla chimica. Scoperta una vernice antigravitazionale, grazie all'aiuto del professor Lama, docente all'Università di Firenze, fa realizzare da un gruppo di operai un apparecchio in grado di volare (Rachetta, 2018).

Il libro è dedicato alla principessa Dora d'Istria, nome d'arte di Elena Ghika (poi Koltsov-Massalski, dopo il matrimonio nel 1849 con il duca russo Alexander Koltsov-Massalski, dal quale si separa abbastanza rapidamente), una delle figure più culturalmente rilevanti della Firenze dell'epoca, dove risiede dal 1870 (D'Alessandri, 2008; Fidanzia, 2013; Ciardi, in press). Che il libro sia a lei dedicato non deve sorprendere. In questi anni, infatti, argomenti come l'emancipazione femminile, l'uguaglianza di genere e i diritti sociali, da sempre al centro dell'interesse di Dora d'Istria, trovano una proficua convergenza con i temi legati ai viaggi nel cosmo e alle utopie spaziali (Calanchi, 2023). Ciò è rimarcato anche nell'introduzione *Al Lettore* nella seconda edizione del romanzo da parte dell'editore Luigi Niccolai:

> È trascorso qualche tempo dal giorno in cui Giulio Verne dette alla luce le sue prime pubblicazioni

> fantastico-scientifiche, le quali incontrarono tanto favore nei due emisferi, e nessuno fino a oggi ha scritto alcun lavoro notevole sul genere iniziato dall'illustre francese che è rimasto primo ed unico autore acclamato di romanzi scientifici.
> Nella difficoltà di poter unire ad una vasta cultura letteraria e scientifica, una brillante fantasia che permetta di esporre le più aride cognizioni scientifiche sotto una forma, non solo facile e popolare, ma anche interessante e dilettevole, devesi riconoscere la causa di quest'assoluta mancanza di scrittori che, sulla via magistralmente tracciata dal Verne, si sieno avviati per far conoscere anche alle classi meno colte gli ultimi dati della scienza, sia che interessino i bassi strati terrestri, sia le alte regioni dell'atmosfera, dei pianeti e delle stelle.
> Ammiratore di questa sorta di pubblicazioni io non solo non ho mai diviso l'opinione di molti, i quali hanno creduto che il nuovo genere iniziato dall'illustre francese dovesse morire con lui, ma invece sono sempre stato di parere che a questa sorta di romanzi fosse riserbato un grande avvenire, e fui ben lieto il giorno in cui l'autore di un volumetto fantastico-scientifico intitolato *Da Firenze alle stelle*, mi disse di aver tratto da questo l'idea di un'opera completa su di un viaggio interplanetario dalla Terra al pianeta di Marte, e me ne affidò l'edizione. Così oggi, per il primo in Italia, posso presentare un interessantissimo romanzo fantastico-scientifico scritto da un giovane italiano, che da pochi mesi ha lasciato la vita brillante dell'ufficiale per dedicarsi completamente agli studi letterari e alle pubblicazioni.
> In questo romanzo i lettori troveranno la più sbrigliata fantasia, unita a non comune erudizione, che ha permesso all'autore di riunire e trattare le cose più disparate e più lontane tra loro e di accozzare in un medesimo libro gli aristocratici saloni di Firenze coi deserti del Sahara e coi selvaggi del Congo; le alte regioni dell'aria e dei pianeti con gli interni strati del suolo, e con le più interne sedi del fuoco centrale; le più ardite teorie sull'origine naturale dell'uomo, delle specie, della Terra, dei pianeti e delle stelle, con le più interessanti questioni sociali (Grifoni, 1887).

Da segnalare è anche l'uso dell'espressione "romanzo fantastico-scientifico", oltre sessant'anni prima del

(a)

(b)

Fig. 1

neologismo "fantascienza" coniato nel 1952 da Giorgio Monicelli, l'editore della celebre rivista *Urania*, per definire un genere letterario ormai ben delineato e affermato. Ciò a testimonianza del fatto che il genere fantascientifico non è stato assente dal panorama della letteratura italiana degli ultimi decenni dell'Ottocento e dei primi del Novecento (De Turris & Gallo, 2001).

Naturalmente Niccolai esagera quando sostiene che nessun altro, oltre a Verne, si è inoltrato nei meandri della fantascienza. A parte il debito sempre riconosciuto di Verne nei confronti di Edgar Allan Poe (Ciardi, 2023), numerosi sono gli autori in questo periodo che seguono le orme dello scrittore francese. Uno su tutti, perché strettamente legato al nostro discorso, è Henri de Graffigny (pseudonimo di Raoul Marquis), che tra il 1882 e il 1883 pubblica nella serie *Les voyages merveilleux* della Librairie des publications nouvelles, *De la terre aux étoiles, voyage vers l'infini*, lo stesso titolo poi utilizzato da Grifoni a partire dalla seconda edizione del suo romanzo. Il volume viene tradotto in Italia dalla casa editrice Sonzogno nel 1884, con il titolo *Dalla terra alle stelle*, proprio l'anno prima dell'uscita del libro *Da Firenze alle stelle. Viaggio meraviglioso di due italiani ed un francese*. Difficile pensare a una coincidenza.

Il testo di Graffigny contiene una prefazione di Camille Flammarion, uno degli autori più influenti sull'immaginario scientifico del periodo, al quale è debitore un altro giovanissimo scrittore italiano il quale, seppur nato a Pisa, è sostanzialmente fiorentino di adozione. Si tratta di Enrico Novelli, poi conosciuto con il soprannome di Yambo (Novelli, 1982). Enrico è figlio di Ermete Novelli, uno degli attori più importanti del primo Novecento italiano, molto legato al giornalista e scrittore Luigi Arnaldo Vassallo, noto anche con lo pseudonimo di Gandolin. Nel 1890, il sedicenne Novelli pubblica a Firenze per la casa editrice Salani (che nel suo catalogo presenterà vari titoli di divulgazione astronomica, cfr. Zangheri, 2001; Gigli Marchetti, 2011), un romanzo che ha lo stesso titolo di quello di Graffigny (e che ovviamente rimanda a quello di Grifoni): *Dalla Terra alla stelle. Viaggio attraverso l'infinito* (Fig. 1b). In questo caso, tuttavia, l'espediente con il quale ci si innalza verso il cielo non è una scoperta scientifica come la vernice gravitazione, ma un ritrovato proveniente dal mondo della magia e dell'alchimia: la polvere di proiezione di Nicolas Flamel, un personaggio realmente esistito, diventato famoso a livello di cultura di massa grazie alla saga di Harry Potter di J. K. Rowling (Ciardi, 2024). Un riferimento, questo, che ci serve a comprendere quanto fantastico, fantasy e fantascienza siano generi letterari in corso di definizione tra Otto e Novecento (Ciardi, 2023).

Yambo continuerà ad essere legato all'espediente fantastico impiegato nel suo primo romanzo, visto che lo utilizzerà in un'altra opera e lo citerà anche in uno dei suoi libri a carattere divulgativo, *Si può andare sulla Luna?* (Fig. 2), pubblicato nel 1929 per i tipi dell'editore fiorentino Vallecchi (all'interno della collana *Impara anche questa*, per la quale scriverà numerosi testi). Nella parte finale del libro, Yambo indica tra le letture di approfondimento degli argomenti trattati due dei suoi più famosi romanzi a tema spaziale: *Gli esploratori dell'infinito* (1906) e *La colonia lunare* (1908). A proposito di quest'ultimo scriverà nel 1929:

> Un vecchio astronomo ritrova la polvere di proiezione del famoso alchimista e mago Nicolas Flamel. Questa polvere ha la proprietà di essere attirata dal Sole. L'astronomo costruisce una gran nave, cui applica come mezzo di propulsione una sfera riempita dalla polvere miracolosa, e parte per la Luna insieme coi suoi nipoti Otto e Margherita, e una squadra di operai. Egli vuol colonizzare il nostro satellite. Il romanzo è dedicato a questo straordinario tentativo, che a traverso avventure d'ogni genere e gravi difficoltà, finisce per riuscire. Una nuova umanità diverrà. In un avvenire non molto lontano, signora delle lande lunari. E intanto, i protagonisti del racconto iniziano col loro onesto amore questa nuova era felice (Yambo, 1929, p. 62).

Yambo, come è noto, è una delle figure più poliedriche e versatili del panorama italiano, spaziando dalla letteratura per l'infanzia al romanzo avventuroso e fantascientifico, dal teatro al cinema (Lotti, 2010),

dall'illustrazione al fumetto (Gaspa, 2020). Come autore di fumetti, Yambo vi si cimenta almeno dal 1919, come collaboratore de *La Nazione*, ma è ricordato soprattutto per una trilogia fantascientifica: *Gli uomini verdi* ("Topolino", dal n. 139 del 25 agosto 1935 al n. 155 del 15 dicembre 1935), avventura dedicata al mito di Atlantide (Ciardi, 2022); *Robottino, omino d'acciaio* ("I tre porcellini", dal n. 30 del 17 ottobre 1935 al n. 48 del 20 febbraio 1936), il cui titolo non ha bisogno di commenti. Particolarmente interessante è *I Pionieri dello Spazio* ("Topolino", dal n. 209 del 25 dicembre 1936 al n. 220 dell'11 marzo

Fig. 2

1937), storia nella quale Yambo immagina, disegnandola, una fantastica (e non scontata per l'epoca) passeggiata spaziale da parte di due astronauti con tanto di tuta e casco per la respirazione (Fig. 3).

Yambo è un giornalista, con uno spiccato interesse anche per la divulgazione scientifica (Ciardi, 2023). A questo proposito, una iniziativa molto importante caratterizza la Firenze del primo decennio del Novecento: la fondazione, il 10 novembre 1907, della sezione fiorentina della Società Astronomica Italiana, nata un anno prima a Torino (Calabrese, 1995; Chinnici, 2020), come riportato con una nota sulla *Rivista di astronomia e scienze affini*, organo della Società stessa:

> Il 10 novembre in una sala del Palazzo Peratoner in Firenze ebbe luogo un'adunanza presieduta dal prof. Boccardi per la fondazione di una Sezione della Società Astronomica Italiana.
> Aderirono alla proposta del prof. Boccardi: il padre Melzi d'Eril, direttore dell'Osservatorio della Querce; il padre Alfani, direttore dell'Osservatorio Ximeniano; don Stiattesi, direttore dell'Osservatorio di Quarto; il sig. generale Camillo Crema, direttore dell'Istituto Geografico Militare; il geodeta prof. Andreini, dell'Istituto medesimo; il sig. Alberto Peratoner e altri (Del Giudice, 1908, p. 27).

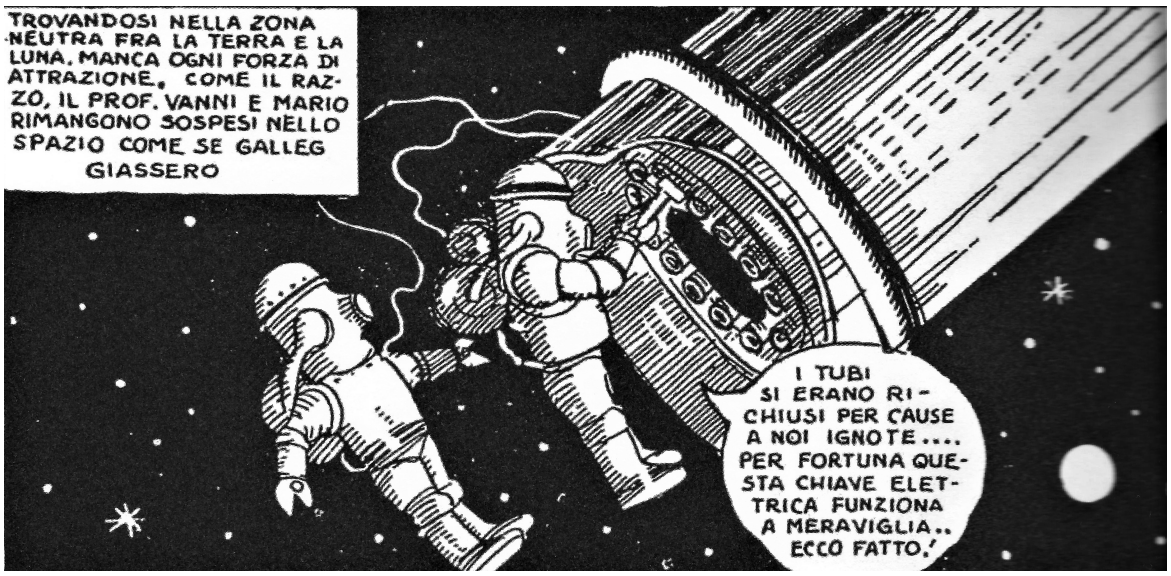


Fig. 3

L'autore del resoconto è Italo Del Giudice, in qualità di segretario della sezione fiorentina della Società. Sappiamo ancora molto poco di questo personaggio, che tuttavia ha svolto un ruolo rilevante nell'ambito della divulgazione scientifica a livello nazionale. Sono numerosi i contributi di Del Giudice sulla *Rivista di astronomia e scienze affini*, sia di carattere scientifico che storico, così come i suoi interventi per la diffusione della conoscenza scientifica rivolti al pubblico di istituzioni fiorentine quali il Circolo Filologico e l'Università Popolare. Del Giudice è attivo anche in occasione della Prima Esposizione Nazionale di Storia della Scienza, tenutasi a Firenze tra il maggio e l'ottobre 1929, pubblicando articoli e resoconti di alcuni degli eventi in programma. Negli anni '30 del Novecento, Del Giudice dà quindi vita, in collaborazione con la casa editrice fiorentina Nerbini, a una serie di volumi di divulgazione storico-scientifica di grande successo, più volte ristampati, alcuni dei quali esplicitamente dedicati all'astronomia e all'astrofisica, come *L'astronomia spiegata ed illustrata al popolo. L'evoluzione del Cosmo*, edito nel 1934. A partire dalla seconda edizione (1936), l'opera (che vedrà di volta in volta il titolo leggermente modificato, viene preceduta da una introduzione di Giorgio Abetti (Fig. 4), direttore del Reale Osservatorio Astrofisico di Arcetri (Bianchi, Galli & Gasperini, 2017):

> Italo Del Giudice, conosciuto ed apprezzato divulgatore della scienza astronomica, si è posto il compito con la benemerita Casa Editrice Nerbini, di fare un'opera organica, scritta in forma chiara e dilettevole che possa essere letta da tutti, anche nei momenti di riposo dal diuturno lavoro. I pianeti, il sole, la terra nostra, il suo satellite, le comete, le nebulose, la via lattea e le stelle infinite, passano davanti agli occhi

> del lettore in ben ordinato quadro e sempre con la visione e il ricordo costante di chi ha ideato il mondo meraviglioso in cui viviamo e che poco a poco impariamo a conoscere nelle sue varie parti (Del Giudice, 1934).

Il nome di Giorgio Abetti figura già nella lista dei primi soci della Società Astronomica Italiana e in seguito, naturalmente, come componente della sezione fiorentina. Lo studio dei rapporti tra Abetti e Del

Fig. 4

Giudice andrà in futuro approfondito, ma si può ipotizzare come ci sia stato un reciproco e vantaggioso interesse nei confronti della divulgazione della scienza, divulgazione alla quale Abetti offrirà, come sappiamo, notevolissimi contributi. Allo stesso modo andrà fatta luce sul legame tra Del Giudice e il sismologo Guido Alfani, sacerdote dell'ordine degli Scolopi e direttore dell'Osservatorio Ximeniano (Barsanti, 1992), a sua volta autore di una prefazione per uno dei volumi pubblicati da Nerbini, *I grandi fenomeni della natura spiegati e illustrati al popolo*, uscito nel 1939 e poi successivamente ristampato. Anche in questo caso, la conoscenza fra Alfani e Del Giudice è di lunga data e risale perlomeno al periodo della nascita della sezione fiorentina della Società Astronomica Italiana. Del Giudice quindi descriverà un importante evento con protagonista Alfani durante la Prima Esposizione Nazionale di Storia della Scienza del 1929 (Del Giudice, 1929) L'attestazione di stima di Alfani nei confronti di Del Giudice è più o meno simile a quella di Abetti, dato che l'autore del volume viene definito "volgarizzatore abilissimo di argomenti scientifici ed ormai ben noto al pubblico per i suoi numerosi articoli e per le sue pubblicazioni". Al tempo stesso una particolare attenzione dovrà essere dedicata ai rapporti tra Abetti e Alfani e, più in generale, alle relazioni intercorse in ambito fiorentino tra astronomia, astrofisica, geologia, geofisica e sismologia, che si evidenziano già guardando alle personalità intervenute alla prima riunione della sezione fiorentina della Società Astronomica Italiana del 1907. Ci sono molte storie interessanti ancora da scrivere, in un intreccio tra ricerche scientifiche e produzioni editoriali.

Bibliografia

Barsanti, D. (1992). *P. Guido Alfani: un grande studioso di sismologia tecnica (1876-1940)*. Firenze: Osservatorio Ximeniano.

Bianchi, S., Galli, D. & Gasperini, A. (2017). "Astronomia e astrofisica dal Torrino della Specola alla Torre Solare di Arcetri", in Barbagli, F. *et al*, *Astronomia e fisica a Firenze: dalla Specola a Arcetri*. Firenze: Firenze University Press.

Calabrese, V. (1995). "An early italian astronomical society funded in Turin in 1906", *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 66, pp. 769-776.

Calanchi, A. (2023). *Trent'anni su Marte*. Milano-Udine: Mimesis.

Catalano, W., Pizzo, G. F. & Vaccaro, A. (2018). *Guida ai narratori italiani del fantastico: scrittori di fantascienza, fantasy e horror "made in Italy"*. Bologna: Odoya.

Cherubini, D. (1997). *Alle origini dei partiti*. Roma: Piero Lacaita Editore.

Chinnici, I. (2020). "Thus was established the Italian Astronomical Society", *Il nuovo Saggiatore*, 36, pp. 63-74.

Ciardi, M. (2022). *Benvenuti ad Atlantide*. Roma: Carocci.

Ciardi, M. (2023). *Quando Darwin incontrò Flash Gordon*. Roma: Carocci.

Ciardi, M. (2024). *Galileo e Harry Potter: la magia può aiutare la scienza?*, nuova edizione. Roma: Carocci.

Ciardi, M. (in press), "Relazioni virtuose. Donne, scienza e pace a Firenze tra Otto e Novecento da Dora d'Istria a Ernestina Paper", in Tellini, G. (a cura di), *Donne fra più mondi*, Atti della giornata di studi, Firenze, 6 dicembre 2024.

D'Alessandri, A. (2008). *Il pensiero e l'opera di Dora d'Istria fra Oriente europeo e Italia*. Roma: Gangemi.

de Graffigny, H. (1882-1883). *Les Voyages merveilleux: de la terre aux étoiles, voyage vers l'infini*. Paris: Librairie des publications nouvelles.

Del Giudice, I. (1908). "Fondazione della Sezione Fiorentina della Società Astronomica Italiana", *Rivista di astronomia e scienze affini*, 1, pp. 27-28.

Del Giudice, I. (1929), "Come si dimostra che la Terra gira su se stessa", *La lettura*, 29(11), pp. 871-872.

Del Giudice, I. (1934) *L'evoluzione del Cosmo*. Firenze: Nerbini.

De Turris, G. & Gallo, C. (2001). *Le aeronavi dei Savoia*. Milano: Editrice Nord.

Fidanzia, R. (2013). *Dora d'Istria. Uno sguardo femminile sull'Ottocento: Risorgimento, pedagogia politica, condizione femminile*. Roma: Aracne Editrice.

Gaspa, P.L. (2020). *Dal signor Bonaventura a Saturno contro la Terra*. Roma: Carocci.

Grifoni, U. (1887). *Dalla Terra alle stelle: viaggio meraviglioso di due italiani e un francese*. Firenze: Tipografia Editrice di Luigi Niccolai.

Lotti, D. (2010). "Yambo sulla Luna di Verne e Méliès: da «La colonia lunare» a «Un matrimonio interplanetario»", *Immagine – Note di Storia del Cinema*, 1, pp. 119-43.

Gigli Marchetti, A. (2011). *Libri buoni e a buon prezzo: le edizioni Salani (1862-1986)*. Milano: Franco Angeli.

Novelli, M. (1982). *Ricordando Yambo*. Firenze: Centro Bibliografico Toscano.

Rachetta, L. (2018). "Dalla Terra alle Stelle", in Spiritelli, F., *Dall'Italia alle Stelle: protofantascienza italiana dagli anni '50 del XIX secolo agli anni '50 del XX secolo: Salgari, Yambo, Motta e gli altri*. Senigallia: Fondazione Rosellini per la letteratura popolare, pp. 26-39.

Yambo, (1929). *Si può andare sulla Luna?* Firenze: Vallecchi.

Zangheri, M. (2001). "Da Firenze alle stelle", in Gallo, C., *Viaggi straordinari tra spazio e tempo*. Verona: Biblioteca Civica, pp. 143-151.

In Memory of Giuseppe Occhialini

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_5, pp. 39–50
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-5

Giuseppe Occhialini: the Florentine years

Pasquale Tucci[1]

[1]Università degli Studi di Milano. Retired in 2013, Milan, pasquale1043@gmail.com.

Abstract: G.P.S. Occhialini, Beppo but also Beppino for some Florentine friend, graduated in physics from the University of Florence in 1929. Bruno Rossi was his supervisor and suggested the thesis topic, together with Augusto Occhialini, Beppo's father. The Institute of Physics in Florence, together with that of Rome, was then an advanced research centre. During the period in which Occhialini was a student - until his return to Florence in 1934 after three years at the Cavendish Laboratory - eminent physicists had worked in Florence. In addition, the Mathematical-Physical-Astrophysical Seminar, promoted by Giorgio Abetti, encouraged contacts with Italian and foreign scientists. On his return to Florence in 1934, Occhialini found an environment profoundly changed from a scientific point of view: Garbasso was dead, and Bruno Rossi had gone to Padua. Persico had already gone to Turin in 1930. The fascist regime, moreover, had made life increasingly difficult for researchers who did not respect imposed constraints. Despite these difficulties, Occhialini didn't rest on the laurels collected with Blackett in Cambridge and tried to project and realize, without success, a large cloud chamber. He studied how to use photographic plates instead of cloud chamber in the same period. At the same time, he carried out clandestine activities in opposition to the fascist regime. I will highlight contributions to the study of cosmic rays that he gave in the Florentine period when he was Garbasso's 2nd assistant between 1930 and 1931 and between 1934 and 1937, when he decided to move to Brazil invited by Gleb Wataghin.

Keywords: Giuseppe Occhialini, Physics, Florence

1. The formative period

> The formative period in Arcetri represents, from 1927 to 1931, one of the three important stages in his [Occhialini] existence; the other two are the periods at the Cavendish Laboratory in Cambridge and the period at the Wills Laboratory in Bristol (Occhialini, 1974, p. 10).

Such a classification influenced historiography. However, there are at least four more periods that deserve attention:

a) the formative period between 1930 and '31 in Florence;
b) the period from 1934 to '37 in Florence;
c) the Brazilian period from 1937 to 1945;
d) the Italian period first in Genoa between 1950 and '51 and then in Milan from the academic year 1951/'52 to his retirement.

In this contribution, I will limit myself to the Florentine period, namely to the formative period and to the period 1934-37. To highlight the main cultural and technical characteristics of the Arcetri Occhialini stressed the importance of two factors:

1. the Mathematical-Physical-Astrophysical Seminar;
2. the collegial reading of journals.

The first one, favouring contacts with Italian and foreign scientists, introduced the University of Florence to an International environment. The second was promoted by Enrico Persico (1900-1969), who

had regular visits to Arcetri[1], engaged all the members of the small community of physicists: Gilberto Bernardini (1906-1995), Bruno Rossi (1905-1993), Daria Bocciarelli (1910-2006), Attilio Colacevich (1907-1953), Lorenzo Emo Capodilista (1909-1973), Giulio Racah (1909-1965), Guglielmo Righini (1908-1978), to keep up to date of the contents of the journals of the very rich library (Occhialini, 1974, p. 102). As Rossi would later recall, Persico "had undertaken to unravel for us the mysteries of wave mechanics" (Rossi, 1985, p. 53).

2. The Mathematical-Physical-Astrophysical Seminar

In 1987, on the Round Table organized in Arcetri in honour of Occhialini's eightieth birthday, Occhialini drew on the blackboard an equilateral triangle, "un triangolo mistico" [a mystical triangle]. At the vertices, he entered those who, in his opinion, had been the architects of what would later be called "The spirit of Arcetri" (Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2021). In the upper vertex, there was Antonio Garbasso; in the other two vertices Giorgio Abetti (1882-1982) and Enrico Persico.

Abetti was the founder of the Mathematical-Physical-Astrophysical Seminar formally established in 1932, but whose activity had begun some years earlier when he had invited Edwin Hubble (1889-1953) in 1928. Students could also participate in the seminars, and Occhialini probably attended as a student in some of them. Students could also give lectures under the guidance of Faculty professors. The word "Seminary" was even unknown to Occhialini before Bernardini spoke of it (Occhialini, 2007, p. 77).

The Archives of the Astrophysical Observatory of Arcetri preserve a rich testimony of the birth and the working of the Seminary since its inception[2]. Dozens and dozens of scholars were invited by the tireless G. Abetti to participate in the activities of the Seminar. The lectures were addressed not only to astrophysicists or mathematicians but also chemists, biologists, and engineers. In addition, we find historians and philosophers of science among the invited lecturers (Sodi, 2010). The texts or abstracts of the conferences are not in the Archives, but from the titles, it's possible to understand that lecturers were invited to talk about topics to which they were experts.

In 1930-31 Occhialini held a conference on "La diffusione nucleare della radiazione molto dura" [The diffusion of very penetrating radiation]. In 1933-34 Giulio Racah held a conference entitled "L'Elettrone positivo". In 1933-34 Giulio Racah lectured on "Le teorie di Dirac sull'elettrone positivo" [Dirac's theories about positive electron]. In 1933-34 G. Gentile lectured on "Le teorie di Dirac sull'elettrone positivo". In 1935-36 Occhialini held the conference "I premi Nobel per la fisica e la chimica" [Nobel prizes in physics and chemistry] and the conference "Assorbimento anomalo dei raggi gamma" [Anomalous absorption of γ-rays]. In 1933-34 Gilberto Bernardini lectured on "Nuove scoperte fatte a Roma da E. Fermi e dai suoi collaboratori all'Istituto Fisico di quella Università" [New discoveries made in Rome by E. Fermi and his collaborators of the Physics Institute of that University]. A conference was held by A.W. Hull (1880-1966) who talked about the thyratron, a new electronic device that made it possible and easy to control the Wilson chamber in Cambridge (Weiner, 1971, Session IV, p. 29). B. Rossi held several conferences, some of them in 1930-31 "L'azione di un campo magnetico terrestre sui corpuscoli della radiazione penetrante dal punto di vista teorico e sperimentale" [The action of a terrestrial magnetic field on the corpuscles of penetrating radiation from a theoretical and experimental point of view], and again

[1] Arcetri is a hill not far from the Florentine centre. Galileo Galilei spent the last decade of his life there in the Villa Gioiello, from 1631 to '42. In 1872 the new Astronomical Observatory of Florence was established on the hill. Later, in 1921, the physics laboratory of the Istituto di Studi Superiori, Pratici e di Perfezionamento, located in via Gino Capponi, in the centre of Florence, moved to the hill. The Institute of Physics, which took up the inheritance of the Istituto di Studi Superiori etc. became, in 1924, an integral part of the newly established University of Florence, thanks also to Antonio Garbasso (1871-1933), his first Director as well as Mayor of Florence.

[2] The Section of the Archives dealing with the Seminar and with the International Astronomical Union (IAU) has been consulted and analyzed in a voluminous thesis that contains, in the Appendices, a register of the material (Sodi, 2010).

in the same academic year "Gli effetti di latitudine e di emissione secondaria della radiazione penetrante" [The effects of latitude and secondary emission of penetrating radiation]. In 1931-32 he held the conference "I risultati del Congresso di fisica nucleare tenuto a Roma nell'ottobre del 1931" [The results of the Congress of Nuclear Physics held in Rome in October 1931] (together with G. Bernardini) (Sodi, 2010).

3. Occhialini's thesis

Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907-1993) graduated in physics from the University of Florence[3] in November 1929. In the academic year 1929-30, in addition to Occhialini, also Attilio Colacevich, Laura Romani[4], Francesco Scandone (1909-1981) graduated. Rossi was the supervisor of Occhialini's thesis. The topic of Beppo's thesis dealt with cosmic rays and was inspired, in addition to Bruno Rossi, also by Beppo's father, who knew Millikan's theory[5]. His father Augusto personally knew Kolhörster, who was working with Bothe on the detection of cosmic rays with Geiger-Müller (GM) counters and a coincidence method (Geiger & Müller, 1928). In Beppo's thesis, an Appendix presented the results of Bothe and Kolhörster's research. The paper had just appeared in *Zeitschrift für Physik*. In it, they used the method of coincidences for the study of cosmic rays. Their experimental results questioned Millikan's theory (Bothe & Kolhörster, 1929).

4. Occhialini's first paper

In 1931 Occhialini published his first paper (Occhialini, 1931). The author used (GM) counters to measure the energy of β rays emitted by weakly radioactive sources. As Beppo recalled, his choice to do research in radioactivity and nuclear physics had been influenced by a conference that Corbino had held in Florence on 9 September 1929 at the eighteenth meeting of the Società Italiana per il Progresso delle Scienze [Italian Society for the Progress of Sciences][6] (Weiner, 1971, Session I, pp. 13-14).

The instrument consists of a cylindrical box A and a GM counter B located at the centre. The weakly radioactive sample of rubidium is applied to the internal part of the cylinder (Fig. 1a). The counter is located between the pole expansions of an electromagnet. As the magnetic field progressively increased, the β rays emitted by the sample were increasingly deflected until none of them could reach the counter (Fig. 1b). In the case of monochromatic radiation, rigidity H^{ρ} of the particles emitted by the sample will be expressed by

$$H^{\rho} = H^{E}\frac{D}{2}$$

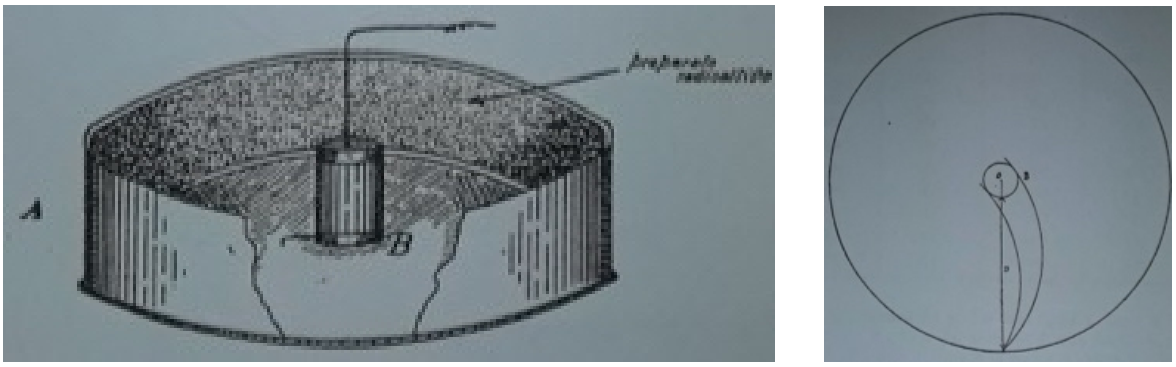
where H^{E} is the field relative to the cancellation point and D is the distance of the sample from the counter wall. More details of the apparatus were given by Bocciarelli (1931).

[3] The University of Florence started on 1st October 1924 with four Faculties: Mathematical-Physical-Natural Sciences, Letters, Medicine and Law. The Faculty of Mathematical-Physical-Natural Sciences activated five degree courses: Chemistry, Physics, Mathematics, Physics and Mathematics, Natural Sciences. In 1925-26 the two-year preparatory course in Engineering was also activated Mandò 1986; L'Università degli Studi di Firenze 1924-2004; Schettino 2004; Bonetti & Mazzoni, 2007; Bianchi, Galli & Gasperini, 2013; Casalbuoni *et al.* 2016; Lucci, Salvadori & Selleri, 2019; Dominici, 2020; Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2022.

[4] Little is known about Laura Romani Abigaille. Floriana Tagliabue (Tagliabue, 2022) quotes her as "Romani Abigaille, Villani Flora" among the graduates in Physics in 1929/30. Presumably, she dedicated herself to teaching mathematics and physics in secondary schools.

[5] On the influence of his father on the choice of Beppo's thesis topic there is the testimony of Livio Scarsi to whom Beppo had told that his father Augusto, having spent the summer months at the laboratory of Bothe and Kolhörster, had reported on their experiments on cosmic radiation. According to this testimony, Beppo had proposed "Cosmic rays" as a thesis topic to Bruno Rossi (Gariboldi & Tucci, 2006, p. XIV).

[6] In it, Corbino claimed that the modification of the nucleus of the atom was the only possibility of new great discoveries in physics (Corbino, 1930, p. 164).



(a) **(b)**

Fig. 1

The paper is important for many reasons:

1. Occhialini projected a spectrograph suggested by Bruno Rossi who, however, didn't want to sign the paper;
2. Daria Bocciarelli used for the potassium the same instrument Occhialini had used for rubidium. Her paper was published on *Nature* (Bocciarelli, 1931);
3. Occhialini's paper highlighted the ability of Rossi's group to build GM counters.

About points 1) and 2) Occhialini said to Weiner:

> So, I was the first pupil of Bruno Rossi... and I produced the first counter for the spectrum of rubidium. This is called the magnetic spectrum... The idea was of Bruno Rossi. He refused to sign it... it has been afterwards copied by Libby (Weiner, 1971, Session I, p. 2).

Occhialini, in the interview, cited Libby who, together with Lee, published 1939 a paper (Libby & Lee, 1939) in which an instrument very similar to that one proposed by Occhialini was described (Fig. 2). Libby used the instrument to get energies of the Soft Beta-Radiations of Rb^{37}, Na^{22}, S^{35}, and Au^{198}. Afterwards, Libby found a system for dating ancient fossils and archaeological relics based on the slightly radioactive isotope ^{14}C. Libby had become aware of the instrument and the method of using it in Bocciarelli's paper, quoted in Libby & Lee's paper of 1939.

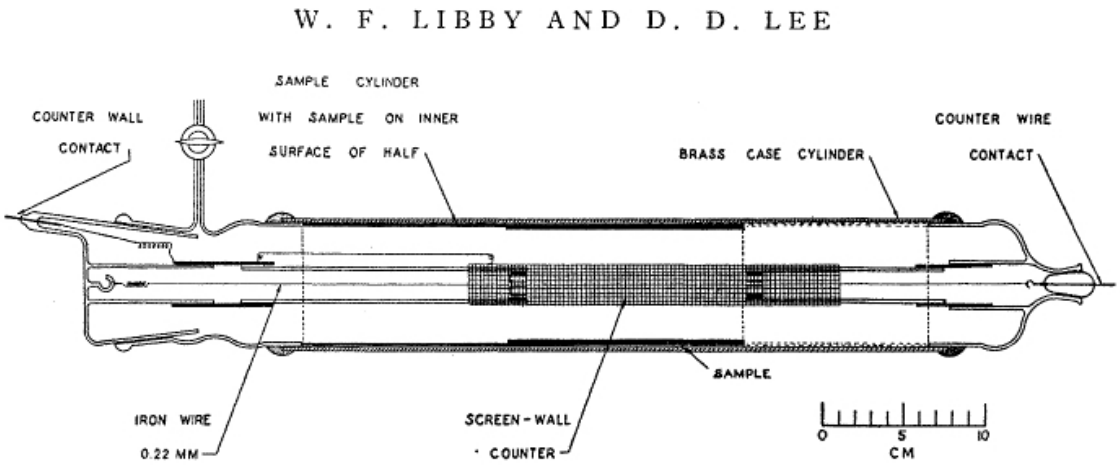


Fig. 2

5. Bruno Rossi in Charlottenburg

In the summer of 1930, Bruno Rossi attended the Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg (Berlin) with a CNR scholarship. There he perfected his experimental methods on cosmic rays and the use of GM counters. The use of a simple and inexpensive instrument such as GM counters allowed the implementation of a new research program whose low cost was a very important requirement for the incipient Arcetri School. As Occhialini reported in 1971

> He [Bruno Rossi] did understand that the tube counter of Geiger-Müller was the great equalizer that would allow a very poor lad to work without the possibility of great apparatus or of buying material, most of all without radioactive sources (Weiner, 1971, Session I, p. 3).

On 7 February 1930, Rossi sent a paper to *Nature* (Rossi, 1930) in which he proposed the circuit that allowed the simultaneous detection of the discharge of several meters (multiple coincidences), thus making a marked improvement over the circuit proposed by Bothe.

Once Rossi had oriented the research group towards the study of cosmic rays and once he had acquired a great mastery of the construction and use of GM counters, Rossi turned his attention to the cloud chambers that allowed the visualization of the tracks left by cosmic rays.

Had someone in Rossi's group acquired knowledge and skills in using the cloud chamber then Rossi's idea of coincidence circuits could have been realized. The choice fell on Bernardini who, at that time, had the obligation of military service. So, it was Beppo who went there with a CNR scholarship lasting three months.

Germany would have been the other place to go, but Rossi enthusiastically reported on Blackett and his wife. Based on the report, Beppo decided that Cambridge would be the right place for him. Bernardini wrote to him:

> Look here, shall I tell you that I wish you good luck, for these three months, which you are going to pass near Rutherford, - believe me that it is a bit like to wish you happiness for all the rest of your life (Weiner, 1971, Session I, p. 38).

6. Occhialini in Cambridge and discovery of positron

When Occhialini went in July 1931 to the Cavendish Laboratory in Cambridge (UK) Blackett was one of the few people who had a complete knowledge of Wilson's chamber. However, no coincidence circuit was envisaged in the Wilson chamber, and GM counters were rarely used, an attitude that Occhialini had never understood. Rutherford's scorn for the technique was perhaps at the origin of his lack of interest in GM meters: "He seemed to have an almost religious despise for people like Geiger, Wilson, Blackett..." (Occhialini & Dilworth, 2023, p. 3). Blackett's first experience in the Cavendish reflected this attitude although he was certainly aware of the works of Bothe & Kolhörster (1929), Bothe (1930), Rossi (1930). When Occhialini arrived at Cambridge Blackett understood that the Cavendish had to change to keep up with the proposed innovations.

Blackett and Occhialini developed a cloud chamber whose expansion was triggered by a Rossi coincidence circuit realized with counters placed above and below the chamber. Integration of the GM counters with the cloud chamber and with a system that allowed particles "to take their own cloud photographs" (Blackett & Occhialini, 1933, p. 699) led Blackett and Occhialini to announce the discovery of particles of high energy, uncertain whether they were electrons or protons (Blackett & Occhialini, 1933). In 1933 the authors considered that the new phenomenon could be explained by Dirac's theory (Blackett

& Occhialini, 1933, p. 713) according to which the positron was the anti-electron whose destiny was to annihilate with an electron producing one or more photons[7].

In a letter written to Augusto Occhialini in 1948, Blackett claimed that Beppo's arrival at Cambridge prompted him to study cosmic rays, a research field he had never abandoned. The novelty of Blackett and Occhialini's work did not derive from the discovery of the positron, which had already been identified by Anderson (Anderson, 1932). The novelty of their work derived:

a) from the application, for the first time, of the Rossi coincidence circuit to the Wilson camera;
b) from the interpretation given by Blackett and Occhialini in terms of Dirac's theory[8];
c) from having designed and built an automatic system for the photograph of particles that left traces of themselves in Wilson's camera.

Points a) and b) were part of Occhialini's knowledge before he went to Cambridge. Occhialini had heard of Dirac's theory from Persico in Florence[9]. As Occhialini recounted

> He [Persico] called us one day in his studio, explained... what was the theory of Dirac, about holes and so on. And this again was of tremendous importance, for having been introduced in this way I was one of the few people in the world who knew that there was such a Dirac theory. In every textbook by now, you'll read that it was absolutely evident that the Dirac theory was the positron (Weiner, 1971, Session I, p. 26).

In the 1933 paper, the authors showed how the positive electron reacted with a negative electron emitting low-energy γ photons. This mechanism was given by Dirac's theory of electrons (Blackett & Occhialini 1933, p. 714).

Blackett had spoken with Dirac before the announcement of the new phenomenon at the Royal Society and "showed surprise at Dirac's common sense and understanding of experimental phenomena (Occhialini & Dilworth, 2023, p. 5)." According to Blackett, it was better to accept Dirac's theory than no theory at all (Weiner, 1971, Session I p. 50). Although Dirac worked at the Cavendish Laboratory, he was not held in high esteem by Rutherford. As Occhialini recalled in his Memoirs, Rutherford, speaking of Dirac, said: "When Dirac, who has already greatly improved, will know some physics" (Occhialini & Dilworth, 2023, p. 2).

Blackett in his Nobel Lecture claimed:

> The fate of the positrons was discussed in relation to Dirac's theory of holes. On this theory a positive electron was envisaged as a "hole" in a sea consisting of an infinite number of negative electrons in states of negative kinetic energy. Dirac's theory predicted that a positive electron would disappear by uniting with a negative electron to form one or more quanta. Occhialini and I suggested that the anomalous absorption of hard gamma rays by nuclei might be a result of the process of pair production, and that the

[7] In 1962 John L. Heilbron tried to interview Blackett who, however, would neither let Heilbron use the recorder, nor take any notes. So, we have only what Heilbron recalled about the conversation. According to Blackett, Bohr was initially unconvinced by Anderson's evidence, but persuaded by the extensive evidence offered by the photographs of Blackett and Occhialini. Dirac worked very closely with them; in fact, he was often at the laboratory. When asked how long they had known about Dirac's theory, Blackett replied he wasn't quite certain, but that it didn't matter anyway because nobody took Dirac's theory seriously. Thus, although Dirac's theory involved such a difficulty, it was hardly evidence enough for a convincing demonstration of the existence of a new particle. Dirac himself at first identified the negative energy particles with protons (Heilbron, 1962).

[8] "Anderson realized that there was a connection between his work and the research of Dirac *after* reading the paper of Blackett and Occhialini" (Hanson, 1961, pp. 311-312). On the contribution of Blackett and Occhialini to the 'discovery' of the positron, Leone and Robotti have written several papers. In them, they rightly stressed that Blackett and Occhialini weren't driven in designing their experimental apparatus by Dirac's theory, although both were aware of its contents (Leone & Robotti, 2012, p. 540).

[9] Before Occhialini went to Cambridge, Dirac had published four papers: (Dirac, 1928a, 1928b, 1930b, 1930c, 1931). From their analysis, it can be deduced that the author himself had several doubts and in one of them, as well as in the first edition of the *Principles of Quantum Mechanics* of 1930 (Dirac, 1930a, p. 248), he thought that the new particle (yet to be discovered) was the proton, as Blackett noted in 1962 (Heilbron, 1962). However, all doubts disappeared in Dirac's Nobel lecture of 1933: "On this view the positron is just a mirror-image of the electron, having exactly the same mass and opposite charge" (Dirac, 1965). The same happened at the seventh Solvay conference in Brussels in 1933 (Dirac, 1934, p. 205).

> observed re-emission of softer radiation might represent the emission of two 0.5 MeV quanta resulting from the annihilation of a positive and negative electron. Subsequent work has confirmed this suggestion (Blackett, 1964, p. 106).

In his Memoirs, Occhialini reported that Dirac's theory wasn't acknowledged by Rutherford and Chadwick, unlike Rome's group who sent to Occhialini a telegram based on his love of caving: "Congratulations for explanation of Dirac hole" (Occhialini & Dilworth, 2023, p. 8).

About point c) an interesting testimony is given by Occhialini in the interview given in 1971. In 1970 Rossi sent to Occhialini a text of a lecture he had to do on the radio. In it, Rossi also inserted the point of view of Occhialini, who reacted by saying that his views had been distorted. Rossi had written that Occhialini had left Florence so that he could put counters in the experiment with a cloud chamber. According to Occhialini that was not true as when he arrived in Cambridge Blackett had proposed to put together two different techniques: the one Rossi had taught Occhialini, namely the use of GM counters to activate the cloud chamber and the technique which "this undiscussed[10] master" (Weiner, 1971, Session III, p. 11) used to produce cosmic rays, i.e. Blackett's deep knowledge of the cloud chamber (Weiner, 1971, Session III, p. 18). When Rossi stressed only the technique he had invented, he made a mistake.

A third one must be added to these two techniques: that of activating the photo-camera to take photos of the phenomena that occurred in the cloud chamber. Both Blackett and Occhialini made a significant contribution to this technique (Blackett, 1934).

In a private conversation with Hanson H. Bethe said: "Nobody took 'experimental' positive electrons before 1933 seriously, nor did Dirac make the connection in 1931" (Hanson, 1961, p. 198).

7. Occhialini in Florence between 1934 and 1937: a new cloud Chamber

Occhialini returned to Florence in March 1934 after three years at Cavendish Laboratory instead of the three scheduled months. In Cambridge, he had been persecuted by letters from his Florentine friends who urged him:

> to leave England and to try to make peace with the University authorities and the fascist Party. Under these conditions I could only work like a madman in the hope that my luck would turn (Occhialini & Dilworth, 2023, p. 12).

When in August 1933 he went to Zurich for a meeting, he decided not to go to Italy. "I had the depression of being jobless and very bitter from misunderstandings" (Weiner, 1971, Session III, p. 20). But after a few months, Occhialini returned to Italy due to his mother's deteriorating health. He also went to Florence to dispel some rumours that ran about his person; he had the impression that his Florentine colleagues accused him that he was giving himself airs and that he was going to get a job in England. He spoke with Bernardini who, citing what some newspapers have written, told him that he should have talked about Florence. It was on that occasion that Occhialini thought that perhaps it was better to work in the Rome Group (Weiner, 1971, Session III, pp. 47-48).

In 1934 Occhialini definitively came back to Florence. He found great changes: Garbasso died in 1933, Rossi had won the chair and moved to Padua in 1932 and in 1930 Persico went to Turin on the chair of Higher Physics. Moreover, the fascist regime had further strengthened its presence in society and institutions.

In Florence, he started planning a cloud chamber, the largest ever. On this, he had been thinking during the last month in Cambridge. But, as he said in his interview, "I mucked it completely" (Weiner, 1971,

[10] In Weiner, 1971, which holds the transcription of the recorded interview, instead of 'undiscussed' there is the word 'undisclosed'. The transcription was not checked by Occhialini.

Session IV p. 6). The problem was the magnetic field (20.000 gauss); he had completely underestimated the problem of the lack of funding to have enough electrical power.

Moreover, the workshop did not exist, the technical staff was missing, and the students were not interested. From a general point of view, there was only one certainty: sooner or later, war would break out, and everything would be blocked.

> every night when I was going to bed, I was kneeling near my bed, asking, "let me for once be right, let me for once be right" (Weiner, 1971, Session IV p. 6).

Bernardini suggested he contact Marconi, then President of the CNR and an influential politician. But the only result that Occhialini got was a letter on Marconi's letterhead, given to him by Marconi's secretary. Marconi (or maybe his secretary) wrote "what Dr. Occhialini wants to do is worthy of help." The sentence of Laureto Tieri (1879-1952), Garbasso's successor, was unequivocal: "This letter doesn't mean absolutely anything" (Weiner, 1971, Session IV p. 14). The letter was never used. Occhialini turned to Officina Galileo for financial support, but the result was once again negative.

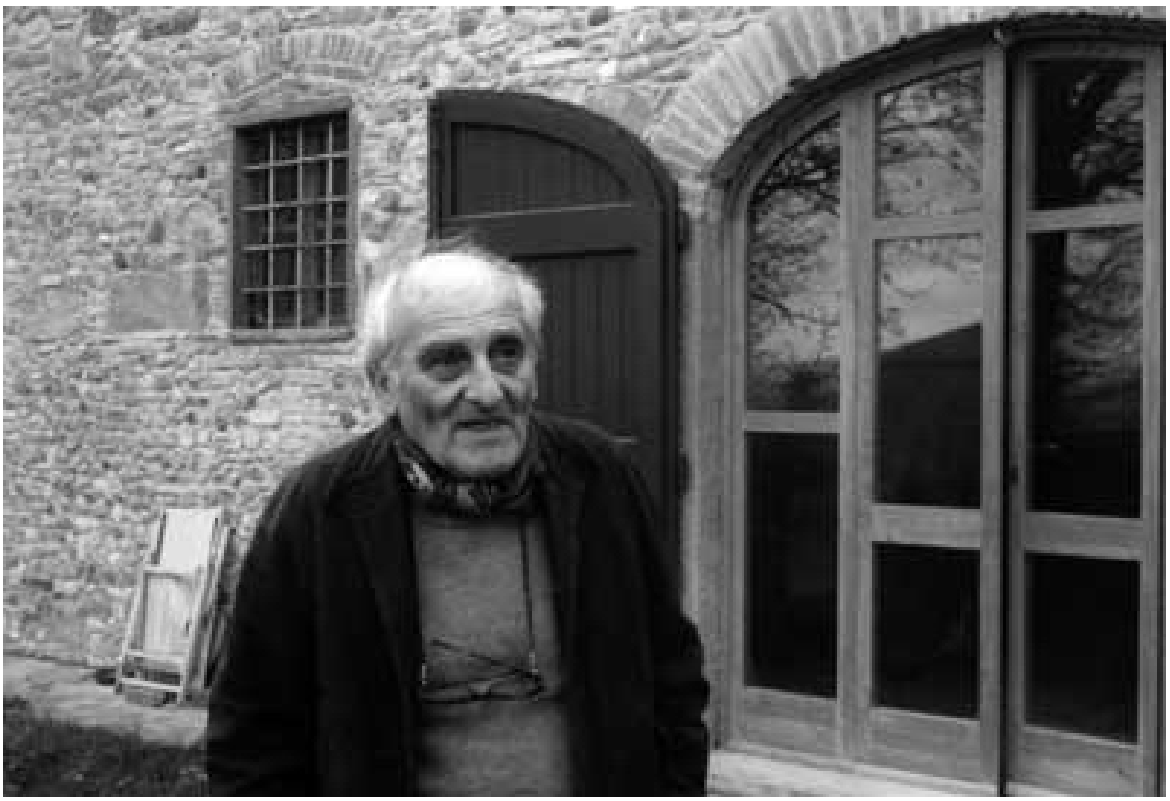


Fig. 3: Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907-1993) in front of the country house in Marcialla (Florence) where together with his wife Constance Dilworth moved in 1985.

8. Occhialini in Florence between 1934 and 1937: photographic detection of particles

To my knowledge, Occhialini mentioned the attempt in 1936 to replace the cloud chamber with a photographic plate in the interview. At one point in the conversation, the interviewer, Charles Weiner, asked him whether he had received any material from his old friends in Cambridge. Occhialini replied that when he was in Florence he was interested in the photographic detection of particles and added: "I thought that this was the chief thing... It was the kind of things that was at this moment starting" (Weiner, 1971, Session IV p. 51). Blackett sent him two boxes of infrared halftone plates. Occhialini bombarded them with α particles but when he went to develop them, they were black. Afterwards, he

used a polonium beryllium source to get neutrons and could start investigating neutron tracks. But when he developed them, he realized that in this case the flop was also complete.

He deduced that there was some problem with the plates and not with the procedure he had imagined. Beppo resumed his old project in Bristol when he worked with Powell.

9. Conclusions

The figure of Occhialini (Fig. 3), despite the extensive documentation available, including his publications, remains full of contradictions. Many scientific events that characterized his research are difficult to reconstruct. To avoid getting involved in psychological problems that I would not be able to manage, I would like to underline some points regarding his scientific achievements. What was his contribution in the collaboration with Blackett in the rediscovery of the positron and the interpretation of the experimental results according to Dirac's electron theory? As we have seen, Occhialini knew Dirac's theory of the electron because Persico had talked about it in Florence. And Dirac worked at the Cavendish, as did Blackett. In the discovery of the muon and the pion in Bristol in 1947, what was his contribution beyond the suggestion to Ilford of concentrated emulsions?

Occhialini had a complex relationship with Florence: while on the one hand Garbasso, Abetti, Persico, and Rossi had influenced or even determined his scientific culture before going to Cambridge, on the other, on his return to Florence in 1934, he felt that world had dissolved: Garbasso was dead, Persico and Rossi had gone to Padua and Turin respectively. Only Bernardini remained who, however, in 1937 left Florence for Camerino. In the same year, Racah went to Pisa. Daria Bocciarelli was leaving for the Istituto Superiore di Sanità in Rome where she arrived in 1938. Finally, with the enactment of the racial laws, starting in 1938, the Italian University was deprived of professors of Jewish origin. When he was in Cambridge, Occhialini considered himself a barbarian although he was aware of his roots in the Marche and Tuscany, cradles of the Renaissance. This is how one of his colleagues described him: "he holds his listeners spellbound when he talked about... the beauty of Tuscany and Umbria landscape" (Tagliaferri, 1994). When, in 1937, Occhialini decided to go to Brazil leaving the Florence "paradise", where he came back only in passing several years later, he realized that something profound was happening in his life: "at the moment in which I was leaving Florence I had a very clear idea that I was closing the door of my youth and that I would not be young anymore" (Weiner, 1971, Session IV, p. 33).

Afterwards, Occhialini expressed high esteem for Blackett, unlike what he had said and written about Powell. But this did not prevent the wise and mature Occhialini from dedicating a commemorative plaque on a bench to Powell at the Capanna Vittoria mountain refuge, on Alpe Giumello, in Valsassina where Powell had died during a walk on 9 August 1969.

Acknowledgments

I want to thank Dr. Simone Bianchi (Astrophysical Observatory of Florence) for pointing out Sodi's thesis and reading the draft of this contribution; Dr. Antonella Gasperini, head of the Archives of the Astrophysical Observatory of Florence, for helping me consult the material; Prof. Dominici for reading this contribution's draft. Finally, I thank Dr. Luisa Bonolis for her suggestions.

Bibliography

Anderson, C.D. (1932). "The apparent existence of easily deflectable positives", *Science*, 76(1967), pp. 238-239.

Bianchi, S., Galli, D. & Gasperini, A. (2013). "Il primo osservatorio astronomico d'Italia. La Nascita dell'Osservatorio di Arcetri (1861-1873)", *Il Colle di Galileo*, 1-2, pp. 55-70.

Blackett, P.M.S. & Occhialini, G.P.S. (1932). "Photography of penetrating corpuscular radiation", *Nature*, 130(3279), p. 363.

Blackett, P.M.S. & Occhialini, G.P.S. (1933). "Some Photographs of the Tracks of Penetrating Radiation", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 139(839), pp. 699-727.

Blackett, P.M.S. (1934). "On the technique of the counter controlled cloud chamber", *Proceedings of the Royal Society of London*, 146, pp. 281-299.

Blackett, P.M.S. (1964). "Cloud chamber research in nuclear physics and cosmic radiation", in Stuart, S. (ed.) *Physics 1942–1962*. Amsterdam [etc.]: published for the Nobel foundation by Elsevier, pp. 97-119.

Bocciarelli, D. (1931). "A hard component of the beta-Radiation of potassium", *Nature*, 128(3226), pp. 374-375.

Bonetti, A. & Mazzoni, M. (eds.) (2007). *L'Università degli Studi di Firenze nel centenario della nascita di Giuseppe Occhialini (1907-1993)*. Firenze: Firenze University Press.

Bothe, W.W.G (1930). "Zur vereinfachung von koizidenzzählungen", *Zeitschrift für Physik*, 59, pp. 1-5.

Bothe, W.W.G. & Kolhörster, W. (1929). "Das Wesender Höhenstrahlung", *Zeitschrift für Physik*, 56, pp. 751-777.

Casalbuoni, R. *et al.* (eds.) (2016). *La fisica ad Arcetri: dalla nascita della regia Università alle leggi razziali*. Firenze: Firenze University Press.

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2021). *Lo spirito di Arcetri: a cento anni della nascita dell'Istituto di Fisica dell'Università di Firenze*. Firenze: Firenze University Press.

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2022). "A brief history of Florentine physics from the 1920s to the end of the 1960s", *European Physical Journal H*, 47, 15.

Corbino, O.M. (1930). "I compiti della fisica sperimentale", in Silla, L. (ed.) *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze. Diciottesima Riunione Firenze 18-25 Settembre 1929.* Roma: Società Italiana per il Progresso delle Scienze, pp. 157-168.

Dirac, P.A.M. (1928a). "The quantum theory of the electron", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 117, pp. 610-624.

Dirac, P.A.M (1928b). "The quantum theory of the electron. Part II", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 118, pp. 351-361.

Dirac, P.A.M. (1930a). "Note on Exchange Phenomena in the Thomas Atom", *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 26(3), pp. 376-385.

Dirac, P.A.M. (1930b). *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: The Clarendon Press.

Dirac, P.A.M (1930c). "The Proton", *Nature*, 126(3181), pp. 605-606.

Dirac, P.A.M. (1931). "Quantised Singularities in the Electromagnetic Field", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 133, pp. 60-72.

Dirac, P.A.M. (1965). "Theory of Electrons and Positrons", in Stuart, S. (ed.) *Physics 1922-1941*. Amsterdam [etc.]: published for the Nobel foundation by Elsevier, pp. 320-325

Dirac, P.A.M. (1934). "Théorie du positron", in Institut international de physique Solvay (ed.), *Structure et propriétés des noyaux atomiques*, Septième Conseil de physique tenu à Bruxelles du 22 au 29 octobre 1933. Paris: Gauthier-Villars, pp. 203-212.

Dominici, D. (2020). "Enrico Fermi a Firenze e la nascita della scuola di Arcetri", *Il Colle di Galileo*, 9(1), pp. 13-34.

Gariboldi, L. & Tucci, P. (2006). "Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907-1993)", in Redondi, P. *et al.* (eds.) *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*. Bologna: SIF, Berlin [etc.]: Springer, pp. XI-XXXVII.

Geiger, H. & Müller, W. (1928). "Elektronenzählrohr zur Messung schwächster Aktivitaäten". *Die Naturwissenschaften*, 16(31), pp. 617-618.

Hanson, N.R. (1961). "Discovering the Positron (I)" and "Discovering the Positron (II)", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 12(47), pp. 194-214, 12(48), pp. 299-313.

Leone, M. & Robotti, N. (2012). "An uninvited guest: The positron in early 1930s physics", *American Journal of Physics*, 80(6), pp. 533-541.

Libby, W.F. & Lee, D.D. (1939). "Energies of the Soft Beta-Radiations of Rubidium and Other Bodies: Method for Their Determination", *The Physical Review*, 55(3), pp. 245-251.

Lucci, L., Salvadori, F. & Selleri, S. (2019). "Enrico Fermi docente alla regia Università degli studi di Firenze", in Casalbuoni, R., Dominici, D. & Pelosi, G. (eds.) *Enrico Fermi a Firenze*. Firenze: Firenze University Press. pp. 41-63.

Mandò, M. (1986). "Notizie sugli studi di Fisica, 1859-1949", in *Storia dell'Ateneo Fiorentino*. Firenze: Parretti Grafiche, pp. 587-619.

Occhialini, G. (1931). "Uno spettrografo magnetico per raggi β emessi da sostanze debolmente radioattive", *Rendiconti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*, 14, pp. 103-107.

Occhialini, G. (1974). "Occhialini, Giuseppe", in *Scienziati e Tecnologi Contemporanei*, vol. II. Milano: Mondadori, pp 322-324.

Occhialini, G. (2007). "Intervento alla Tavola rotonda", in Bonetti, A. & Mazzoni, M. (eds.) *L'Università degli Studi di Firenze nel centenario della nascita di Giuseppe Occhialini (1907-1993)*. Firenze: Firenze University Press, pp. 75-78.

Occhialini, G. & Dilworth, C. (2023). "Memoirs (1992-1993)", in Gariboldi, L. *et al.* (eds.) *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini: Formative Years and the Return to Italy in 1950*. Cham: Springer, pp. 1-60.

Rossi, B. (1930). "Method of Registering Multiple Simultaneous Impulses of Several Geiger's Counters", *Nature*, 125(3156), p. 636.

Rossi, B. (1985). "Arcetri 1928-1932", in Sekido, Y., Elliot, H. (eds.) *Early history of cosmic ray studies. Personal Reminiscences with Old Photographs*. Dordrecht [etc.]: D. Reidel, pp. 53-73.

Schettino, V. (2004). "Le scienze sperimentali ed esatte nell'ateneo fiorentino", in *L'Università degli studi di Firenze: 1924-2004*. Firenze: Leo S. Olschki, pp. 201-250.

Sodi, F. (2010). "Nuovi orizzonti da Arcetri. Giorgio Abetti, il Seminario Matematico, Fisico ed Astrofisico e l'Unione Astronomica Internazionale", tesi di Dottorato di ricerca.

Tagliabue, F. (2022). *Le tesi delle prime donne laureate a Firenze*. Firenze: Firenze University Press.

Tagliaferri, G. (1994). "Giuseppe Occhialini" *Rendiconti dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere*, 128, pp. 231-240.

Archival sources

Heilbron, J.L. (1962). "Report of the interview with P.M.S. Blackett", 17 December, American Institute of Physics, *Niels Bohr Library & Archives, Oral Histories*, 4508.

Weiner, C. (1971). "Giuseppe Ochialini- Session I-V", 5 April-8 November, American Institute of Physics, *Niels Bohr Library & Archives, Oral Histories*, 31789, 1-5.

1924–2024:
From Quantum Statistics to Condensed Matter Physics

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_6, pp. 53–56
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-6

Lo stato solido e la nuova mappa della fisica

Joseph D. Martin[1]

[1]Durham University, Durham, UK, jdmartin@gmail.com.

Abstract: Neither solid state nor condensed matter physics existed at the end of World War II. Physical problems related to the properties of materials, of course, have a much longer history, but the physics community was not yet subdivided in a way that recognised those efforts as distinct branches of physics. By the time condensed matter physics became the preferred term in the late 1970s, it was far and away the largest subfield of physics. As condensed matter physics grew, it nevertheless struggled for popular recognition and professional prestige. The reputation for uncovering nature's deepest secrets resided with high energy physics and cosmology. Condensed matter physics did, however, become king in another sense. Its rise reconfigured how the field of physics itself was defined and internally organised. It reflected new ideas about what it meant to be a physicist and challenges to the cherished ideals upon which the twentieth-century physics community had been founded. By tracing the emergence of solid state and condensed matter physics as new ways of organising physicists' labour, this talk will argue that further attention to the sciences of materials is necessary to encourage a thoroughgoing understanding of the history of physics in the twentieth century.

Keywords: Solid state physics, Map of physics

Introduzione

Cos'è la fisica dello stato solido? La risposta sembra semplice: è lo studio delle proprietà fisiche della materia solida. Tuttavia questa definizione lascia da parte aspetti essenziali. Per comprendere l'evoluzione di questa branca della fisica nel corso del XX secolo, dobbiamo cominciare chiedendoci come sia arrivata a diventare una specialità della disciplina[1] .

La fisica dello stato solido non esisteva nel 1939, quando uno studente dottorato della Brown University, Bernard "Bern" Porter, disegnò una mappa della fisica. In appena un decennio, tuttavia, aveva già una propria divisione all'interno dell'American Physical Society, e alla fine del XX secolo era la più grande specialità della fisica, conosciuta ormai come fisica della materia. Questa rapida crescita è tanto più sorprendente in quanto non è del tutto chiaro come Porter l'avrebbe inclusa nella sua mappa, se l'avesse rivista dieci anni dopo. La fisica dello stato solido non era un insieme coerente di concetti e metodi che potevano apparire come un'isola, un continente o qualsiasi altra caratteristica naturale del paesaggio, ma era correlata a quasi ogni regione sulla mappa. Era percepita come una categoria insolita. Inserendo un capitolo dedicato alla fisica dello stato solido nella seconda edizione del manuale dell'American Institute of Physics, il suo curatore osservò che

> aggiungere un capitolo con questo titolo alle discipline convenzionali della meccanica, del calore, dell'acustica, ecc., è come cercare di classificare le persone tra donne, uomini, ragazze, ragazzi e suonatori di cetra. (Gray, 1963, p. 41)

Per comprendere l'ascesa della categoria dobbiamo guardare ai cambiamenti nell'atteggiamento nei confronti della fisica negli Stati Uniti, in particolare nei confronti della ricerca industriale e applicata (Lucier, 2012). Agli inizi del XX secolo il termine fisica si riferiva ai fenomeni naturali e il fisico indagava

[1] Per approfondimenti, vedere: Martin, 2018; Hoddeson *et al.*, 2015.

le leggi che li governavano, cosa che escludeva i fisici applicati o industriali. A metà del secolo, questa nozione cominciò ad essere messa in discussione. Nel 1943, William Hansen, un fisico dell'Università di Stanford le cui ricerche avevano portato allo sviluppo del klystron (un tubo a vuoto che amplifica le microonde), contestò l'affermazione del suo collega David Webster secondo cui la fisica riguardava la scoperta delle leggi naturali:

> Questo criterio è troppo impegnativo. Quanti fisici conosci che hanno scoperto una legge della natura? Pochi di noi hanno avuto questo privilegio, ma ciò non toglie nulla al lavoro degli altri. (Hansen, 1943)

Gli altri sarebbero stati d'accordo. Lo stato solido era una categoria sufficientemente ampia da comprendere ambiti molto diversi ed evitare l'emarginazione della fisica applicata. La nuova sottodisciplina copriva sia il campo accademico che quello industriale e univa materie fino ad allora dissociate.

La rapida espansione di questa categoria nel dopoguerra risponde a due ragioni. In primo luogo, il suo utilizzo favorì i fisici applicati, tradizionalmente trascurati dalle istituzioni emblematiche della fisica negli Stati Uniti. In secondo luogo, essendo stata creata per affrontare problemi professionali e non per costruire un insieme di concetti o pratiche, avrebbe potuto riunire fisici di molte specialità, non solo generalisti.

Fig. 1: *Map of Physics* di Bern Porter. Illustra una prospettiva in cui la fisica è categorizzata in termini di fenomeni naturali. La mappa contiene uno schema storico della materia, di interesse per fisici, studenti e persone comuni. Dà anche una descrizione della terra della fisica vista dalle anime audaci che si avventurano lì, in particolare la posizione dei villaggi (dal nome dei fisici pionieri), dei molti fiumi trovati e la data della fondazione di ogni villaggio, così come la data della sua estinzione; e infine una raccolta di vari simboli, spesso incontrati nel viaggio. (Porter, 1939). Riproduzione con il cortese permesso di Mark Melnicove, esecutore letterario di Bern Porter, mmelnicove@gmail.com.

Comprendeva anche ricerche che avevano a malapena a che fare con i solidi. Lo studio di John Van Vleck sulla suscettività magnetica dei gas era un testo classico (van Vleck, 1932). Il primo maser, costruito

dal gruppo di Charles Townes, era basato sul gas di ammonio (Bromberg, 1991). E la scoperta della superfluidità dell'idrogeno, fatta da Pyotr Kapitsa nel 1937, portò a un fruttuoso programma di ricerca, di cui si fecero carico anche i fisici dello stato solido. Essendo una categoria artificiale, ha permesso l'incorporazione di nuovi settori. I fisici dello stato solido non hanno avuto remore ad accogliere nella loro comunità fisici che indagavano le proprietà della materia aggregata e che non disponevano di altri spazi professionali.

Naturalmente, questa tolleranza aveva i suoi limiti. Nato per rispondere alle sfide professionali del dopoguerra, non sorprende che il nome "fisica dello stato solido" abbia perso di importanza con il mutare delle circostanze. A partire dal 1960 si cominciò ad usare l'espressione "fisica della materia condensata," riflettendo l'interesse per gli stati non solidi della materia ed evidenziando il problema quantistico a molti corpi (Martin, 2015). Tra gli altri vantaggi, il nuovo nome prospettava una maggiore coerenza concettuale. Durante il periodo dominante della fisica dei semiconduttori, non aveva molta importanza che le tecniche della fisica dello stato solido fossero altrettanto rilevanti nel caso di liquidi, molecole, plasma e altri materiali non solidi. Negli anni '70, le frontiere cambiarono, quando fenomeni critici come le transizioni di fase, la fluidodinamica non lineare, la ricerca sull'elio liquido e altri aspetti che avevano poco o nulla a che fare con i solidi acquisirono importanza. L'inadeguatezza del termine originario non poteva più essere ignorata.

Il nuovo nome parlava anche di rigore intellettuale. La "materia condensata" evocava i complicati calcoli quantistici del problema a molti corpi meglio dello "stato solido," in un momento in cui i fisici dello stato solido avevano bisogno di enfatizzare i loro contributi concettuali. Durante la guerra del Vietnam, gli Stati Uniti ridussero gli investimenti nella ricerca fondamentale nel campo, aumentando al contempo gli investimenti nella fisica delle alte energie. Il governo e gli investitori privati richiedevano applicazioni tecniche a breve termine.

Le scoperte in materie come i fenomeni critici hanno permesso alla fisica dello stato solido di rivendicare parte del prestigio intellettuale di cui gode la fisica delle alte energie. Nel 1972, il fisico della materia condensata Philip W. Anderson pubblicò un articolo cruciale sulla rivista Science, "More Is Different," in cui sosteneva che ogni nuova scala di complessità offriva una cornucopia di domande fondamentali intellettualmente stimolanti (Anderson, 1972; Zangwill, 2021). Affrontando fenomeni fisici più complessi, i fisici della materia condensata stavano aprendo nuove frontiere concettuali. L'adozione della categoria "fisica della materia condensata" non fu un semplice cambio di nome: rifletteva le nuove priorità intellettuali e professionali della fisica negli Stati Uniti. I fisici della materia condensata dovevano difendere il valore intellettuale della loro specialità contro l'accusa di praticare la "fisica sporca" (*Schmutzphysik*) o la "fisica dello stato squallido." Dalla metà degli anni Sessanta avevano espresso preoccupazione per le risorse destinate ai grandi acceleratori, che avrebbero potuto essere distribuite in modo più equo. La superiorità numerica di cui avevano goduto per decenni, insieme alla rinascita del loro programma intellettuale, rafforzarono i leader della disciplina. Verso la fine degli anni '90, i fisici della materia condensata poterono opporsi al finanziamento del Supercollider Superconduttore, sostenendo non solo che occupavano un posto centrale nella disciplina, ma che i loro obiettivi rappresentavano meglio quelli della fisica nel suo complesso (Riordan, Hoddeson & Kolb, 1995; Martin, 2015a).

La storia della nascita della fisica della materia condensata è quindi una storia sull'uso e sul significato delle categorie della fisica. All'inizio del XX secolo, i fisici potevano mappare la disciplina come fece Porter, basandosi sulle categorie che percepivano nel mondo naturale. Ma questo metodo era impregnato di ideologia, perché presupponeva una certa concezione della fisica e discriminava tra i fisici che guidavano la disciplina dal centro e quelli che lavoravano alla periferia. Il modo in cui gli scienziati definiscono il loro lavoro determina il modo in cui viene svolto e il valore ad esso assegnato. La concezione della fisica prevalente all'inizio del XX secolo aveva relegato i fisici applicati alla periferia.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, la fisica dello stato solido vide il consolidamento professionale dei fisici industriali all'interno della disciplina. A sua volta, la fisica della materia condensata ha contribuito a riorientare la specialità, una volta esaurita la prima categoria. In entrambi i casi si trattava di ridisegnare la mappa della fisica in modo che le periferie (fisica applicata, nel primo caso, teoria a molti corpi, nel secondo) si avvicinassero al centro. Ma non si trattava di un processo semplice come stabilire il confine di un nuovo territorio, annetterlo a una mappa preesistente e dargli un nome. La creazione dei campi "fisica dello stato solido" o "fisica della materia condensata" ci ha costretto a ripensare la questione fondamentale di come tracciare un confine. Lo storico Daniel Kevles ha fatto eco alla percezione comune secondo cui "la fisica è ciò che fanno i fisici" (Kevles, 1995, p. 263). Lo sviluppo della fisica della materia condensata suggerisce che la fisica è ciò che i fisici decidono che sia. La fisica dello stato solido o della materia condensata ha acquisito importanza perché i fisici hanno riconosciuto il potere delle categorie e le hanno modellate in base alle loro esigenze.

Bibliografia

Anderson, Ph.W. (1972). "More Is Different: Broken Symmetry and the Nature of Hierarchical Structure in Science", *Science*, 177(4047), pp. 393–396.

Bromberg, J.L. (1991). *The Laser in America*. Cambridge: MIT Press.

Gray, D.E. (1963). "The New AIP Handbook", *Physics Today*, 16(7), pp. 40–42.

Hoddeson, L. *et al*. (eds.) (1992). *Out of the Crystal Maze: Chapters from the History of Solid State Physics*. Oxford: Oxford University Press.

Kevles, D.J. (1995), *The Physicists: The History of a Scientific Community in Modern America*. Repr. 3rd ed. 1971. Cambridge: Harvard University Press

Lucier, P. (2012). "The Origins of Pure and Applied Science in Gilded Age America", *Isis*, 103(3), pp. 527–536.

Martin, J.D. (2015a). "Fundamental Disputations: The Philosophical Debates that Governed American Physics, 1939–1993", *Historical Studies in the Natural Sciences*, 45(5), pp. 703–757.

Martin, J.D. (2015b). "What's in a Name Change?: Solid State Physics, Condensed Matter Physics, and Materials Science," *Physics in Perspective*, 17(1), pp. 3–32.

Martin, J.D. (2018). *Solid State Insurrection: How the Science of Substance Made American Physics Matter*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

Riordan, M., Hoddeson, L. & Kolb, A. (2015). *Tunnel Visions: The Rise and Fall of the Superconducting Super Collider*. Chicago: University of Chicago Press.

van Vleck, J.H. (1932). *The Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities*. Oxford: Clarendon Press.

Zangwill, A. (2021). *A Mind over Matter: Philip Anderson and the Physics of the Very Many*. Oxford: Oxford University Press.

Fonti d'archivio

Hansen, W.W. (1943). Letter to David L. Webster, February 4. Stanford University Archives, *Felix Bloch papers*, series 1, B. 5, f. 20.

Porter, B. (1939). *Map of Physics*. Colby College Libraries, *Special Collections, Bern Porter Collection, Correspondence, Materials by Others*, 30.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_7, pp. 57–64
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-7

The origins of solid state physics in Italy: 1945 – 1960

Giuseppe Giuliani[1]

[1]Formerly University of Pavia. Department of Physics, Pavia, giuseppe.giuliani@unipv.it.

Abstract: The Italian physicists who devoted themselves to solid state physics in the early post-war period could not rely on a solid cultural heritage such as that left by Fermi and Rossi in nuclear, subnuclear, and cosmic ray physics. Solid state physics in Italy resulted from a polycentric process stimulated by local situations and contacts with foreign research groups, European or American. Many factors hindered this process. Among them was a cultural, political, and industrial context unconcerned with a discipline whose theoretical foundations and possible technical applications appeared uncertain, the disciplinary formation of new physicists until based on a curriculum established in 1936, and the scarce financial support. The topics studied in those years covered many fields: magnetic properties of materials, color centers in alkali halides, semiconductors, nuclear and electron magnetic resonance, imperfections in solids, neutron diffraction, and superconductivity. Theoretically, the main contributions were to semiconductor bands' theory and alkali halides' structure and defects.

Keywords: Solid State Physics, Physics of Matter, Italy

1. Introduction

The definition of a discipline requires the identification of its field of investigation, the awareness of the scholars who practice it to operate in this field, and their organization into a community. These elements are not necessarily all present, and their interweaving is historically determined. The appearance of a theory encompassing fundamental phenomena favors identifying a new field of research. On this basis, solid state physics (SSP) began to develop in the thirties of the past century when the band's theory of crystalline solids gave the theoretical foundation for the distinction between insulators, conductors, and semiconductors. The publication of the book *The Modern Theory of Solids* by Frederick Seitz (1940) significantly contributed to identifying this new branch of physics. The invention of the point-contact transistor by John Bardeen and Walter Brattain (1947) can be considered the closing act of a half-century-long research on point-contact rectifiers and opened the way – theoretically traced by William Shockley – to the building of the p-n junction transistor (1952). In 1960, Theodore Harold Maiman built the first (pulsed) solid-state laser.

In the following pages, we shall describe the birth of solid state physics in Italy, considering reports and recollections of physicists (Giuliani, 1988), their interviews (Bonizzoni, 2002), and preliminary historical reconstructions (Giuliani, 2002; Marazzini & Rossi, 2005; Rossi, 2007).

2. Meanwhile, in Italy

On the eve of World War II, the community of Italian academic physicists still had a nineteenth-century structure. The small number of physicists (127 in 1940), the size of the research groups (three to four units), the scarce funding (both absolute and compared to other countries), and the strong centralism made the Italian physical community very weak. This weakness also reflected the fragility of scientific research in Italy. The renewal of the research staff was slow and difficult because of the scarcity of new

positions and the limited availability of graduates (Galdabini & Giuliani, 1988; Giuliani 1996, pp. 1-6). At the end of the war, the international context for physical research appeared profoundly changed: the defeat of Nazism and Fascism and the war devastation in Europe favored the shift of economic hegemony across the Atlantic. The US effort to produce the nuclear fission bomb has shown the efficiency of research based on the concentration of human and material resources and the planned interweaving between basic research, applied research and technology.

The use of nuclear fission bombs on Hiroshima and Nagasaki has once again dramatically brought to the fore the role of science and its applications; the division of the world into two blocs and the onset of the Cold War revived the arms race. The growing governments' interest in the military and civil applications of scientific discoveries implied an increasing economic effort of their countries. Scientists not only saw their number increase considerably but also became aware of the acceleration of the integration of science into society, of the growing influence of their organizations on specific decision-making processes, and of their increasing responsibility, also ethical.

Italy's problems were complex and they were made more difficult by the devastations of war, the overall weakness of scientific structures, the widespread inability to grasp emerging innovations, and the connection between education, research, technology, and development.

After the liberation of the country from the nazi-fascists, Italian physicists endeavored to reconstruct the buildings, recover laboratory instruments - sometimes hidden to prevent theft from the German troops in retreat - and construct new equipment using also the remnants of war abandoned by Allied troops[1]. The training of students who entered the course in Physics in the immediate post-war period was based on an out-of-date study plan established in 1937, which would remain in force until 1961 (Giuliani, 1996, pp. 21-23).

3. Solid state physics in Italy

Solid state Physics developed in a polycentric way throughout the country, within or beside the older research traditions of the physics of atoms and molecules. Indeed, we should better speak of the development in Italy of what will be called later the Physics of Matter. In the beginning, this polycentric development was characterized by scarce connections within the Italian groups. More important were the collaborations with foreign teams, European or American (US) (Giuliani, 1988). In the following, we shall draw a synthetic picture of the groups' geographical locations and their research.

3.1. The 'Galileo Ferraris' Institute, Turin

The 'Galileo Ferraris' was born as a project of the *Società Idroelettrica Piemonte*, which, in March 1929, allocated ten million lire. It risked being abandoned due to the significant economic crisis of that period. The joint intervention of the municipality of Turin and the State re-launched the project, and the Institute opened in 1935. University researchers (School of Electrical Engineering of the Polytechnic) and researchers hired on a fixed-term contract worked at the Institute. The annual budget was two million Lire, assured by law by the government. For the dimension of financial support, the joint contribution of public and private institutions, and the number of technicians per researcher, "Galileo Ferraris" represented an

[1] Adriano Gozzini vividly recalled: "Before leaving Pisa, the German mined and blew up a wing of the Institute with its tower. Anna Ciccone, the only person present at the Institute at that particular time, refused to abandon it and retired to the other wing of the building. After the mines had been exploded, the German withdrew taking with them the best optical instruments. When Anna Ciccone saw that, she precipitated on the soldiers in a fury, as an enraged tigress would defend her offspring, offering the soldiers the alternative of killing her on the spot or renouncing their removal. Fortunately, they chose the latter alternative, so that the best of these (including a Michelson échelon and a diffraction grating autographed by Rowland, now conserved at Certosa di Calci) had been saved. Whoever knew Anna Ciccone, can imagine the scene" (Gozzini, 1988, p. 67).

exception in the Italian research landscape. In Solid State Physics, the contribution of 'Galileo Ferraris', in the period under review, was mainly in the field of magnetic properties of materials. Initially, the section was directed by Carlo Chiodi and Valentino Zerbini. In the post-war period, research on magnetic properties was carried out by Giorgio Montalenti (1915-1990) and coworkers.

3.2. Physics of matter in Pavia

The group of Pavia grew around the figure of Luigi Giulotto (1911-1986)[2]. Piero Caldirola (1914-1984) and Giulotto opened a happy and lasting season of collaboration. The two physicists (Giulotto experimentalist and Caldirola theorist) also wrote some papers. However, the nature of their collaboration, based on mutual esteem, was essentially characterized by discussions on 'what to do?'. Caldirola suggested to Giulotto to study the composite spectrum of the H_α line of the hydrogen atom[3] and, later, to deal with the new technique of nuclear magnetic resonance.

The challenging experiment on the H_α line started in 1942 and was completed only in 1947 due to the war events. The experiment reasonably confirmed the discrepancy between Dirac's theory and experimental data. Shortly after, Lamb and Retherford showed that the level $2p_{1/2}$ is about 1058 MHz lower in energy than the level $2s_{1/2}$ by directly observing the transition between the two levels, using a microwave beam of the appropriate wavelength. The theoretical description was then given by quantum electrodynamics. This case may be emblematic of Italy's technological underdevelopment and the gap between some fields of physics and their counterparts at the international level. Giulotto approached the problem with traditional spectroscopic methods, and Lamb refined it, inspired by a fully quantum view of the problem. The development of microwave technology in the United States during the war and for military purposes made this experimentally possible.

In 1946, Giulotto set up a nuclear resonance apparatus by assembling old instruments found at the Institute, except the transmitter built by a radio engineer, then a voluntary assistant. Since Giulotto did not have an oscilloscope, he heard the first resonance signal through a headset, which was a sharp sound superimposed on the background noise due to the electrical network [4]. This experiment began a happy season that allowed Giulotto and his coworkers to rank among the world's leading groups in this field until the mid-1950s (Bonera & Rigamonti, 1988, p. 62).

At the beginning of the fifties, Caldirola put Giulotto in touch with Fausto Fumi (1924-2009), a theorist of Solid State. The project was to create a theoretical - experimental Solid State Physics research group. At the end of 1959, in addition to Fumi, Franco Bassani (theorist, 1929-2008) and Gianfranco Chiarotti (experimentalist, 1928-2017), also Paolo Camagni (experimentalist, 1931-2000), Mario Tosi (theorist, 1932-2015) and Vittorio Celli (theorist, 1936) were in Pavia. The project's failure - due to harsh personal conflicts between the two leaders – caused the scattering of the group. Bassani, Tosi, and Celli moved to the USA, Camagni to the Ispra Center, and Chiarotti (1962) to Messina. According to Chiarotti, the loss of this opportunity was compensated by the country's dissemination of Solid State Physics (Bonizzoni, 2002, p. 155).

The topics studied in Pavia were color centers in alkali-halides and, starting in 1960, semiconductors.[5] The research on color centers has proved less far-sighted than that on semiconductors. Indeed, although cleverly calibrated, Frederick Seitz's emphasis on this area of research (1946) needed to be more balanced. In 1960, color centers research focused on Chiarotti's idea of studying the X-ray production of color

[2] Giulotto's archive is available online at fisica.unipv.it

[3] fisica.unipv.it

[4] fisica.unipv.it

[5] Semiconductors were studied also in Rome (Istituto di Elettroacustica) by Daniele Sette (1918-2013) and his coworkers.

centers in KCl at low temperatures, including liquid helium. There were two challenging issues: mastering the cryogenic techniques starting from scratch and the need to operate in the UV region below 200 nm, i.e., in a vacuum. Chiarotti's goal revealed disproportionate in consideration of the available budget and the consequent necessity of self-training. These difficulties were overcome in about five years. After that, the research continued until the mid-seventies, with results of some interest (Falomo Bernarduzzi, Bevilacqua & Giuliani, 2020, pp. 435-436).

Chiarotti used a modulation technique for studying surface electron states in semiconductors. The energy of the surface states was modulated by applying an alternating electric field, and the light reflected from the surface was measured at the same frequency as the applied electric field, thus obtaining a high sensitivity. Andrea Frova (1937) systematically applied this new technique that became a standard procedure in studying surface electronic states, along with the modulation of the light wavelength (modulation spectroscopy) (Rossi, 2007, pp. 12-13).

On the theoretical side, Bassani and Celli significantly contributed to the band theory in semiconductors. A significant number of papers by Bassani, as those on the pseudo-potential developed with Celli and the collaboration with many foreign researchers, brought his name to the international community's attention. Indeed, Bassani's work trained the first generation of Italian theoretical physicists in solid state (Rossi, 2007, pp. 16-20).

3.3. Between Milan and Parma

The development of the Pavia group was accompanied by the formation of a theoretical-experimental research group in Milan: the leader was Roberto Fieschi (1928). At the end of the fifties, Fieschi, with Caldirola's support, ventured into the organization of an experimental research group on color centers in alkali-halides investigated with a multiple experimental approach: optical absorption, luminescence, thermoluminescence, and ionic conductivity. In 1964, Fieschi went to Parma with some of his coworkers. Fieschi, together with Andrea Levialdi (1911-1969), proposed the foundation of a CNR laboratory on the structure of matter. Its main characteristic - advocated by Levialdi - would have been the interweaving of cultural and professional skills of chemists and physicists. The laboratory will be built and, according to Fieschi, its ideal director would have been Levialdi who, unfortunately, succumbed to an incurable disease during a work trip to Cuba (1969).

3.4. Genoa

The Genova group developed around Giovanni Boato (1924-2009). Boato took the degree in Chemistry in 1946 (Genoa) and the degree in Physics in 1950 (Rome). In September 1952, Boato moved to Chicago, where he worked with Harold Urey, known in Rome through Amaldi. He returned to Italy in 1954, and, after a short stay in Rome, he moved to Genoa, invited by Ettore Pancini. In Rome, Boato became familiar with the low temperatures techniques and mass spectrometry (Giorgio Careri). In 1957, Boato attended the Varenna School on Solid State Physics organized by Fausto Fumi. "In Varenna, I came into contact for the first time with the wide range of problems of crystalline bodies, and I was lucky enough to meet some European and US top solid-state physicists" (Boato, 1988, p. 198). Back to Genova, Boato decided to open new research lines with his direct collaborators, including Giacinto Scoles and Carlo Rizzuto: transport properties of rare gases in solid state and superconductivity.

3.5. Pisa

Adriano Gozzini (1917-1994), alumnus of the *Scuola Normale Superiore*, graduated in Physics in 1940. Recalled to the arms immediately after graduation, he returned to Pisa in 1945. Using US military

material, he built a microwave laboratory. Meanwhile, Nello Carrara founded in Florence (1946) what, a year later, became the CNR Microwave Center.

After the retirement of Luigi Puccianti, Carrara was appointed as director of the Pisa institute. The research carried out by Gozzini's group gained international relevance over the years, as witnessed also by the names of some visitors: Alfred Kastler, Charles Hard Townes and Nicolaas Bloembergen. Kastler's interest was stimulated by Gozzini's work on the Faraday effect in paramagnetic substances in the microwaves region (1951), an effect predicted by Kastler himself. These magneto-optical effects were later intensively studied in many French and Russian laboratories. For the Pisa's institute, those were years of rapid and lively growth: Carrara was called to the chair of Fisica Superiore in Florence; Marcello Conversi to the chair of General Physics in Pisa; later, Luigi Radicati to the chair of Theoretical Physics and Giorgio Salvini to that of Fisica Superiore. In1960, Gozzini organized a Summer school on radio frequency spectroscopy in Varenna: "The Proceedings of the School are collected in a volume which has proved to be an extensively used textbook in the sixties, and even today it is still extremely useful" (Gozzini, 1988, p. 72).

3.6. Rome

Giorgio Careri (1922-2008) graduated in Industrial Engineering and Chemistry in Rome in December 1944, immediately after the city was liberated. After graduating, he refused a job offer and graduated in Physics (1946). Edoardo Amaldi asked Careri to build a mass spectrometer. "I had to build something I did not even know the name of". The construction of the spectrometer faced the typical difficulties of the years of reconstruction. The U.S. still considered the mass spectrometer a strategic material (until 1950): therefore, it was not possible to buy any components. Emilio Segre, violating a ban, brought from the U.S. a couple of resistors of 10^{12} Ω , necessary for the input circuit of the ions detector. Voltage stabilizers were not available. "We had to obtain the needed 200 V with batteries of accumulators abandoned by the U.S Army. Every night, some died, and early in the morning, we had to go hunting for those who had died during the night and replace them". In 1954, after the decision to build a 1.1 GeV synchrotron in Frascati, Amaldi appointed Careri as director of the cryogenic laboratory to merge the acquisition of cryogenic techniques with research in low-temperature Physics. The mass spectrometer was used to study chemical kinetics and geochemistry problems. The cryogenic techniques to study the diffusion coefficients in diluted mixtures of H_2-D_2 and ^{3}He-^{4}He, ions motion in liquid helium, and electrically charged vortices in liquid helium.

3.7. Palermo

The development of the physics of matter in Palermo is linked to the names of Ugo Palma (1027-2012) and Beatrice Vittorelli Palma (1930-2008). Ugo Palma graduated in Physics in Palermo in 1947; Beatrice Vittorelli four years later. The director of the Insitute of Physics was then Enrico Medi (1911-1974). His leadership was remembered by the Palma's as follows: "These [six years since the end of the war] had been blank years for the Istituto di Fisica, a delay difficult to overcome. All the worst, those years were perhaps crucial in preparing the future decision of Donato Palumbo and Gaetano Riccobono of leaving Palermo (Palma & Palma, 1988, p. 142)". The idea of acquiring the electronic paramagnetic resonance (ESR) technique came to Donato Palumbo. Only later, the small group became aware that the ESR technique could be widely used for the study of solid properties. The arrival in Palermo of Mariano Santangelo as director of the Institute marked a turning point: "He brought an atmosphere, previously unheard, of encouraging friendship, discussions and hard work. He made room for any activity or project to have a chance to progress. His presence opened a decade of great stability, instrumental to all further

developments (Palma & Palma, 1988, pp. 141-142)". In 1957, the Sicilian Region established and financed a Regional Committee for Physical research. The INFN was also involved with positive consequences for Palermo's group: six technicians and several research collaborations. With these funds, the group also bought a helium liquefier (1959), which allowed the acquisition of cryogenic techniques. The research topics developed in Palermo included: interactions between electronic and vibrational transitions in magnetic crystals; collective motions of protons in non-ferroelectric crystals; ion and electronic cascades in light-sensitive crystals; and electronic paramagnetic resonance of free radicals.

3.8. Physics of Matter at Ispra

At the end of 1957, the CNRN (National Committee for Nuclear Research, established in 1952), in agreement with Fumi and Giulotto favored the creation of a small group in Pavia with the prospect of transferring it to the new nuclear Center of Ispra. Paolo Camagni (1931-2000) coordinated the group and moved to Ispra in 1959. Camagni was joined by Adriano Manara and by Alfonso Merlini (1926-2014) who was entrusted with the group's direction. Camagni continued researching the production and the properties of defects in crystalline solids. Merlini's group studied the properties of solids with X-ray techniques. The difficulties associated with installing the new laboratories were accentuated by the decision (1959) to transform the Ispra's Center into a European Community facility. The research programs were revised immediately to adapt to the new institution's goals. The transformation of the Center into a European community structure has progressively reduced the role of the Solid State Physics Laboratory.

3.9. Solid State and neutron diffraction

Given the construction of the Ispra Center, the CNRN, on a proposal from Amaldi, decided to set up a research group to study the properties of solids with neutron diffraction. Initially (1957), Giuseppe Caglioti (1931), recalled by Argonne, Antonio Paoletti (1930-2019) and Francesco Paolo Ricci (1930-2000) were involved in the project. During the construction of the spectrometer and the installation of the reactor at Ispra, the members of the research team were sent to work for about twelve months in U.S. laboratories: Caglioti at Chalk River, Paoletti at Brookhaven and Ricci at MIT. When they returned to Italy, the projects had changed. The CNRN became CNEN, and the Ispra Center became a center of the European Community. The CNEN decided to set up its own research Center in Rome (at Casaccia): Caglioti and Ricci went to Ispra, while Paoletti went to Casaccia, where he developed the first European polarized neutrons spectrometer, which was used to study the magnetization density in metals and ferromagnetic alloys. The two groups became operational in 1960. However, The "Ippolito case", which upset the CNEN in 1963, negatively impacted these groups' activity.

4. Becoming an organized community

After the war, the reference points in Italy were the nuclear and cosmic rays physics, and the cultural heritage of Enrico Fermi and Bruno Rossi. Edoardo Amaldi worked to re-launch cosmic rays and nuclear physics research since the immediate post-war period. In 1951, he succeeded in establishing the National Nuclear Physics Institute (INFN) as a structure of coordination of three pre-existing CNR centers, thus putting the basis for direct funding by the State of Nuclear and Elementary Particle Physics. This goal was reached, step by step, in 1971 with the complete organizational autonomy of the INFN. These choices created an imbalance in the organization and funding of physical research in Italy and between physical research and other experimental disciplines. The physicists, who, for local contingencies or personal choices, were oriented toward what would later be called the Physics of Matter, devoid of solid cultural

and organizational references in the pre-war period, were forced to look abroad. The connections between physics of matter researchers were mainly indirect, through the Italian Physical Society (SIF) congresses and, later, through the schools of Varenna. In particular, the School of 1956, organized by Giulotto, that of the following year, organized by Fumi, and that of 1960, organized by Gozzini. The first institutional recognition of the Physics of Matter took place in 1961 with the introduction of the course "Struttura della Materia" (Structure of Matter). The process of institutionalization of the research started in the first sixties. It ended, apparently, in 1994 with the foundation of the INFM (National Institute for the Physics of Matter), financed directly by the government as it happened in 1971 for the INFN. Indeed, in 2003, the government of Mr. Berlusconi, without any wariness about the fate of a young research structure and its impact on a strategic research field, inserted the INFM into the restructured CNR, leaving outside the other two National Institutes (INFN, INAF) (Bonizzoni & Giuliani, 2002, pp. 22-34)[6].

5. Epilogue

The post-war period saw scientists, as well as many Italians, engaged in the process of reconstruction made dramatic by the war's devastation, the overall backwardness of the country, and its scientific structures. The progressive increase in the number of physicists, the raising of their professional profile, and the increasing research funding allowed the Italian community of physicists to enter entirely - in about two decades - within the wider international community.

Nowadays, scientific research depends on the country's productivity and the decision-maker's capacity to create a farsighted vision for future generations. Both these conditions are missing. Indeed, a country in which the education system is not considered the foundation of the future, a country from which young graduates migrate without their output flow being balanced, both quantitatively and qualitatively, a country where the average technological level of the industry is lagging, and the materials and equipment of the research laboratories come, to a considerable extent, from abroad; such a country and its scientific research is set to play an increasingly marginal role in the international context. This was certainly not the hope of the scientists who, after the material and moral devastation of the war, had taken up again with enthusiasm to "question Nature".

Acknowledgments

I would like to thank all who have contributed to the books and papers listed in the Bibliography.

Bibliography

Boato, G. (1988). "Experiments on liquid and solid inert gases and on superconductivity in Genoa", in Giuliani (1988), pp. 197-205.

Bonera, G. & Rigamonti, A. (1988). "Magnetic resonance spectroscopy in Pavia under Luigi Giulotto: 1945-1960", in Giuliani (1988), pp. 49-66.

Bonizzoni, I. (2002), "Le interviste", in Giuliani (2002), pp. 110-192.

Bonizzoni, I. & Giuliani G. (2002). "La nascita della fisica della materia: 1945-1960", in Giuliani (2002), pp. 1-34.

Falomo Bernarduzzi, L., Bevilacqua, F. & Giuliani, G. (2020). "La Facoltà di Scienze: la Fisica", in Mantovani D. (ed.), *Storia dell'Università di Pavia*, vol. 3: Il ventesimo secolo, tomo I.

[6] Table 1 on p. 24 shows two errors: the data in column 5 misses a zero, and the data in column 6 must be divided by ten.

Galdabini, S. & Giuliani G. (1988). “Physics in Italy between 1900 and 1940: the universities, physicists, funds, and research ”, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, pp. 115-136.

Giuliani, G. (ed.). (1988). *The Origins of Solid State Physics in Italy: 1945-1960*. Bologna: Editrice Compositori.

Giuliani, G. (1996), *Il Nuovo Cimento: novant’anni di Fisica in Italia, 1855-1945*. Pavia: La Goliardica Pavese.

Giuliani, G. (ed). (2002). *Per una storia della fisica italiana: 1945-1965. Fisica della materia, fisica teorica, insegnamento della fisica*, vol. I. Pavia: La Goliardica Pavese.

Gozzini, A. (1988). “Microwave physics in Pisa in the fifties”, in Giuliani (1988), pp. 67-76.

Marazzini, P. & Rossi, M. (2005). *Per una storia della fisica italiana: 1945-1965. La fisica dei semiconduttori*, vol. II. Pavia: La Goliardica Pavese.

Palma, U. & Palma, B. 1988). “Electron paramagnetic resonance in Palermo”, in Giuliani (1988), pp. 137-168.

Rossi, M. (2007). “The origin of semiconductor physics in Italy: 1945-1965”, *Quaderni di Storia della Fisica*, 14, pp. 1-23.

From Information to AI:
More Than 100 Years of Communication and Computation

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_8, pp. 67–78
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-8

Information transmission as artificial intelligence

Francesco Bianchini[1]

[1]University of Bologna, Bologna, francesco.bianchini@unibo.it.

Abstract: Artificial intelligence (AI) emerged from the convergence of several ideas and theories developed over a significant period in the first half of the twentieth century. Among these, information theory holds a prominent place, achieving its complete formulation with Claude Shannon in the 1940s. Shannon is considered one of the founding fathers of AI, being a key contributor to the 1956 Dartmouth seminar that officially launched the field. However, some aspects of this origin and the influence of information theory seem somewhat inconsistent from a broader perspective. Notably, information theory primarily deals with the transmission of signals rather than directly addressing the transmission of meaning, a key element of intelligence. At the same time, Nyquist's earlier work, which anticipated and facilitated the construction of a solid theory of information, concerned the transmission of intelligence, as per the author's terms. In my talk, I will attempt to trace the historical and theoretical connections between information theory and AI, exploring their mutual influence through the shared notion of "intelligence". I will demonstrate that while this shared usage does not signify a perfect conceptual overlap, it has nevertheless sparked numerous advancements in AI. These developments have far exceeded the initial expectations of those who first provided a technical and formal foundation for AI, and they have done so despite the great expectations generated in public opinion by early AI slogans.

Keywords: Artificial Intelligence, Communication Theory, Information, Transmission

1. Introduction

The history of artificial intelligence (AI) is a unique and complex discipline. Often, key aspects of AI's development cannot be fully understood by focusing solely on technical or theoretical milestones, nor by pinpointing specific moments in time. Much of AI's history is deeply rooted in theory and concerns periods before the concept of AI was even imagined or hypothesized. Furthermore, it requires addressing interdisciplinary questions, particularly those concerning theoretical frameworks from various fields. This blend of factors results in a diversity of ideas and methodologies, and given AI's relatively recent and rapid advancement compared to other scientific-technological disciplines, many relevant elements and their nuances have yet to be fully explored. The historical and theoretical evolution of AI, therefore, remains an area ripe for further investigation, offering insights into the epistemological present of the field while allowing for speculation on its future. The discovery of the artificial (Cordeschi, 2002) is, ultimately, a continuous rediscovery of the artificial – a perspective worth keeping in mind.

One of the major contributions to the development of AI is Information Theory, which reached maturity in the years leading up to AI's official inception. Less commonly known is the fact that the concept of transmitting intelligence had been explored at least two or three decades prior, within the research that culminated in Claude Shannon's complete formulation of information theory. Notably, some of Harry Nyquist's writings explicitly reference the transmission and communication of intelligence through technical systems. Recognizing the influence of information theory on AI highlights a fascinating bridge between these fields, especially when viewed from less traditional perspectives. This connection between information and intelligence offers a rich basis for further exploration, particularly as we seek

to understand this union in light of contemporary advancements in AI and the increasing pervasiveness of the information notion.

In this chapter I will explore concepts related to intelligence and theories of communication and transmission, examining both pre-AI perspectives and ideas from around the inception of the field. In section 2, I will discuss Harry Nyquist's insights on the transmission of intelligence, focusing on the particular notion of intelligence at play. In section 3, I will consider the transition from Nyquist to Shannon from their background perspective, showing the different influences they had in relation to their notion of intelligence. In section 4, I will review Claude Shannon's reflections on the mathematical theory of communication and its connection to intelligence and AI. Finally, in section 5, I will present final remarks on how the concept of intelligence transmission continues to shape the evolution and analysis of AI technologies.

2. Nyquist and the transmission of intelligence

The earliest connection between the concepts of transmission and intelligence does not emerge in Shannon's systematic and foundational work on communication theory but rather appears a couple of decades earlier in seminal writings on communication by Harry Nyquist. While interest in telecommunications began even earlier, with Guglielmo Marconi's pioneering studies, it was only in the mid-20th century that communication theory received formal mathematical systematization through Claude Shannon's work. Nonetheless, these intermediate steps remain fundamental and appear to be underexplored, as the focus has often centered on Shannon" theories and his parallel involvement in the early stages of AI—two intertwined yet distinct paths in his thought, as we will later discuss.

Harry Nyquist, an electrical engineer with a doctorate in physics, made significant contributions to this field in several of his writings from the 1920s, particularly in *Certain Factors Affecting Telegraph Speed* (1924) and *Certain Topics in Telegraph Transmission Theory* (1928). One of Nyquist's major achievements in these works is his formulation of the theorem stating that the maximum number of independent pulses that can be transmitted through a telegraph channel in a given time unit is limited to twice the channel's bandwidth. This result, later adopted by Shannon, eventually became known as the Nyquist–Shannon sampling theorem (or Whittaker-Nyquist–Shannon sampling theorem). More relevant to our discussion, however, is that Nyquist explicitly addresses the concept of "transmission of intelligence" in these works. Although this notion of intelligence differs from the one central to AI, certain elements, on which I will focus, decisively anticipate its development.

In his 1924 paper, Nyquist begins by addressing "two fundamental factors entering into the maximum speed of transmission of intelligence by telegraph" (Nyquist, 1924, p. 324). These two factors, signal shaping and code selection, are crucial in determining the speed of intelligence transmission. The selection of the optimal wave shape for the transmission medium aims to maximize transmission speed while minimizing interference, a common concern in telecommunications theory. Of particular interest for our purposes is the second focus of the paper, which centers on code selection. Nyquist links this directly to the speed of intelligence transmission. To support this, he introduces a formula that relates line speed to the number of used values:

> A formula will first be derived by means of which the speed of transmitting intelligence, using codes employing different numbers of current values, can be compared for a given line speed, *i.e.,* rate of sending of signal elements. Using this formula, it will then be shown that if the line speed can be kept constant and the number of current values increased, the rate of transmission of intelligence can be materially increased. (Nyquist, 1924, p. 332)

The formula Nyquist introduces to capture the relationship between transmission speed and the number of values used is:

$$W = K \log m \tag{2.1}$$

where W is the speed of transmission of intelligence, m denotes the number of discrete values or symbols used in the transmission, and k is a constant. This equation highlights the principle that increasing the diversity of symbols can enhance the transmission rate, provided the system can efficiently encode and decode these symbols.

Why is this formula interesting? It introduces an unconventional notion of "intelligence" in the context of information theory. As Nyquist describes it: "By the speed of transmission of intelligence is meant the number of characters, representing different letters, figures, etc., which can be transmitted in a given length of time assuming that the circuit transmits a given number of signal elements per unit time" (Nyquist, 1924, p. 332). This concept of intelligence, while distant from the one at the core of AI, is nonetheless related to it. Nyquist's formulation emphasizes a key aspect of information theory: the disregard for meaning. In this framework, what is transmitted is independent of the content or meaning of the message. Intelligence is reduced to the quantity of symbols and the rate at which they are transmitted, with speed explicitly tied to the volume of symbols.

Yet, it is precisely this connection with symbols that lends some legitimacy to referring to this as "intelligence". Nyquist appears to recognize, well before major advances in logic and computation theory, the deep link between intelligence and symbolic representation, even if his approach remains quantitative and indifferent to the symbols' meaning. This assumption, focused purely on the transmission rate and quantity of symbols, will later become a hallmark of Shannon's classical communication theory.

Using the proposed formula, Nyquist quantifies the amount of information that can be transmitted with a given number of signal elements based on the number of possible current values. This allows for a tabulated approach to explore how transmission speed can be increased as the number of current values grows:

Number of current values employed	**Relative amount of intelligence which can be transmitted with a given number of signal elements**
2	100
3	158
4	200
5	230
8	300
16	400

Tab. 1: possibilities of speeding up the transmission of intelligence (adapted from Nyquist, 1924, p. 333)

In broader terms, intelligence is defined quantitatively: as the number of current values increases, a greater number of signal elements can be transmitted. This operational definition aligns well with a discrete information transmission system. Additionally, it facilitates evaluating the optimal number of current values, balancing the benefit of transmitting more signal elements against the complexity introduced by increasing the current values:

> It should also be noted that whereas there is considerable advantage in a moderate increase in the number of current values, there is little advantage in going to a large number... If the line is subject to fluctuations so that the stronger currents at certain times become less in magnitude than the weaker currents at other times, it will be impossible to discriminate between the different current strengths making up the code, particularly if the fluctuations are rapid. (Nyquist, 1924, p. 333-335)

As the number of letters that can be transmitted increases, the speed of information transmission also rises, particularly when fewer signal elements are needed for each letter, due to a larger number of employed current values. However, increasing the number of current values yields diminishing returns, as illustrated in Table 1, and introduces technical risks, such as fluctuations that blur distinctions between current levels, interference, and limitations on usable power or voltage. Additionally, Nyquist states that "in general, whenever more than two current values are employed it is necessary to make the sending and receiving means more complicated and expensive" (Nyquist, 1924, p. 335).

Lastly, Nyquist's discussion of power, as it relates to intelligence in the closing section of his 1924 article, further clarifies the characteristics of the intelligence concept he uses. In evaluating other theories of information transmission via telegraphy and other means, Nyquist critiques certain unfounded assumptions, one being the idea that a waveform is ideally suited for both power and intelligence transmission. He argues this is inaccurate because "the transmission of intelligence inherently involves rapid and unpredictable changes in the current, whereas the transmission of power is best brought about by steady current, either direct or alternating. These two conditions are, of course, incompatible" (Nyquist, 1924, p. 340). This incompatibility underscores the fundamental distinction between power and intelligence. Since intelligence entails sudden and unpredictable shifts in current (enabled by the wave and its shape), whereas power is best transmitted through stable currents, intelligence emerges as qualitatively distinct from power. It is deeply intertwined with the unpredictability of signal changes and depends directly on the signal elements, indicating that intelligence is more an intrinsic aspect of the transmission process rather than merely something transmitted. This perspective anticipates a view of intelligence that aligns closely with the developments in artificial intelligence.

3. From Nyquist to Shannon: a different background

Although Nyquist and Shannon both built their work on similar foundational assumptions within the field of telecommunications, their different historical contexts shaped their approaches. The developments separating Nyquist's era from Shannon's are critical for understanding the transition toward a more comprehensive theory of information and the evolving role of the concept of intelligence. Despite these differences in background, notable continuities can be identified, not only in their contributions to information theory but also in their treatment of the notion of intelligence.

At the time of Nyquist, what was already known, his "past" and the groundwork for his contributions, had already been laid by earlier developments in radio and wireless transmission, most notably those of Guglielmo Marconi. While Marconi's innovations lacked a comprehensive mathematical framework, they paved the way for advancements that Shannon would later formalize into a general theory of information. Additionally, in the Anglo-Saxon world, particularly in the context of military practices, signal intelligence was already a well-established field. This involved the interception of telecommunications signals to gather data and infer enemy plans, a practice refined during the First World War (Winkler, 2009). While this use of "intelligence" differed from its broader conceptualizations, it nonetheless engaged with symbolic elements such as signals, codes, and codebreaking.

Simultaneously, the notion of intelligence was gaining prominence in other domains, particularly in psychology, where it was understood either as measurable through intelligence tests or as a set of diverse cognitive abilities applicable to various tasks. Perhaps even more influential, however, was the ongoing international debate surrounding the foundations of mathematics, spearheaded by Hilbert's program. This movement sought to establish a firm axiomatic basis for all mathematics, reflecting a period of great confidence in logic and formal systems. The elements of mathematical logic, which George Boole had earlier described as the "laws of thought", remained central to this intellectual climate. These converging

elements - information, intelligence testing, and logical "laws of thought" - likely informed Nyquist's conceptualization of intelligence as he began to work on the problem of intelligence transmission.

What Nyquist could not yet foresee - his "future", available instead to Shannon - was a series of developments that would later prove pivotal for the emergence of AI. Among these was Gödel's Incompleteness Theorems of 1931, which dealt a critical blow to the ambitions of Hilbert's program. Gödel demonstrated that any formal system expressive enough to include arithmetic is inherently incomplete and that its consistency cannot be proven within itself. These results sparked widespread debate and introduced significant challenges in logic and mathematics, particularly concerning the reliability of mathematics and computation.

A key question that arose from Gödel's findings was: given these limitations, what functions can actually be computed within such systems? This problem eventually led to a groundbreaking solution, most famously articulated by Alan Turing in his 1936-1937 theory of computation. Turing showed that not all functions are computable; only those that can be computed by a Turing Machine, a theoretical device capable of mechanically executing a set of algorithmic instructions, fall within this scope. This concept of computation laid the groundwork for modern computer science and the eventual development of AI. The Turing thesis (or more precisely, the Church-Turing thesis, named also after Alonzo Church, who provided an equivalent formulation) is not a proven theorem but rather an accepted hypothesis due to the absence of counterexamples. It asserts that any function that can be computed algorithmically is computable by a Turing machine. While this is not the place to explore the topic in detail, it is worth emphasizing that the concept of intelligence underlying Turing's work, foundational to theoretical computer science, is rooted in the idea of a mechanical calculator or "computer", which could also describe a human performing similar tasks mechanically.

Turing reflected on these topics extensively, eventually formulating one of the foundational questions of AI: the question of "thinking machines" (Turing, 1950), or machines capable of demonstrating a form of intelligence (particularly through linguistic interaction). Two key elements emerge from his work. First, Turing revolutionized the concept of intelligence and thought, advocating for a mechanical understanding that could encompass all their aspects. He did so even before the formal emergence of AI, positioning himself as one of its most pivotal precursors. Second, Turing's expertise extended to codebreaking. During World War II, he worked at Bletchley Park, where he contributed to breaking the German Enigma code. To achieve this, Turing and Gordon Welchman developed "bombes", electromechanical devices designed to decrypt these codes. Furthermore, the first digital computers developed within two decades after Nyquist's groundbreaking work. They were electromechanical machines, such as the Z3 and Z4, or in other cases, like Colossus and ENIAC, were fully electronic. These early machines were eventually succeeded by the first computers capable of storing programs, marking the transition to modern computing.

Nyquist was unaware of many of these developments, and his background was far from the fields of theoretical and applied computer science, let alone the nascent field of AI. The idea of embedding intelligence in machines was entirely foreign to Nyquist's cultural and intellectual milieu – unlike Shannon, whose work laid foundational principles for AI. Nevertheless, we can identify key areas of overlap between their contributions. Both Nyquist and Shannon focused on signals and the theory and practice of transmission. Signals inherently involve a kind of symbolism, which, as we will see, takes on a more explicitly mathematical meaning in Shannon's work. Both also operated in a domain where coding played a central role – not just in transmitting information, but also in the context of wartime codebreaking, an activity deeply tied to decoding processes. Given these shared interests and overlapping elements, despite their differing backgrounds, one might reasonably expect them to have arrived at a somewhat similar notion of intelligence. However, as we shall see, this hypothesis is ultimately disproven. In this

divergence in their conceptualizations, one could find significant implications for the future development of AI.

4. The intelligence of Shannon

Claude Shannon systematically addresses the problem of information transmission by proposing a comprehensive mathematical framework in his seminal essay *A Mathematical Theory of Communication* (Shannon, 1948). Three elements from the essay are particularly relevant to our discussion: first, the issue of *measuring* information in communication; second, the emphasis on *transmitting* information; and third, the notable absence – or near absence – of any reference to *intelligence*. After all this is consistent with Shannon explicitly stating in the introduction that, while the messages being communicated often carry meaning, the semantic aspects of communication are irrelevant to the field of communication engineering (Boden, 2006). In other words, the meaning of a message is considered extraneous to the problem at hand: its successful transmission.

> The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point. Frequently the messages have *meaning*; that is they refer to or are correlated according to some system with certain physical or conceptual entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem. The significant aspect is that the actual message is one *selected from a set* of possible messages. (Shannon, 1948, p. 379)

Regarding the question of measurement, Shannon begins by addressing the possibility of treating information quantitatively. This foundational inquiry underpins the subsequent mathematical treatment of communication and is encapsulated in his pivotal question: "Can we define a quantity which will measure, in some sense, how much information is 'produced' by such a process, or better, at what rate information is produced?" (Shannon, 1948, p. 389). Shannon's mathematical formalization of information measurement ultimately leads to his well-known endorsement of the binary code as an effective system for transmitting information. This two-valued code aligns closely with the proposal previously advanced by Nyquist, who had argued for its efficiency in communication systems:

> In such a case one can construct a fairly good coding of the message on a 0, 1 channel by sending a special sequence, say 0000, for the infrequent symbol *A* and then a sequence indicating the *number* of *B*'s following it. This could be indicated by the binary representation with all numbers containing the special sequence deleted. All numbers up to 16 are represented as usual; 16 is represented by the next binary number after 16 which does not contain four zeros, namely 17 10001, etc. (Shannon, 1948, p. 398)

Binary digits would later play a crucial role in establishing the standard for digital computers, which served as the practical implementation of the Universal Turing Machine (Turing, 1936). These digits permeate computer science broadly, including AI, particularly in its quest to emulate certain aspects of brain function through algorithms and programs capable of exhibiting some sort of intelligent behavior. The parallel between digital electronic computers and the brain arises from their shared foundation in binary processing. The brain, like a computer, can be conceptualized as operating with binary circuits, based on the fundamental observation that a neuron either fires or does not fire. This insight underpins the view that the brain too, not just the mind, functions as a computational organ. It also forms the basis for the development of early artificial neural network prototypes, as exemplified in the seminal work of McCulloch and Pitts (1943).

In connection with the simulation of neurons, another foundational aspect of the development of neural networks - particularly the contemporary models that have been prominent since the 1980s (Rumelhart *et al.*, 1986) - is already anticipated in a structured manner within Shannon's theory: the issue of coding. As we have seen, this theme was already present in Nyquist's work, as it is fundamental to

the transmission of information via symbolic systems. In Shannon's formulation, the concept of coding takes on characteristics that would later become central to neural networks. Specifically, neural networks can be understood as systems for information transmission, where incoming data must first be encoded and then decoded at the conclusion of the transmission process. This principle mirrors the mechanisms underlying modern neural networks, highlighting their dual role as computational models and information processing systems.

> We have yet to represent mathematically the operations performed by the transmitter and receiver in encoding and decoding the information. Either of these will be called a discrete transducer. The input to the transducer is a sequence of input symbols and its output a sequence of output symbols. The transducer may have an internal memory so that its output depends not only on the present input symbol but also on the past history. (Shannon, 1948, p. 394)

The fact that neural networks serve a dual purpose - as computational models of brain processes and as information-processing systems - often overshadows an important aspect: the mathematical and stochastic nature of information processing involves the transmission of information within the network. This concept was central to the field of cybernetics during the period when Shannon developed his mathematical theory of communication. This often-overlooked fact - that neural networks also function as information transmission systems (Herzog *et al.*, 2008) highlights the parallels between neural networks and systems of information transmission, including the brain itself. Within this framework, two key points emerge: the shared absence of inherent meaning in transmitted signals and the critical importance of encoding and decoding processes, which correspond to input and output functions. Such coding-related processes have become especially significant in the development of generative AI models, particularly large language models. In these systems, encoding, decoding, and autoencoding mechanisms underpin their impressive linguistic capabilities, enabling the high performance for which these models are now widely recognized (Vaswani *et al.*, 2017).

Another critical element that closely connects neural networks with information transmission systems is their treatment of noise, a further topic explicitly addressed by Shannon in his seminal 1948 paper. In telecommunications, noise interferes with messages, obstructing their accurate reconstruction during reception. Shannon proposed methods to mitigate noise and reduce uncertainty in transmission: "if the channel is noisy, it is not in general possible to reconstruct the original message or the transmitted signal with *certainty* by any operation on the received signal E. There are, however, ways of transmitting the information which are optimal in combating noise" (Shannon, 1948, p. 399). A similar approach to noise treatment is applied in deep neural networks to enhance their performance as the amount of information processed, i.e. transmitted within them, increases (Semenova *et al.*, 2022).

A notable aspect of Shannon's seminal 1948 paper is the absence of any reference to the concept of intelligence. This omission seems to mark a departure from Nyquist's earlier work, suggesting that the evolution from Nyquist to Shannon resulted in the deliberate exclusion of intelligence from the theory of communication. In his paper, Shannon mentions *intelligibility* only as a criterion for evaluating the likelihood of misinterpreting words by the recipient of a message[1] . However, this notion of intelligibility is distinct from the concept of intelligence and bears no direct relation to it.

Shannon was certainly not opposed to the concept of intelligence or its application in scientific and practical domains. In fact, he was one of the four organizers of the 1956 Dartmouth Seminar, widely regarded as the founding event of AI (McCarthy *et al.*, 1995). This seminar outlined key problems and areas of application for AI, including:

[1] "The structure of the ear and brain determine implicitly an evaluation, or rather a number of evaluations, appropriate in the case of speech or music transmission. There is, for example, an "intelligibility" criterion [referred to] the incorrectly interpreted words when message $x(t)$ is received as $y(t)$" (Shannon, 1948, p.428).

1. Automatic computers
2. How a computer can be programmed to use language
3. Neuron nets
4. The theory of computational complexity
5. Self-improvement
6. Abstractions
7. Randomness and creativity

Topics 3 (neuron nets) and 4 (computational complexity) seem particularly aligned with Shannon's interests. However, this raises an intriguing question: why is Shannon considered one of the founding fathers of AI when the concept of intelligence was conspicuously absent from his mathematical treatment of communication theory?

Shannon played a pivotal role in the foundational stages of AI, as highlighted in the text of the proposal. This was due to his groundbreaking work in information theory, his interest in learning machines, and his co-editorship with John McCarthy of *Automata Studies*, a volume in *Annals of Mathematical Studies*[2]. In the early 1950s, Shannon developed chess-playing programs and constructed the Theseus Machine, a mechanical mouse capable of navigating a maze and learning (on the basis of many relays) the route to the exit through trial and error. These contributions placed Shannon at the forefront of the emerging field of research that would later be named "artificial intelligence". Even before the term itself was coined, this field focused on leveraging newly invented calculators to perform tasks traditionally associated with human intelligence (Cordeschi, 2007). Interestingly, and consistent with Shannon's approach to communication theory, the word *intelligence* is notably absent even in his seminal 1950 paper on chess and computers (Shannon, 1950).

The absence of the term *intelligence* does not diminish Shannon's role in the foundation of AI. Instead, it highlights how the focus of early research centered on nascent computers and thinking (to borrow from Turing's conceptual framework) was not on intelligence as a whole, but rather on its specific components: reasoning, language, memory, and learning. Information theory was already recognized as integral to these studies. In the Dartmouth proposal, Shannon outlined two primary research directions: exploring the approach to automata by modeling the relationship between the environment and the brain; and applying concepts from information theory to computing machines and brain models. Regarding the first theme, which was the second one he proposed, Shannon referred to *mechanized intelligence* signaling that the time had come to tackle the problem of artificial systems through the lens of intelligence:

> Often in discussing mechanized intelligence, we think of machines performing the most advanced human thought activities – proving theorems, writing music, or playing chess. I am proposing here to start at the simple and when the environment is neither hostile (merely indifferent) nor complex, and to work up through a series of easy stages in the direction of these advanced activities (McCarthy *et al.*, 1995).

Regarding the first topic – the application of concepts from information theory to computing machines and brain models, a field in which Shannon was undoubtedly most renowned – it is particularly noteworthy that he begins with the question of information transmission and progresses toward the concept of information theory networks. In these networks, the flow – the transmission – of information is not linear but instead complex and loop-based. This transition directly connects the idea of information transmission to the concept of (neural) networks, which are capable of modeling aspects of brain function:

[2] "C. E. Shannon, Mathematician, Bell Telephone Laboratories. Shannon developed the statistical theory of information, the application of propositional calculus to switching circuits, and has results on the efficient synthesis of switching circuits, the design of machines that learn, cryptography, and the theory of Turing machines. He and J. McCarthy are co-editing an *Annals of Mathematics Study* on "The Theory of Automata" ". (McCarthy *et al.*, 1995)

> A basic problem in information theory is that of *transmitting information* reliably over a noisy channel. An analogous problem in computing machines is that of reliable computing using unreliable elements. This problem has been studied by von Neumann for Sheffer stroke elements and by Shannon and Moore for relays, but there are still many open questions. The problem for several elements, the development of concepts similar to channel capacity, the sharper analysis of upper and lower bounds on the required redundancy, etc. are among the important issues. Another question deals with the theory of information networks where information *flows* in many closed loops (as contrasted with the simple one-way channel usually considered in communication theory). Questions of delay become very important in the closed loop case, and a whole new approach seems necessary. This would probably involve concepts such as partial entropies when a part of the past history of a message ensemble is known. (McCarthy *et al.*, 1995)

It is interesting to observe how Shannon connects the artificial modeling of the brain to the concept of information, even though information alone seems to be not enough. What must be taken into account is the dynamic process of *information transmission*.

Retracing Shannon's path, we can affirm that information theory, as expanded in the book co-authored with Weaver the following year (Shannon & Weaver, 1949), is pivotal for understanding information systems - both artificial systems, such as computers, and intelligent natural systems, including humans and animals, as viewed through the lens of cybernetics. Moreover, "information devices", such as computers, represent our most advanced tools for simulating natural information systems. The shared conceptual foundation for these endeavors lies not merely in the concept of information itself but in the notion of *information transmission*. Shannon's groundbreaking contributions to the mathematical standardization and modeling of information theory were essential for establishing a science of the artificial, one that conceptualizes intelligent systems as information transmission systems. This work laid the groundwork for developments that were unimaginable at the time, even if, as we have seen, somehow Shannon mentioned them.

5. Conclusion: Shannon, Nyquist, and the symbol problem

The history of AI frequently emphasizes the significance of Shannon's contributions to information theory (Cordeschi, 2002; Boden, 2006). While some authors give less attention to the role of information theory, they highlight other equally important aspects of Shannon's intellectual legacy. For instance, as early as 1937, in his thesis at Yale University, Shannon demonstrated that binary arithmetic and Boolean algebra could simplify telephone switching circuits and, conversely, that such circuits could perform Boolean operations – a breakthrough that proved fundamental for computer design (Nilsson, 2010).

From a more contextual perspective, one might note that Shannon's contribution to the founding of AI was perhaps driven more by his interest in developing programs capable of playing chess and his maze-solving mechanical mouse system. Nonetheless, Shannon's ideas on information became pervasive across fields like computer science and psychology. This is evident in approaches such as information-processing psychology (IPP), where the concept of information flow is central. Furthermore, information remains foundational in contemporary theories on consciousness, such as Chalmers' work on consciousness and Tononi's Integrated Information Theory (IIT).

It is important to remember that, according to Shannon, information primarily referred to its transmission, independent of meaning – an aspect that seems to distance his work from the early developments in AI, which were highly symbolic and less mathematical in focus. Nonetheless, information has remained a central concept in the framework connecting computers and brains. This connection is grounded in the idea that, before being systems of information processing, both are fundamentally systems of information transmission. This transmission occurs according to specific rules and yields significant outcomes, one of which is intelligence. In these systems – whether computers or brains – the transmission of information

effectively becomes the transmission of intelligence, which brings us back to what could be described as the "Nyquist symbol problem".

Nyquist's problem focused on increasing the speed of information transmission in telecommunication systems. He recognized that information, through the careful selection of signals, could be seen as imbued with intelligence, as the optimal choice of signals was linked to the most effective capacity for transmitting symbols. Modern, advanced neural networks are algorithms capable of processing vast quantities of data. In fact, they remain systems in which information is transmitted after being encoded and before being decoded. In the future, it might become possible to determine, in a more precise, explainable, and ultimately symbolic manner, the nature of the information transmitted and processed by these networks. Such advancements could revisit and build upon Nyquist's insights, viewing this transmission as a transfer of intelligence.

Acknowledgments

I would like to extend my thanks to Flavia Marcacci for her excellent suggestion regarding the topic addressed in this chapter and for the numerous fruitful discussions that greatly enriched this work.

Bibliography

Boden, M. (2006). *Mind as Machine: a History of Cognitive Science*. Oxford: Clarendon Press.

Cordeschi, R. (2002). *The Discovery of the Artificial*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Cordeschi, R. (2007). "AI turns fifty: revisiting its origins", *Applied Artificial Intelligence*, 21(4–5), pp. 259–279.

Herzog, A. *et al.* (2008), "Information transmission between recurrent neural networks by sparsely electrical connections", *BMC Neuroscience*, 9(Suppl 1), P17.

McCarthy, J. *et al.* (1995). *A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence*. Available at jmc.stanford.edu (accessed 16 November 2024).

McCulloch, W. & Pitts, W. (1943). "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, pp. 115-133.

Nilsson, N. J. (2010). *The Quest for Artificial Intelligence: a History of Ideas and Achievements*. Cambridge: Cambridge University Press.

Nyquist, H. (1924). "Certain factors affecting telegraph speed", *The Bell System Technical Journal*, 3(2), pp. 324-346.

Nyquist, H. (1928). "Certain Topics in Telegraph Transmission Theory", *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 47(2), pp. 617-644.

Rumelhart, D. E., McClelland, J. L. & the PDP Research Group (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Cambridge: MIT Press.

Semenova, N., Larger, L. & Brunner, D. (2022). "Understanding and mitigating noise in trained deep neural networks", *Neural Networks*, 146, pp. 151-160.

Shannon, C.E. (1948). "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, 27(3), pp. 379-423.

Shannon, C.E. (1950). "XII. Programming a computer for playing chess", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(314), pp. 256–275.

Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Champaign: University of Illinois Press.

Turing, A.M. (1936). "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem", *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42(1), pp. 230–265.

Turing, A.M. (1950). "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, 59, pp. 433–460.

Vaswani, A. *et al.* (2017). "Attention is all you need", in *Proceedings of 31^{s}t International Conference on Neural Information Processing Systems*, Red Hook: Curran Associates, pp. 6000-6010.

Winkler, J.R. (2009). "Information Warfare in World War I", *The Journal of Military History*, 73, pp. 845-867.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_9, pp. 79–88
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-9

L'arte della comunicazione: dalla teoria dell'informazione allo Shannon-Fano Code

Benedetta Campanile[1]

[1]Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, benedetta.campanile@uniba.it.

Abstract: A sincere friendship began between the Italian-American Robert Fano and Claude Shannon around a common theory, which had as its object Information as a representation of thought and a measurable object of communication. Shannon published his *A Mathematical Theory of Communication* in 1948, while Fano published *The Transmission of Information* a few months later in 1949. Fano and Shannon together conceived an advantageous technique for generating uniquely decodable codes to solve information transmission problems in noisy channels. Around the concepts of information, entropy, noisy channel, transmission codes, a group of researchers led by Robert Fano was created at the Massachusetts Institute of Technology and laid the foundations for the establishment of the MIT Computer Science & Artificial Intelligence Laboratory.

Keywords: Theory of Communication, Shannon-Fano Code, Information.

1. Comunicazione tra elettricità ed elettromagnetismo

Il contributo scientifico alla teoria della comunicazione rappresenta l'aspetto pubblico della grande amicizia e della sincera stima che nacquero tra l'ingegnere elettrico italo-americano Robert Fano (Torino, 1917-Naples, Florida, 2016) e il matematico Claude Shannon (1916-2001) (Rus, 2019, pp. 95-98; Campanile, 2019, p. 96). Il legame fu innescato dagli studi sui sistemi di comunicazione, che portarono entrambi gli scienziati a formalizzare, in modo differente, un metodo per misurare la quantità di intelligence o informazione trasmessa da un canale. Dai primi del Novecento, infatti, quest'ultima aveva assunto un valore economico, perché i nuovi sistemi elettrici – telegrafo, radio, televisione –, consentivano di trasmettere a distanze sempre maggiori ed era diventata vitale per le comunicazioni aeree. A differenza dei loro predecessori, Fano e Shannon affrontarono questa misurazione non come un miglioramento tecnico, ma come una sfida teorica da vincere con le armi della scienza a loro familiari.

1.1. Dall'elettromagnetismo alla teoria dell'informazione

Robert Fano ricordava sempre nelle sue interviste che, appena laureato al Massachusetts Institute of Technology (MIT), cioè dal 1941, esule ebreo dall'Italia fascista, si trovò a insegnare gli argomenti di elettricità ed elettromagnetismo che lui stesso stava ancora imparando come ingegnere elettrico (Norberg, 1989; Campanile, 2013; Verdù, 2013). Infatti, il MIT, in linea con la sua mission, "Mens et Manus", erogava corsi di formazione secondo il programma governativo "Engineering, Science, and Management War Training", per tecnici specializzati, che sarebbero stati arruolati nell'Army e nell'industria di guerra, come esperti nell'uso delle nuove tecnologie belliche.

Dopo aver conseguito il Master in Ingegneria Elettrica del MIT e con una profonda esperienza di ricerca su radar e microonde nel Radiation Lab, Fano si interessò agli studi sulla misurazione dell'informazione incuriosito dalle incursioni nel suo studio del vicino di stanza, il matematico Norbert Wiener (1894-1964) (Fano, 1961, p. vii). Quest'ultimo entrava negli studi dei colleghi esclamando "Information is Entropy!" e

ne usciva senza dare spiegazioni (Verdù, 2013, p. 7). Il termine "entropia" non era completamente nuovo per chi, come avrebbe fatto osservare Shannon (Shannon, 1948, p. 393), era familiare con la seconda legge della termodinamica (principio di Boltzmann), ma era difficile applicarlo all'informazione. Un metodo di misurazione dell'informazione era stato già proposto da Ralph Hartley (1988-1970) in *Transmission of Information*, nel 1928, per i Bell Labs, e un altro era stato presentato al MIT, nel 1948, nella tesi di W. Tuller, *Theoretical Limitations on the Rate of Transmission of Information*, ma non avevano un impianto teorico solido e utilizzabile praticamente (Fano, 1961, p. 6).

L'ingegnere elettrico continuava a interrogarsi sul perché Wiener ripetesse quella frase. La risposta si palesò nella sua mente una mattina di marzo del 1948. Nel tragitto verso la stazione, in partenza per New York, infatti, egli realizzò che "la relazione tra entropia e informazione poteva dipendere dalla rappresentazione binaria dei messaggi" (Verdù, 2013, p. 7). Fano era diretto alla riunione annuale dell'Institute of Radio Engineers (IRE), oggi Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), dove, tra l'altro, avrebbe potuto incrociare Claude Shannon, il quale, secondo indiscrezioni del MIT, stava sviluppando una sorta di teoria della comunicazione. Il matematico, all'epoca ricercatore dei Bell Labs, era noto al MIT per la sua tesi di Master dalla quale era scaturito un metodo per usare la logica binaria di Boole per descrivere e progettare i circuiti a commutazione (Campanile, 2016, pp. 88-89).

Alla convention di New York, Robert si presentò a Shannon e ottenne di incontrarlo nonostante la nota riservatezza del matematico. Il giorno successivo, nel quartiere di ricerca dei Bell Lab a Murray Hill, l'ingegnere espose le sue considerazioni e impressionò positivamente il suo interlocutore. Scaturì da questo incontro l'ammissione che i loro risultati erano analoghi e nacque una reciproca ammirazione, riflessa, poi, anche nell'articolo di Shannon, sollecitato da Fano (Verdù, 2013, p. 7).

Shannon pubblicò *The Mathematical Theory of Information* a luglio del 1948. L'articolo apparve subito come una vera e propria teoria, con due teoremi che definivano i limiti per la rappresentazione e la trasmissione affidabile di informazione in un canale caratterizzato da presenza di rumore. Essi costituivano i fondamenti per il dimensionamento dell'architettura dei futuri sistemi di comunicazione e avrebbero modificato il modo di impostare la soluzione dei problemi di trasmissione dell'epoca. Infatti, la corretta ricezione dei segnali era spesso compromessa da disturbi dovuti a interferenze sulle linee telefoniche in rame oppure al rumore d'ambiente nelle trasmissioni radio aeree. Per aggirare il problema, l'emittente ricorreva spesso a costose soluzioni, come il reinvio più volte dello stesso messaggio.

Entrambi gli studiosi avevano compreso che la probabilità di ricevere correttamente un qualsiasi messaggio era connessa all'incertezza dovuta alla presenza di rumore nel canale e ne calcolarono il valore ricorrendo alla funzione distribuzione di probabilità. Questa impostazione matematica scelta da Shannon, spiegava Fano, era poco familiare agli ingegneri dell'epoca ed era giustificata dalla sua convinzione che i concetti matematici servissero a dare struttura e maggiore comprensione a quasi tutto (Chiu *et al.*, 2001, 20). Una visione che anche Robert condivideva, pur avendo ancora molto da imparare (Verdù, 2013, p. 7). La nuova teoria stravolgeva i convincimenti precedenti e cioè che per far arrivare correttamente un messaggio al suo destinatario bisognasse aumentare la potenza del canale o inviare consecutivamente lo stesso messaggio. Essa dimostrava, invece, che era la capacità del canale a stabilire il limite massimo di informazione che si poteva inviare in maniera affidabile.

Oltre a dare agli ingegneri uno strumento teorico per la costruzione di sistemi di comunicazione nuovi e più efficienti, l'articolo di Shannon fissò una rappresentazione grafica del Modello di Sistema di Comunicazione che sarebbe entrata nell'immaginario collettivo come metafora dell'atto comunicativo, esplicitazione delle relazioni esistenti tra i componenti di tutti i sistemi di comunicazione, da quelli fisici a quelli biologici (Fig. 1). Con questa descrizione ogni componente del sistema poteva essere esaminato e analizzato nella sua funzione in maniera specifica per migliorarne non solo la progettazione ma anche la relazione rispetto agli altri elementi.

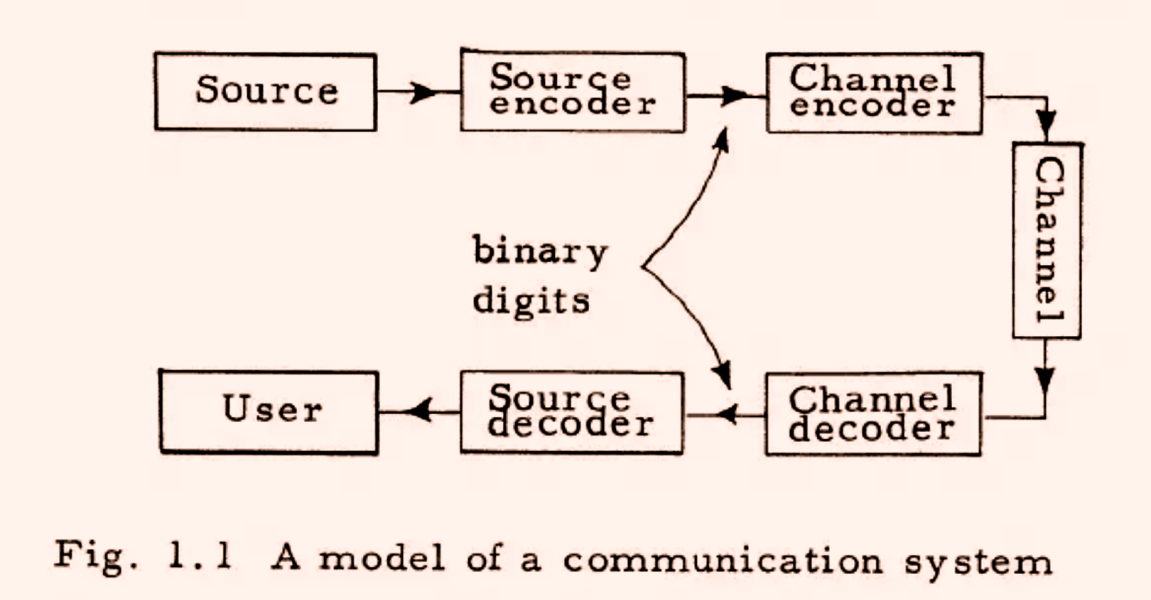


Fig. 1: Modello di un sistema di comunicazione (Fano, 1961, p. 2).

Alla diffusione di quest'immagine e allo sviluppo delle ricerche in diversi settori contribuì, però, la ripubblicazione dell'articolo a firma di Warren Weaver su "Scientific American", suggerita da Jerome Wiesner (1915-1994) con l'intento volutamente divulgativo. Weaver, matematico e responsabile delle ricerche della Rockefeller Foundation, non si limitò a spiegare la teoria di Shannon, ma la estese alla comunicazione umana, intendendo mostrare che quest'ultima comportava "tutti i modi in cui una mente può influenzarne un'altra" con un messaggio (Weaver, 1949, pp. 11-15). All'articolo, seguì il volume *A Mathematical Model of Communication*, 1949, scritto a quattro mani da Shannon e Weaver e il riscontro nella comunità scientifica si ampliò, coinvolgendo anche psicologi e linguisti.

2. The Trasmission of Information

A distanza di pochi mesi dall'articolo di Shannon anche Fano pubblicò i suoi risultati, *The Transmission of Information*, nella forma di due rapporti tecnici: Part I, *Technical Report n. 65*, il 17 marzo del 1949, e Part II, *Technical Report n. 149*, il 6 febbraio del 1950. La pubblicazione fu edita dal Research Laboratory of Electronics (RLE), il laboratorio che aveva ereditato l'attività e gran parte del personale del Rad Lab e nel quale ora Fano era incardinato. Il progetto, nello specifico, rientrava in un programma del MIT finanziato congiuntamente dall'Army Signal Corps, dal Navy Department (Office of Naval Research) e dall'Air Force (Air Materiel Command) (Fano, 1949).

Fondamentale, nel *Report n. 65*, era la definizione che Fano dava di unità d'informazione, intesa come selezione di una tra un numero N di scelte possibili con uguale probabilità di essere selezionate, che rappresentavano i possibili messaggi che il mittente poteva inviare e che il destinatario si aspettava di ricevere. Per determinare la quantità d'informazione corrispondente a tale selezione, Fano ipotizzava di ridurre la complessità dell'operazione a una serie di N selezioni elementari indipendenti. Allora, il numero richiesto di queste selezioni elementari sarebbe stato, per definizione, la misura in bit delle informazioni fornite da tale selezione di ordine N. Riducendo ulteriormente la complessità, ponendo N pari a potenze di due, allora si aveva il caso di un sistema basato su una codifica binaria dei messaggi (Fano, 1949, p. 4).

Una parte importante dell'articolo era dedicata alla procedura di ricodifica del messaggio per migliorare l'efficienza della trasmissione, riducendo, in media, il numero di cifre o impulsi necessari per trasmettere una sequenza di simboli di data lunghezza e dato carattere statistico. Infatti, generalmente

un messaggio era costituito da una lunga serie di selezioni indipendenti con uguali probabilità di scelta. In definitiva, Fano dimostrò che la quantità di informazione per una selezione binaria era funzione della probabilità delle altre scelte. In questo modo esplicitò il concetto di incertezza che legava l'informazione all'entropia e avvallò il ruolo fondamentale della statistica nella misurazione dell'informazione.

3. La disuguaglianza di Fano

Per un canale di comunicazione con rumore, la cosiddetta Disuguaglianza di Fano forniva una stima dell'errore di decodifica del simbolo inviato. L'entropia condizionata rappresentava il rumore presente nel canale di trasmissione, cioé misurava la quantità d'informazione media persa nel canale (la probabilità d'errore nella decodifica di un simbolo ricevuto). Ciò esprimeva il fatto che, ogni volta che si elaboravano dei dati, diminuiva la quantità di informazione trasmessa e che, secondo il teorema di Shannon, in un evento certo, la quantità di informazione trasmessa era zero. Ma la disuguaglianza di Fano portava a un risultato anche più generale, perché forniva un limite inferiore alla probabilità di errore dei test di ipotesi equiprobabili. Infatti, "se i messaggi da trasmettere attraverso il canale non erano equiprobabili ma generati da una sorgente con entropia, allora una comunicazione affidabile (vale a dire, probabilità di errore nullo) era impossibile" (Verdù, 1998, p. 2064). Da questo risultato seguì anche la dimostrazione del teorema inverso della codifica di canale, che Shannon non aveva fornito.

In definitiva, usando il "bit" come unità minima di informazione per codificare un messaggio, la trasmissione digitale aveva prodotto un grande vantaggio: anche in presenza di rumore nel canale di trasmissione il segnale digitale poteva facilmente essere ricostruito nella sua forma iniziale. Ma, secondo Fano, il secondo teorema

> faceva sperare in sviluppi ancora più importanti. Mi aspetto che uno sforzo considerevole sarà dedicato nel prossimo futuro all'analisi teorica dell'informazione dei sistemi di comunicazione che coinvolgono la propagazione ionosferica. Credo fermamente che questo lavoro porterà alla fine a una comunicazione a lunga distanza molto più affidabile insieme a un migliore utilizzo della banda di frequenza adatta a questi scopi. (Fano, 1954, p. 5)

Fano ricordava che in quel periodo l'attività dell'RLE era incentrata sul lavoro di Wiener sulla teoria della probabilità, *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series: With Engineering Applications* (1949) e che quei concetti circolavano già nel Rad Lab dal 1942, come classified report per la Section D2 del National Defense Research Committee, perché erano parte del lavoro di ricerca militare nell'ambito del miglioramento della comunicazione radar. Infatti, "combinando idee di statistica e analisi di serie temporali, Wiener ha utilizzato il metodo di Gauss per modellare la caratteristica di un rilevatore per consentire il riconoscimento massimo dei segnali in presenza di rumore. Questo metodo è diventato noto come 'Filtro di Wiener' " (Verdù, 2013, p. 7).

Parlando ai non esperti, Fano ci teneva a sottolineare, con il suo linguaggio diretto, che l'innovazione dell'approccio matematico era rilevante, perché aveva permesso di abbandonare il concetto classico di funzione continua, usato convenzionalmente per descrivere un segnale, e lo aveva sostituito con quello di funzione discontinua, come la funzione salto. In particolare, una funzione con due soli valori, 0 e 1, consentiva di stabilire un'analogia con il funzionamento logico dei circuiti a commutazione. Si stabiliva, così, che "la natura dell'informazione non era continua ma discreta" (Fano, 1949, p. 2).

In questo concetto stava tutta la transizione dell'arte della comunicazione, intesa come tecnica, in scienza. Infatti, da questo momento non si considerava più oggetto della trasmissione un'onda con frequenze diverse, ma un dato, che veniva convertito in segnale all'ingresso di un canale di trasmissione, e riconvertito in dato alla ricezione per consegnarlo al destinatario. Il codice utilizzato nella conversione determinava la velocità e l'affidabilità della transmission.

L'adozione del "bit", termine con il quale Shannon aveva familiarizzato nell'ambiente dei Bell Labs,

Messages	Probabilities	Code Words
u_1	0.25	0 0
u_2	0.25	0 1
u_3	0.125	1 0 0
u_4	0.125	1 0 1
u_5	0.0625	1 1 0 0
u_6	0.0625	1 1 0 1
u_7	0.0625	1 1 1 0
u_8	0.0625	1 1 1 1

Fig. 3.2. Optimum set of code words

Fig. 2: *Optimum set of code words* (Fano, 1959, p. 361).

fece sì che il concetto di digitale diventasse un'alternativa reale all'analogico. E questo cambiamento riguardò non solo la costruzione di strumenti di calcolo come i computer digitali, che sostituirono il modello analogico usato durante la guerra, cioè l'Analizzatore differenziale (1931) di Vannevar Bush. Esso coinvolse anche la progettazione e realizzazione dei sistemi di comunicazione, uniformando tra loro questi sistemi.

La nozione di discontinuità scardinò, così, l'egemonia del concetto di continuità, che aveva caratterizzato e dominato la cultura Vittoriana. Essa dette nuovo senso e valore a categorie come distanza e differenza, che potevano riferirsi all'ambito matematico ma anche a quello sociale e delle scienze naturali, se alla differenza tra valori numerici si sostituiva quella tra classi sociali o generi o razze o religioni. È interessante notare, infatti, che, nello stesso periodo in cui emergeva la teoria della informazione, stava iniziando a formarsi negli Stati Uniti d'America il movimento per l'emancipazione razziale, che avrebbe dato voce non solo alle rivendicazioni dei diritti dei neri ma anche a quelle delle tante minoranze, a partire dagli ebrei, che ancora subivano discriminazioni (Campanile, 2018, p. 367).

4. Shannon-Fano Coding

Shannon e Fano definirono due algoritmi di codifica della sorgente che facevano sostanzialmente la stessa cosa ma in modo diverso, pur risultando entrambi efficienti. Essi davano una descrizione efficiente di una sorgente discreta senza memoria, costruendo un codice a prefisso, basato su un insieme di simboli e sulle loro probabilità (stimate o misurate). La caratteristica di univoca decifrabilità garantiva che il decodificatore potesse riconoscere correttamente le stringhe di simboli codificati. Il principio era creare parole codice più corte per i simboli che ricorrevano con maggior frequenza, come descritto nella tabella (Fig. 2). Nonostante fossero diversi, entrambi gli schemi furono identificati con il nome congiunto "Shannon-Fano Coding". Si trattò, in primo luogo, di una confusione indotta dal fatto che nella discussione del suo schema di codifica Shannon menzionò quello di Fano e lo definì "sostanzialmente lo stesso" (Shannon, 1948, p. 17). In secondo luogo, i due algoritmi avevano prestazioni simili. I codici

generati non raggiungevano sempre la lunghezza minima possibile per le parole codice previste, ma si mantenevano comunque entro 1 bit dal valore ottimale. Il metodo di Fano di solito produceva una codifica con lunghezze previste più brevi rispetto a quello di Shannon, mentre quest'ultimo aveva il vantaggio di essere più facile da analizzare teoricamente (Krajči *et al.*, 2015, pp. 1746-1750).

Dopo il lavoro di Shannon *Communication in the presence of noise*, pubblicato nei "Proceedings of the IRE" del 1949, nel quale l'autore, tra l'altro, dimostrò il teorema del campionamento, le reazioni alla teoria da parte degli ingegneri della comunicazione furono in alcuni casi molto forti e contrarie alla sua accettazione. Esse mirarono a provare, senza successo, che si poteva migliorare l'efficienza della trasmissione riducendo la larghezza di banda. Nella direzione della teoria di Shannon si mossero molti altri e tra gli anni '50 e '60 si ebbe un significativo sviluppo di ricerche sui codici per aumentare l'efficienza di trasmissione e ridurre la probabilità di errore in un dato canale (Pierce, 1973, pp. 6-7). L'interesse per la teoria in ambito ingegneristico fu suggellato dalla nascita, nel 1953, del gruppo professionale di ingegneri elettrici "Group on Information Theory", creato dall'Institute of Radio Engineers, il cui organo d'informazione divenne l'*Information and Control Journal*, che iniziò le pubblicazioni nel 1958 (Gilbert, 1966, p. 152).

Shannon e Fano, insieme ai colleghi nei centri di ricerca dei Bell Telephone Labs e del MIT, tra i quali P. Elias, R. G. Gallager, E. N. Gilbert, R. W. Hamming, I. M. Jacobs, B. Reiffen, D. Slepian e J. M. Wozencraft e i più giovani G. D. Forney e Elwyn Berlekamp, si concentrarono sui codici a blocchi lunghi e sui codici a correzione di errore. Dopo un decennio di lavori molto fruttuosi, il volume di Robert G. Gallager, *Information theory and reliable communication, 1968* e i due articoli *Lower bounds to error probability for coding on discrete memoryless channels I e II*, a firma di Shannon, Gallager e Berlekamp, rappresentarono una sorta di compendio dei risultati raggiunti.

5. La didattica della teoria dell'informazione

Il decennio dal 1951 al 1961 fu caratterizzato anche dai primi corsi al MIT di "Transmission of information" (course cod. 6.574, 1951), che ebbero come istruttori Fano e Gallager. Fano vantava di aver reclutato nella didattica del MIT l'amico Shannon, (course cod. 6575, "Advanced Topics in Information Theory", 1956), ma quest'ultimo non amava svolgere questa attività con regolarità, perché preferiva organizzare seminari o conferenze sulle tematiche della teoria e del coding, che riscuotevano grande successo (Guizzo, 2003, pp. 59-60). Fano, al contrario, nonostante la nomina a capo del Radar Technique Group, che svolgeva ricerche sulla comunicazione aerea, iniziò a insegnare con grande passione e tenne il corso fino al 1962.

Nel 1951, due allievi del dottorato chiesero di fare una tesina come prova finale del suo corso. Fano assegnò loro il compito di risolvere il problema di trovare il codice binario più efficiente. Uno dei due, David Huffman (1925-1999), quando ormai aveva perso ogni speranza, ebbe l'idea vincente: usare un albero binario costruito sulle frequenze disposte in ordine ascendente. Il suo codice produceva parole di lunghezza più corta rispetto a tutti quelli testati da Fano, Shannon e altri ricercatori. Huffman pubblicò il suo risultato in *A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes* (1952), in cui provò che il metodo era il più efficiente perché riduceva la ridondanza e generava parole con il numero medio minimo di cifre. Nel 1967, Huffman lasciò il MIT per andare a insegnare all'Università della California, di Santa Cruz, dove fondò la facoltà di informatica e insegnò Ttoria dell'informazione e Analisi dei segnali. La sua intuizione, la Codifica di Huffman, dette vita al ramo di ricerca degli algoritmi di compressione per la codifica senza perdita di dati di lunghezza variabile, attualmente ancora usata. Infatti, il risultato decompresso non ricreava una copia perfetta dell'originale ma eliminando selettivamente i dettagli minori, rendeva riconoscibile comunque l'originale.

6. "Passato, presente e futuro della teoria dell'informazione"

Ma come si era propagata questa teoria, come era stata recepita e cosa poteva ancora riservare per il futuro? A queste domande rispose Robert Fano in un articolo del 1954, *Information Theory, Past, Present and Future*, che era una sorta di riflessione su cosa avesse significato la sua formulazione per l'ingegneria delle comunicazioni, per la scienza e per la società in generale e quali ulteriori sviluppi ci si potesse ancora aspettare.

La tesi di Fano era che "la teoria dell'informazione costituiva il culmine di un periodo di transizione in cui il modo di pensare prevalente degli ingegneri della comunicazione era stato radicalmente rivisto" (Fano, 1954, p. 2). La nuova visione dei sistemi naturali o artificiali fornita dalla Cibernetica (1948) di Wiener e i servomeccanismi sperimentati durante la guerra avevano mostrato che gli esseri umani avevano perso la centralità del ruolo di controllori tipica dei sistemi tradizionali ed erano ridotti al ruolo secondario di operatori, pari a quello di altre componenti meccaniche. Questo aveva generato una nuova impostazione nella progettazione dei sistemi e un modo diverso di affrontare i problemi della comunicazione. Oggetto della comunicazione erano ora i "dati" piuttosto che le forme d'onda del suono. Inoltre, le considerazioni statistiche avevano assunto un ruolo primario nello studio di qualsiasi processo di comunicazione (Fano, 1954, p. 3). L'insieme di sviluppi teorici culminati nella teoria della informazione era stato, quindi, causa e conseguenza del nuovo approccio scientifico.

Fano sosteneva, inoltre, un'ipotesi che all'epoca era poco condivisa: l'ampio interesse per i computer digitali era probabilmente dovuto più alla loro utilità come possibili dispositivi di elaborazione dei dati che alla loro funzione di veloci calcolatori numerici.

L'improvvisa ondata di ricerche su varie forme di comunicazione, materialmente stimolate dallo sviluppo della teoria dell'informazione e della cibernetica, aveva agito da catalizzatore e aveva fornito un linguaggio per concetti comuni.

In futuro si aspettava che la teoria dell'informazione avrebbe dato un grande aiuto all'ingegneria e, soprattutto, alla scienza pura. La prima avrebbe tratto vantaggio per risolvere quei problemi che apparivano al momento insormontabili a causa dei limiti tecnologici e, in questo, molta fiducia riponeva nei computer. La seconda avrebbe beneficiato per la comprensione di fenomeni della Natura particolarmente complessi (Fano, 1954, p. 5).

In effetti, la teoria era emersa in un momento in cui l'approccio ai problemi della comunicazione era cambiato dalla ricerca del "come fare", proprio delle techné e dei mestieri, alla ricerca del "perché". Ciò aveva reso naturale il ricorso alla matematica, alla statistica e alla fisica per costruire solidi principi teorici e creare assiomi generali. Essa aveva fornito così gli strumenti per enunciare i problemi complessi e impostare le soluzioni in qualsiasi ambito in cui ci fosse trasmissione di informazioni.

Nelle parole di Fano possiamo già cogliere la sua intuizione del limite del modello di trasmissione della comunicazione così come descritto inizialmente da Shannon e Weaver e come sarebbe stato successivamente elaborato dai linguisti. E cioè che la comunicazione umana è molto più complessa della semplice trasmissione di messaggi, ha un carattere sociale, poiché si svolge in un sistema socio-culturale e non può prescindere dai significati e dalle interazioni tra gli individui. Egli ne avrebbe avuto conferma negli anni Sessanta, quando la modalità di elaborazione time-sharing, avrebbe mostrato che la connessione tra individui attraverso una rete di terminali induceva a riproporre nell'ambiente virtuale comportamenti simili alle dinamiche relazionali del mondo reale (Fano, 1972, p. 3).

7. La divulgazione della teoria

In Europa la teoria dell'informazione arrivò lentamente sulla scia dell'interesse suscitato dalle traduzioni della *Cibernetica* di Wiener. In Italia il libro fu pubblicato nel 1951, ma il primo corso di specializzazione

in teoria dell'informazione si tenne solo nel 1958, organizzato per la Settima Scuola internazionale estiva di Fisica, a Varenna dal 7 al 19 settembre. Il corso, destinato non solo agli studenti ma anche ai docenti come una sorta di aggiornamento, fu fortemente voluto da Edoardo Caianiello (1921-1993), che aveva appena fondato il primo Gruppo di Cibernetica all'Università di Napoli.

Soggetto catalizzatore del corso fu senza dubbio Norbert Wiener, con la sua personalità dirompente, ma insieme a lui giunsero a Como i colleghi del MIT, tra i quali Fano, a illustrare i vari aspetti della trasmissione di informazione. Nella visione di Wiener, pienamente condivisa da Caianiello, il termine cibernetica era usato come sinonimo di teoria dell'informazione, perché dava una visione unitaria dei problemi di comunicazione. La Cibernetica si presentava, infatti, come "un tentativo di sintesi dei rami del sapere", in controtendenza rispetto alle altre discipline che viravano verso la specializzazione. Caianiello spiegò meglio questa relazione affermando che "oggetto d'indagine della cibernetica è l'informazione" poiché "ciò che viene comunicato [tra le componenti di un sistema complesso quale può essere un organismo vivente oppure una macchina o una società industriale] è un'informazione; la precisazione quantitativa di questo concetto è il punto di partenza della teoria della informazione, che elabora l'apparato matematico necessario agli studi cibernetici" (Caianiello, 1959, p. 343).

Nelle sue lezioni, Robert Fano illustrò la teoria matematica della comunicazione e fece qualche riflessione sul livello di complessità raggiunto della comunicazione rispetto alle origini. Introdusse la sua visione del computer come elaboratore di dati e "servizio" per la società. Confrontò il funzionamento del computer come scatola nera con quello dei sistemi di comunicazione più tradizionali per evidenziare che era possibile analizzare e specializzare ogni componente in maniera dettagliata (Fano, 1959, p. 353).

8. Conclusioni

In conclusione, si può dire che la teoria dell'informazione raggiunse in breve tempo un riscontro positivo nella comunità dei tecnici e degli appassionati di comunicazione ma non ebbe mai la notorietà di altre teorie, che invece, secondo il giornalista di "Fortune", Francis Bello, avrebbe meritato (Bello, 1953, pp. 136-158). Rimase, infatti, confinata ai margini come tante volte è accaduto agli approcci scientifici innovativi (Floridi, 2024, p. 15). Shannon e Fano furono premiati per il loro lavoro in Information theory con il MIT Claude E. Shannon Award, rispettivamente nel 1973 e nel 1976.

Ma una volta superate le barriere della distanza e del rumore, rimane ancora oggi aperta la questione della misurazione del contenuto dell'informazione, laddove bisogna fare chiarezza sulla definizione di "informazione", in relazione anche ai vari contesti di trattamento (Floridi, 2024, pp. 55-57).

Bibliografia

Bello, F. (1953). "The Information Theory", *Fortune Magazine*, 48(6), pp. 136-158.

Caianiello, E.R. (1959). "Prolusione", in *Nuovo Cimento*, 13(Suppl. 2), pp. 343-345.

Campanile, B. (2013). "Interview with Robert Fano". Concord, MA (in stampa).

Campanile, B. (2016). *Vannevar Bush, da ingegnere a tecnologo: la nascita della Società dell'Informazione*. Roma: Aracne.

Campanile, B. (2018). "Robert Fano e il coraggio di vivere il 'non luogo'", *Viaggiatori*, 1(2), pp. 353-386.

Campanile, B. (2019). "Robert Fano, an Italian Computer Scientist from Project Mac to the Internet", in Bory, P., Negro, G. & Balbi, G. (eds.), *Computer Network Histories*. Zürich: Chronos, pp. 95-114.

Chiu, E. *et al.* (2001). *Mathematical Theory of Claude Shannon*. Per il corso MIT 6.933J/STS.420J The Structure of Engineering Revolutions, disponibile al link academia.edu. (Accesso 10 novembre 2024)

Fano, R.M. (1949). *Technical Report No. 65*, Part I, March 17, pp. 1-34; *Technical Report No. 149*, Part II, February 6, 1950, pp. 1-29, Cambridge: MIT, The Research Laboratory of Electronics.

Fano, R.M. (1954). “Information Theory, Past, Present and Future”, *National Convention Record of the Institute of Radio Engineers*, 2(4), pp. 2-6.

Fano, R.M. (1959). “The Statistical Theory of Information”, *Nuovo Cimento*, 13(Suppl. 2), pp. 353-372.

Fano, R.M. (1961). *Transmission of Information: a Statistical Theory of Communication*. Cambridge: MIT Press.

Fano, R.M. (1972). “On the social role of computer communication”, *Proceedings of the IEEE*, 60(11), pp. 3-15.

Floridi, L. (2024). *Filosofia dell’Informazione*. Milano: Raffaello Cortina.

Gilbert, E.N. (1966). “Information Theory after 18 Years”, Science, 152(3720), pp.320-326.

Guizzo, E.M. (2003). *The Essential Message: Claude Shannon and the Making of Information Theory*, thesis of Master of Science in Science Writing at MIT, pp. 1-77.

Krajči, S. *et al.* (2015). “Performance analysis of Fano coding”, *IEEE International Symposium on Information Theory*, Hong Kong, China, pp. 1746-1750.

Norberg, A.L. (1989). “An Interview with Robert M. Fano”, Cambridge, MA, 20-21 April. University of Minnesota Libraries, Charles Babbage Institute, disponibile al link umn.edu. (Accesso 10 novembre 2024).

Pierce, J.R. (1973). “The early days of Information Theory”, *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-19(1), pp. 3-8.

Rus, D. (2019). “Robert M. Fano 1917-2016”, *Memorial Tributes of the National Academy of Engineering*, 22, pp. 95-98.

Shannon, C.E. (1948). “A mathematical theory of communication”, *The Bell System Technical Journal*, 27(3), pp. 379-423.

Verdù, S. (2013). “A conversation with Robert Fano (Concord, MA, June 14, 2013)”, *IEEE Information Theory Society Newsletter*, 63(3), pp. 6-9.

Verdù, S. (1998). “Fifty years of Shannon theory”, *IEEE Transactions on Information Theory*, 44(6), October, pp. 2057-2078.

Weaver, W. (1949). “The Mathematics of Communication”, *Scientific American*, 181(1), pp. 11-15.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_10, pp. 89–94
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-10

From Shannon to von Neumann: A Partial Understanding of Information

Niccolò Covoni[1]

[1]Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, Urbino & Università della Svizzera Italiana,
n.covoni@campus.uniurb.it.

Abstract: The talk aims to analyse the definition of information by comparing the crucial definitions formulated by Shannon and von Neumann and highlighting some of their criticalities. Statistical mathematics poses the basis for understanding information in the form of Shannon's proposal in A Mathematical Theory of Communication. In this work, information is explained by the concept of information entropy. However, it creates confusion in understanding what information is, first because of its comparison to the thermodynamic counterpart and second because Shannon's definition is very precise, as it analyses entropy as the quantity of uncertainty in a transferred message. Instead, the advent of quantum mechanics also posed a turning point in the definition of information and, more precisely, in the exchange of information. Von Neumann proposed a new definition that, at first glance, seems pretty close to the definition of Shannon; in fact, the shape of both formulas is very similar, and the von Neumann entropy seems to be the same equation of the information entropy but for the microscopic world. However, the von Neumann definition captures something different: the entanglement property. The two equations coincide in some situations, but the same applies to Shannon entropy and thermodynamics. We will investigate if the definitions are specular. The seminar will be structured as follows: in the first part we will analyse Shannon's definition; in the second part we will discuss von Neumann's definition; in the last section we will compare them using recent works on this topic.

Keywords: Information, Physics, Entropy, Philosophy of Science

1. Entropy

The Boltzmann Demon is the easiest way to think and understand the concept of entropy. It reflects the number of possible microscopic arrangements (or states) the demon can create with the particles in a system while still achieving the same macroscopic state. All attempts to define information use the concept of entropy, so a brief analysis was necessary before looking at the various proposals for defining information. For this reason, the paper has the following structure: the first paragraph is an overview of the concept of entropy, and paragraphs §2 and §3 analyze the proposals given by Nyquist (1924) and Shannon (1948) to define information, instead the paragraph §4 shows the von Neumann concept of information entropy in quantum mechanics. At the end of paragraph §5, the paper aims to show the conclusion that the attempts to define information cover different aspects and we lack a unified definition of information.

Entropy appeared in the middle of the 19th century in the context of thermodynamics, proposed by Rudolf Clausius (Hanlon, 2020). At first, it was considered a measure of disorder and the grade of irreversibility of a physical process. The language of thermodynamics measures the quantity of energy in a system that is not available to make a work in this way:

$$dS = \frac{\delta \overline{Q}}{T} \tag{1.1}$$

$$\frac{dS}{dt} \geq 0 \tag{1.2}$$

The first equation is the Clausius definition of entropy. It describes the amount of heat $\delta\overline{Q}$ transferred from a system at a given temperature T. The equation states that entropy changes proportionately to the amount of heat added to the system and inversely to the temperature. Instead, equation (1.2) expresses that entropy always tends to increase, which means that entropy can never decrease over time.

In 1877, Ludwig Boltzmann developed the statistical explanation of Clausius's second law of thermodynamics. He formalized the concept of entropy S, defined as the ratio of heat flow to temperature. The law states that the entropy for a closed system (with constant energy, volume, and number of particles) can never decrease (Boltzmann, 1877).

$$S = k_B ln\Omega \tag{1.3}$$

K_B is a physical constant that relates temperature to energy at the particle level. The number of distinct microscopic configurations, or "microstates", that a system can be in, given its macroscopic constraints, is represented by Ω. As Ω increases, there are a greater number of possible ways of arranging the particles while preserving the system's overall macroscopic characteristics.

However, "the theory of thermodynamics, taken by itself, does not connect entropy with information. This only comes when the results are interpreted in terms of a microscopic theory, in which case temperature can be interpreted as being related to uncertainty and incoherence in the position of particles" (Bais & Farmer, 2008, p. 7).

It is crucial to acknowledge that although entropy was initially conceptualized within the domain of thermodynamics as a measure of disorder, its mathematical formulation established the foundation for subsequent advancements in information theory. The interconnection between entropy and information became evident only when researchers began to interpret entropy in terms of uncertainty and probabilistic processes.

2. Nyquist: a first attempt

One of the 'prototype' attempts to define information can be found in the work of Harry Nyquist, *Certain Factors Affecting Telegraph Speed*, published in 1924. The scope of this paper is to work on some troubles that affect telecommunication systems. Here, Nyquist defines information as the token that carries itself (Binary or Signal Elements).

Aside from the technical results, one of the most exciting concepts of the paper is the 'speed of transmission of intelligence.' It can be defined as "the number of characters representing different letters and figures that can be transmitted in a given length of time, assuming that the circuit transmits a given number of signal elements per unit of time" (Nyquist, 1924, p. 333) Nyquist also proposes a mathematical formulation of the speed of transmission of intelligence:

$$W = K \log m \tag{2.1}$$

K is a constant, and m is the number of current values employed. Suppose we assume that we are working with a code whose characters are all the same duration (this is already an indirect assumption of the ontology of information). In that case, we can consider n as the number of signal elements per character, and then the total number of them that can be constructed is m^n or $n \log m$. The speed of transmission of intelligence is directly proportional to the line speed; we can call it s and inversely proportional to the number of signal elements per character n and obtain the equation W proposed by Nyquist.

His formulation is one of the earliest attempts to link entropy, as proposed by Boltzmann (1.3), with information. He tries to connect statistics with the world of information, but only when every case has the same transmission probability. A big problem in his approach is that information ('Intelligence,' using his words) is sometimes imperfect in the real world. So, Nyquist's formula captures the transmission of intelligence (information) at maximum in the perfect case. Still, it remains very unclear what happens when a message passes through noises or turbulence.

3. Shannon's definition of Information

It was Claude Elwood Shannon to study and give a more solid shape to information theory at the Bell Labs. He took a big step in the definition of information, and his revolutionary paper can be considered the year zero for the theory of information. He formulated a definition of information in a 1948 paper called *A Mathematical Theory of Communication.* The author states: "the fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point" (Shannon, 1948, p. 379). In this paper, the author proposes his theory of information, in which he extends Nyquist's theory. For Shannon, how information is transmitted through messages is not linear: information is, from his point of view, a search in a set of possible good messages. In his view, the core structure of a communication system has a specific structure with some crucial elements:

- The informational source that produces messages for the receiver.
- The transmitter: this is something that modifies the message in the right way for transmission.
- The channel: it is the object that transmits the message.
- The receiver: it has the role of encoding the message received from the transmitter.
- The destination: it is the recipient of the message.

With this taxonomy of the different elements that make up a system, we can build different models of communication systems, not only the most common ones created by computer devices or telephones, but it is also possible to model communication systems formed by people, objects, and very different kinds of actors. Also, in Shannon's approach, like in the Nyquist theory, the measure of information is represented mathematically by a logarithmic function but with different elements. This approach is very convenient for engineering since standard variables, which are helpful in that field, scale linearly with the logarithmic number of possibilities; the logarithmic approach is also very similar to our view of measurement, where we tend to weigh things by comparison. However, information looks pretty different from a measure like length, so what type of information can we describe with this theory?

To describe information in this way we use a mathematical model that describes sequences of symbols with a set of probabilities, and that is the stochastic process (Hoffman, 2013), which in statistical mathematics is a family of random variables. The randomness that we can find in statistical mathematics is called Shannon's entropy:

$$H = -k \sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i \tag{3.1}$$

If we analyze the formula, we find that:

- The minus sign is because the result of the rest is every time negative because $\log p_i$ is negative or at maximum 0.
- k is a constant that derives from the choice of a unit of measurement. This value helps to control the basis of the logarithm. The value of k is equal to one if the basis of the log is 2, and it is different otherwise.

- p_i is the probability of the success of the event i.
- $\log p_i$ comes from the fact that we have disjoint events, and all of them are distinguished by the number of characters with the base. Also, the uncertainty has to respect the additive property, so the only possible operation that can produce the maximum probability equal to one is the logarithm (for our purposes, 2 is the norm because of the number of bits in computing).
- $\sum_{i=1}^{n}$ represents that if we have a discrete condition, H is the average sum of each possible event.

Shannon's entropy is not the same as its dynamical equivalent, Boltzmann's entropy (1.3), but there is a correlation at equilibrium. The Shannon entropy represents the average level of 'uncertainty' about possible outcomes. Rather, thermodynamic entropy represents all possible combinations of a system, and it is not possible to calculate the entropy of an intermediate situation because this property only has value at equilibrium. Instead, Shannon's entropy has different results in different cases, with several possible outcomes, while the physical entropy has only one pointed result. An essential feature of the Shannon entropy is that $H = 0$ if and only if a probability has a value of one (the remaining p_i could be zero). That result is another big difference with thermodynamic entropy, where you can't have a value of zero as imposed by the third principle of thermodynamics (absolute zero is unattainable, the only situation where entropy could be zero).

Using the definition of informational entropy and the common structure (at least in Shannon's view) of each communication system, his approach considers information such as a message from a transmitter to a receiver, with a correlation of information, acquired and missed, in the form of entropy. This view is widespread today, and Shannon's entropy is now widely used in computer communications. "This operational motivation for defining entropy in terms of data compression expresses a key concept in the philosophy of information theory: fundamental measures of information arise as answers to fundamental questions about the physical resources required to solve some information processing problem" (Nielsen & Chaung, 2010, p. 501).

However, Shannon's theory has several implications and problems that need to be considered to use it as a unified definition of information. First, information is regarded merely as a selection of symbols from a given set, so information has only a technical meaning in this definition. One possible consequence is that two messages from two different sets of symbols could contain the same amount of information, without considering their meanings. Thus, "according to *A Mathematical Theory of Communication*, the classic monkey randomly pressing the typewriter keys is indeed producing a lot of information" (Floridi, 2009, p. 33), the same that we can find, for example, in a copy of an Italian vocabulary. This problem seems to be a considerable lack in Shannon's proposal to research a unified concept of information. Another critical point to note is that Shannon's proposal resembles a probability theory more than an information theory. It can be an advantage if we want to apply the theory to communication technologies (this is Shannon's aim when he developed the Mathematical Theory of Communication). However, when we try to use this method with our thoughts, where memory plays an important role, we can easily say that "the mathematical theory of communication deals with the transmission of information, not the information itself" (Weaver, 1949, p. 12).

4. Von Neumann's entropy

Shannon entropy is also used in quantum mechanics, where von Neumann entropy can be conceived as the quantum generalization of Shannon entropy. This concept of entropy was proposed by von Neumann in 1955. While Shannon's entropy applies to classical probability distributions, von Neumann's entropy

applies to quantum states described by the density matrix von Neumann entropy S is defined as:

$$S(\rho) = -Tr(\rho \log \rho) \tag{4.1}$$

Where Tr denotes the trace operation (sum of the diagonal elements of the matrix) and log is the logarithm of the density matrix. The entropy of a quantum state provides a quantitative measure of how 'mixed' a system is. The von Neumann Entropy of a pure state is equal to zero. Otherwise, a value greater than zero represents a mixed state. An interpretation of values like this reflects the idea that when we have a pure state, we do not have any uncertainty about the system. In contrast, for a mixed state, we are, in a sense, lacking information about the system's state. Thus, Shannon's Entropy (3.1) is a special case of von Neumann's Entropy in quantum systems that can be described by classical statistics (when the density matrix ρ is diagonal).

In the quantum realm, the concept of the von Neumann entropy is correlated with the property of entanglement. Indeed, entropy becomes a natural measure of the quantum correlation between subsystems when two or more quantum systems are entangled (A and B, for example). The system's overall state cannot be decomposed into the individual states of the subsystems because they do not have well-defined properties, even though we know the total state of the combined system perfectly. We can describe them by density matrix ρ_{AB}, but we cannot write the overall density matrix as the product of the density matrices of the individual subsystems $\rho_A \otimes \rho_B$. Instead, the von Neumann entropy of subsystem A, obtained by taking the partial trace of subsystem B, is a measure of the entanglement between A and B:

$$S(\rho_A) = -Tr(\rho_A \log \rho_A) \tag{4.2}$$

If $\rho_A > 0$, the subsets are entangled; therefore, we cannot completely know the state of A without taking B into account. The concept of von Neumann entropy seems very far from that of Shannon. In the case of the similitude between the latter and the thermodynamic formulation of entropy (Hemmo & Shenker, 2006), the only closeness is related to the shape of the equations. Here, the case seems very similar. It is important to notice that the von Neumann entropy, from a theoretical point of view, is used to measure a property in the quantum world: the entanglement, that is completely different from what the Shannon entropy value tries to achieve and, once again, seems not clear from this definition what is the concept of information.

5. Conclusions

Any of the attempts that I tried to cover in this article lack in some points to achieve a general definition of information; one of the most general definitions of information that we can reach is something similar to this: "The information is what is produced by an information source that is required to be reproducible at the destination if the transmission is to be counted a success" (Timpson, 2013, p. 22). But of course, this definition is not enough and also is a cyclical definition where the term information comes inside the definition itself. This analysis of some historical attempts seems to give that information as a quantity is not associated with individual messages but rather characterizes the source of messages. Being a piece of Shannon's information has nothing to do with being a piece of information in the everyday sense. The common ground of the interpretations we briefly considered is that information is always related to an object called a bit (also, von Neumann's entropy can be correlated with something similar: the qubit). What seems more suitable to say about information is that pieces of information are abstract items, while transmitted information as a quantity is a property, as compressibility or channel capacity, so by no means a concrete thing. To have a token of a piece of transmitted information, we need some physical systems,

but it does not make what is encoded, stored, or written down physical; the fact that tokens are physical does not mean that the types of which they are instances are.

Acknowledgements

The author would like to thank Prof. Vincenzo Fano and Prof. Claudio Calosi for their invaluable contributions through insightful discussions. Furthermore, I would like to express my gratitude to Prof. Flavia Marcacci for providing me with the invaluable opportunity to present at the LXIV National Congress of SISFA. It was a remarkable chance to showcase my work and to receive constructive feedback from an esteemed audience. I would like to extend my gratitude to the entire Synergia Research Group at the University of Urbino.

Bibliography

Bais, F.A. & Farmer, J.D. (2008). "The Physics of Information", *Philosophy of Information*. Amsterdam: Elsevir, pp. 609-684.

Boltzmann, L. (1877). "Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung resp. den Sätzen über das Wärmegleichgewicht", *Wiener Berichte*, **76**, pp. 373–435.

Floridi, L. (2009). "Philosophical Conceptions of Information", in Sommarufa, G. (eds.), *Formal Theories of Information. Lecture Notes in Computer Science*, Berlin: Springer, pp. 13-53.

Hanlon, R.T. (2020). "Clausius and the road to entropy", *Block by Block: The Historical and Theoretical Foundations of Thermodynamics*. Oxford: Oxford University Press, pp. 438-477.

Hemmo, M. & Shenker, O. (2006). "Von Neumann's Entropy Does Not Correspond to Thermodynamic Entropy", *Philosophy of Science*, **73**(2), pp. 153–174.

Hoffmann, L.D. (2013). *Calculus for business, economics, and the social and life sciences*. New York: McGraw-Hill.

Nielsen, M.A. & Chaung, I.L. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information*. New York: Cambridge University Press.

Nyquist, H. (1924). "Certain Factors Affecting Telegraph Speed", *The Bell System Technical Journal*, **3**(2), pp. 324-346

Shannon, C.E. (1948). "A Mathematical Theory of Communication", *The Bell System Technical Journal*, **27**(3), pp. 379-423

Timpson, C.G. (2013). *Quantum Information Theory and the Foundations of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press.

Weaver, W. (1949). "The Mathematics of Communication", *Scientific American*, **181**(1), pp. 11-15.

History of Physics and Astronomy
(until 19th century)

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_11, pp. 97–104
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-11

Earliest meteorological observations in Naples in the 18th century

Salvatore Esposito[1] and Adele Naddeo[2]

[1]University of Naples Federico II - Department of Physics & INFN - Sezione di Napoli, Naples, salvatore.ssposito@na.infn.it.
[2]University of Naples Federico II - Department of Physics & INFN - Sezione di Napoli, Naples, anaddeo@na.infn.it.

Abstract: The 18th century marked the beginning of a widespread diffusion of thermometers and other meteorological instruments, fostering the birth of the first correspondence networks in Europe (including Italy), aimed at collecting and comparing meteorological observations from different sites. An active role was played starting from 1723 by the secretary of the Royal Society, James Jurin, who built one of these networks. Participants were requested to record daily observations concerning temperature, barometric pressure, direction and strength of winds, description of clouds and amount of rain or snow. The Neapolitan Niccolò Cirillo was among Jurin's correspondents; he carried out a variety of observations, ranging from weather conditions and wind directions to rainfalls and the activity of Mount Vesuvius, also including an account on the eruption during March 1730. Original documents from the Royal Society historical archives testifies the activity carried out by Cirillo within Jurin's network, including excerpts of his meteorological diary. The emerging feature is a unifying vision of meteorology, as a comprehensive science including any Earth phenomenon, which was widespread among scientists and naturalists in 18th and 19th century, leading to a common belief of a deep relationship between earthquakes, eruptions and atmospheric phenomena.

Keywords: Meteorological Networks, Earthquakes, Vesuvius

1. Introduction: the birth of the first correspondence networks in Europe

The XVI and XVII centuries were characterized by the rejection of old Aristotelian meteorological theories and, mainly in Germany, England, France and Italy, by the birth of the modern approach to weather science, prompted by the invention of three basic instruments: the hygrometer, the thermometer and the barometer (Jacobson, 2005). The first instruments for the measurement of the amount of water vapour in the atmosphere were described by Nicholas de Cusa (1401-1464) and Leonardo da Vinci (1452-1519), while a thermometer based on the expansion and contraction of air was built by Galileo Galilei (1564-1642) by the end of XVI century. Galilei compared the temperatures of different places and investigated diurnal and seasonal variations of temperature. Finally, the mercurial barometer was invented by Evangelista Torricelli (1608-1647) who, in 1643, carried out his celebrated experiment on the pressure of the atmosphere.

These efforts paved the way for a widespread diffusion of observations of various meteorological quantities, such as temperature, pressure, humidity, wind strength and direction, and of the corresponding data analysis aimed at weather forecasting. The consequence was the birth and spreading of the first correspondence networks in Europe, whose primary purpose was to collect and compare meteorological observations from different sites.

The first international network of meteorological stations (the Medici network) was set up in 1654 by the Grand Duke Ferdinand II de' Medici and his brother Prince Leopold (Middleton, 1971). It was led

by the Jesuit Luigi Antinori and involved stations at Florence, Vallombrosa, Pisa, Cutigliano, Bologna, Parma, Milan, Warsaw, Innsbruck, Osnabruck and Paris (Camuffo & Bertolin, 2012). Observations had to be carried out with identical instruments and had to follow the same schedule and protocols, finally data had to be collected in special tables. The network's activity developed in close connection with the Accademia del Cimento of Florence and its aim was to provide an answer to several questions, dealing with the main weather issues of the chosen localities, as for instance:

1. What is the difference in temperature in various places, ranging from middle to higher latitudes?
2. What about the melting temperature of ice and its possible dependence on the height or other geographical features?
3. How does the density of liquids depend on temperature?

The main result of the activity of the Cimento scholars within meteorology was to point out the relevance of setting up a network for the simultaneous collection and rapid communication of data (Middleton, 1966). Indeed, the Medici network became a model, soon followed by other European countries. In England, between 1666 and 1692, John Locke (1632-1704) carried out weather observations and collected data from stations in Oxford, London and Oates. A prominent role in the development of meteorology was played by the Royal Society since its foundation in 1660, and two members gave fundamental contributions, that is Robert Boyle (1627-1691) and his assistant Robert Hooke (1635-1703). They developed barometers, thermometers and thermometric scales (Patterson, 1953) and introduced the use of barometer in weather forecasting. The Royal Society strongly contributed to the spreading of the best practice in meteorology, i.e. to make weather observations regularly and systematically. This activity was pioneered by Hooke (Purrington, 2009) and triggered the birth of networks of meteorological stations in different European countries, as France and Germany. In Germany Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) and Samuel Reyher (1635-1714) started meteorological observations in Hannover and in Kiel, respectively, while in France, since 1699, Philippe De La Hire (1640-1718) carried out daily weather observations as a member of the Paris Académie des Science; these observations continued until 1754 and were regularly published in the Académie Memoirs since 1710 (Frisinger, 1983). In Italy as well, after the Medici network's experience, some scholars began to carry out regularly meteorological observations; among them there were Paris M. Salvago (1643-1724) and Giovanni Poleni (1683-1761) (Iafrate, 2000).

As the above examples show, the beginning of the 18th century in Europe was characterized by the development of meteorological instruments, while the Royal Society continued to play a prominent role in pursuing meteorological activity. There was an impressive increase of scholars making regular weather observations as well as of knowledge of weather systems. Thus, meteorology became more and more organized and attempts to build up international networks of weather observers increased at a rapid pace. Starting from 1723, huge efforts were performed in this direction by the Secretary of the Royal Society, James Jurin (1684-1750), who developed an international correspondence network including stations located in Europe and in American colonies. Among Jurin's correspondents there was the Neapolitan physician and botanist Niccolò Cirillo (1671-1735), who became fellow of the Royal Society in 1718 and soon began to collect meteorological data on the climate of Naples.

The aim of this contribution is to reconstruct the activity of Niccolò Cirillo within Jurin's network. This task will be pursued by relying on the close analysis of original documents from the Royal Society historical archives, which include also excerpts of Cirillo's meteorological diary. This study is reported in Section 3, after a brief account of the main features of Jurin's meteorological project (Section 2). Finally, conclusions and perspectives of this work are outlined in Section 4.

2. James Jurin's network

The strength of the Royal Society activity in the XVIII century mainly relied upon its extensive correspondence (Rusnock, 1999). Communications from observers outside London soon became part of the Society's practice. Several fellows started projects aimed at gathering observations and reports on specific topics, ranging from natural history to philosophy. In this respect a key role was played by Jurin, who served as Secretary from 1721 to 1727 and deeply rebuilt the Society's correspondence practice. His huge efforts clearly showed how correspondence increased cooperation among natural philosophers and contributed to build scientific knowledge. As such, with Jurin's main project, devoted to collect meteorological observations, correspondence became a scientific method.

In his speech entitled "A Proposal for Joint Observations on the Weather", delivered at the Royal Society meeting of 12 December 1723, Jurin put forward his ambitious program whose qualifying point was the organization of a network of correspondents from various places, located not only in England but also abroad: "a true Theory of the Weather is not to be attained by a knowledge of the Successive Alterations in any one certain place... it must needs require the joint Assistance of many Observers" (Rusnock, 1999, p. 164). He further explained his idea in a letter to Niccolò Cirillo, dated 26 March 1725: "My intention and desire [is] by collecting accurate observations made successively over wide areas, to be able eventually to learn for what reasons such great changes in the atmosphere are effected so suddenly. If it is ever granted to the race of Mortals to know this, it is by this kind of method, I think, that it will be revealed" (Rusnock, 1999, p. 164).

The speech followed the publication of his proposal, "Invitatio ad observationes meteorologicas communi consilio instituendas" (Jurin, 1723), on the Society's Philosophical Transactions, which was written in Latin in order to emphasize the international target of the project. Interestingly, it contained the template that correspondents should have followed to write their meteorological reports. In fact, Jurin's main idea was to standardize observations, that is to make uniform measurements, instruments and methods (Walker, 2012). As such, participants were requested to record observations twice daily, focusing on temperature, barometric pressure, amount of rain or snow, direction and strength of winds, and on issues such as a description of clouds (Rusnock, 1996). Correspondents had to provide conversion tables between local measures and London measures. While this task was easily pursued for length measurements, the real challenge was indeed how to compare different thermometric and barometric scales due to the recent introduction of thermometers and barometers and the little standardization level even within a single country. Between 1725 and 1726 Jurin tried to cope with these difficulties by persuading the Royal Society council to fund eighteen Hauksbee's thermometers to be sent to foreign observers, especially to those operating in the farthest stations. Despite these efforts, he didn't succeed in obtaining uniform measures from all the correspondents, the main problems residing in the use of thermometers, as stated for instance in Cirillo's letters and manuscripts (see Section 3).

Jurin's network involved observers in Uppsala, St Petersburg, Berlin, Leiden, Naples, Luneville, Boston and many towns in Great Britain, who regularly compiled weather diaries (Rusnock, 1999). His project gave a significant contribution to the production of scientific knowledge in the 18th century. Indeed, despite some drawbacks, it showed a high degree of international cooperation, the effective use of correspondence and the need of standardized instruments and measurements.

3. Niccolò Cirillo's activity within Jurin's network

Neapolitan correspondent Niccolò Cirillo worked at Incurabili hospital as a physician, then he held the chair of Natural Philosophy in 1705 and that of Medicine in 1706. In 1718 he became a fellow of the

Royal Society of London and soon began to collect meteorological data on the climate of Naples, as requested by Jurin who gave him detailed instructions:

> please be so good as to write the time, along with the date, of each observation. Please enter the actual numbers everywhere; short transverse lines, which occur in various entries, leave me in doubt whether an observation has been omitted or the numbers written by the previous observation are to be understood. (Rusnock, 1999, p. 167)

In many circumstances, Jurin publicly acknowledged and appreciated Cirillo's contributions, as shown for instance in a letter dated 26 March 1725. There he wrote:

> Most Learned Sir, Your letter written on the first of January gave much pleasure to me personally, and filled the whole of the Royal Society also, at whose meeting I read it out a few days ago, with a rare and special delight. And rightly so: for in it you showed so many examples of keen intellect and of subtle and refined judgement and at the same time such kindness and such ardour for the advancement of Natural History, that it could not fail to be most welcome and give the greater satisfaction that you Sir, a man of such eminence, have done the Society the honour of reporting to it so promptly your work for the development of that aspect of Natural Science. And so by the unanimous votes of all I have been instructed to inform you of the Society's warm feelings of goodwill towards you, and in its name to return our special thanks for your observations, both those which you have already given us and those you have promised. (Rusnock, 1996, p. 290)

The activity carried out by Cirillo within Jurin's network is testified by a handful of original documents from the Royal Society historical archives, dated from January 1725 to April 1733, which include also excerpts of his meteorological diary. In general, these documents are letters addressed to Jurin and, after 1727, to the subsequent Secretaries of the Royal Society, William Rutty until 1730 and finally Cromwell Mortimer (until 1735, when Cirillo passed away). The letters are mainly written in Latin, although in a few cases there are also English translations. Some of them contain manuscripts which he submitted for publication in the Philosophical Transactions of the Society.

A first interesting document is a letter to Jurin, dated 1 January 1725 (Cirillo, 1725), followed by an excerpt of his meteorological diary, reporting observations from August to December 1724, These observations are collected in a table, according to Jurin's prescriptions, which records the date, the hour, the overall weather conditions, the wind direction, the rainfall and, interestingly, information about Mount Vesuvius. The status of Mount Vesuvius would have been always under close scrutiny by Cirillo, who later gave an account of the eruption, which took place in March 1730, within a letter addressed to William Rutty (Cirillo, 1731). The same account, extracted from his 1730 Meteorological Diary, was the subject of a communication in the Philosophical Transactions (Cirillo, 1732a). Preliminary considerations on the Hauksbee thermometer and related critical issues were given in both documents, followed by a possible interpretation of the observed phenomenon:

> The Thermometer used in this Diary, was made by Mr. Hauksbee, in which the Freezing Point is marked at 65 Degrees under the Point extreme Hoy; but the Doctor observes, that at Naples Water will freeze when this Thermometer stands at 55 Degrees only: Which, he is of Opinion, seems to argue, that there is something else besides an intense Degree of Cold required for freezing Water; that the Air of Naples abounds in it, more than the Air of London; and that this may probably be of a saline Nature; because when we turn Water into Ice by the Help of Snow, it is necessary to mix Salt with it. (Cirillo, 1732a, p. 336)

Then, a detailed description of eruption was provided, starting from the very beginning and including the weather conditions. A wide range of phenomena was registered, ranging from the emission of smoak and stream of fire to strong thunders and a little trembling of windows, and culminating in the formation of the eruptive column and the subsequent pyroclastic flow:

> In the Evening after Eight o'Clock the Fire arose to a vast Height, and threw huge Stones to almost half the perpendicular Height of the Mountain. Pumice Stones red hot of two or more Ounces Weight, were driven several Miles like a Shower of Hail, and frightened away the Birds. In about an Hour's time the Height of the Flame was somewhat lessened; and through the middle of the thick Smoak Flashes of Lightning were often seen... Thick Smoak scattered the Ashes many Miles over the Sea. (Cirillo, 1732a, p. 337)

Finally, "The City was sprinkled over with small Ashes... Vesuvius became entirely quiet" (Cirillo, 1732a, p. 338).

Among the remaining documents, two manuscripts are of particular importance. They are both accompanied by a letter addressed to Cromwell Mortimer, dated back to 1732 (Cirillo, 1732b) and 1733 (Cirillo, 1733c), respectively, which were later published in the Philosophical Transactions of the Royal Society (Cirillo, 1733a; 1733b).

The first one contains a detailed description of the violent earthquake which, in March 1731, shook the Apulia region and was felt in almost the whole Kingdom of Naples (Cirillo, 1732b). The seismic event developed according to the following phenomenology:

> While it lasted, there were observed in it all its different Species taken notice of by the Ancients. First, the Tremor; next the Shake, called $\sigma\varphi\upsilon\gamma\mu o\varsigma$ by Aristotle, or Succussatio by Posidonius in Seneca; and last the Inclination or tottering of the Earth, like that of a ship. These different motions followed one another by turns and successively, during the Space of three Minutes and some Seconds. (Cirillo, 1732b, p. 2)

It was followed by a number of shorter and weaker aftershocks, ranging from the next day to November, and caused severe damage to houses and people. Interestingly, according to Cirillo observations, the shocks were centered about the town of Foggia and the corresponding strength diminished upon the distance from it. He conjectured a progressive motion diminishing successively in a quadratic proportion of the distances and checked this hypothesis by recording the oscillations of a couple of pendula, with a length of a palm, applied to a semicircle divided into degrees and located in Ascoli Satriano and Giovinazzo. He concluded that:

> For the Number of those Degrees being greater at Ascoli, which is nearer, than at Iuvenazzo, which is farther off, almost answered the duplicate Proportion of the Distances of those Places from the Center of the Earthquake. And it was for this Reason, that when the Earth was very slightly shaken at Foggia, the Pendulum was a little moved at Ascoli, but was observed not to move at all at Iuvenazzo. (Cirillo, 1732b, p. 4)

As an interesting feature of this report, the author focused at length on the natural phenomena observed before, during and after the seismic event under investigation and put forward hypotheses on the possible relationship between these and the event itself.

The second manuscript consists of a detailed account of meteorological observations carried out in Naples during the whole year 1732, concerning the following phenomena: rain, snow, winds (including an interesting discussion of viable experimental apparatuses and methods for the measurement of their strength), atmospheric pressure, temperature, the volcanic activity of Mounts Vesuvius, Etna and Stromboli, respectively (Cirillo, 1733c). Also, here Cirillo raised critical issues related to the use of Hauksbee's thermometer and stated clearly his intention to carry out further clarifying experiments:

> In the Month of December, when there appeared some Ice the Thermometer was fallen to 55 and 56. In this place I think worth observing, that on the Table which is fixed to the Hauksbeian Thermometer the 65 Degree is marked with the word Frost. However I have found by many years observation that it froze Ice, when the Liquor in the same Thermometer, that had been sent to me from England, was fallen down no farther than 55 Degrees. Hence it cannot be denied, but that a less Degree of Cold will produce Ice here at Naples than at London. This Phenomenon affords a subject for a Dissertation on purpose, which I intend, if God permit, to draw up, after having first gathered some Materials serving to this end and made more accurate Experiments. (Cirillo, 1733c, p. 7)

Then he focused on the strong explosive activity of Vesuvius, which took place in December 1732, accompanied by lava flows and a huge dispersion of ashes.

In the final paragraph the author only mentioned the earthquake, which in November 1732 hit Irpinia and Sannio (the so called Province of Principato Ultra), because a complete information was still lacking.

4. Conclusions

The development of weather science in XVII and XVIII centuries was accompanied by the rising of the first meteorological networks, characterized by the massive use of correspondence as a scientific method. A prominent role in this respect was played by the Royal Society since its foundation, and especially by its secretary James Jurin, who set up one of these networks in 1723.

The Neapolitan Niccolò Cirillo, who was among Jurin's correspondent, carried out observations, ranging from weather conditions and wind directions to rainfalls and volcanic activity. In particular, he gave an account of the eruption of Mount Vesuvius during March 1730 and of the earthquake that in 1731 affected Apulia and almost the whole Kingdom of Naples. Other seismic and volcanic events were reported as well, as testified by archival documents from Royal Society.

The emerging overall picture is a unifying vision of meteorology, as a comprehensive science including any Earth phenomenon, which was widespread among scientists and naturalists in XVIII and XIX centuries, leading to a common belief of a deep relationship between earthquakes, eruptions and atmospheric phenomena.

Bibliography

Camuffo, D. & Bertolin, C. (2012). "The earliest temperature observations in the world: the Medici Network (1654-1670)", *Climatic Change*, 111, pp. 335-363.

Cirillo, N. (1732a). "An account of an extraordinary Eruption of Mount Vesusvius in the Month of March, in the Year 1730, extracted from the Meteorological Diary of that Year at Naples, communicated by Nichol. Cyrillus", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 37(424), pp. 336-338.

Cirillo, N. (1733a). "Historia Terraemotus Apuliam et totum fere Neapolitanum Regnum, Anno 1731, vexantis", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 38(428), pp. 79-84.

Cirillo, N. (1733b). "Aeris terraeque physica historia, anni biss. 1732 à Nicolao Cyrillo in universitate Neapolit. Primar. Med. Profess. & R. S. S.", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 38(430), pp. 184-190.

Frisinger, H.H. (1983). *The History of Meteorology: to 1800*. Boston: American Meteorological Society.

Iafrate, L. (2000). "Nascono gli strumenti per le misure e le reti di osservazione", in Palmieri, S. (ed.), *Il mistero del tempo e del clima: la storia, lo sviluppo, il futuro*. Napoli: CUEN, pp. 81-116.

Jacobson, M.Z. (2005). *Fundamentals of Atmospheric Modelling*. 2nd Edition. Cambridge: Cambridge University Press.

Jurin, J. (1723). "Invitatio ad observationes meteorologicas communi consilio instituendas", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 32(379), pp. 422-427.

Middleton, W.E.K. (1966). *A History of the Theories of Rain and Other Forms of Precipitation*. New York: Franklin Watts.

Middleton, W.E.K. (1971). *The Experimenters. A Study of the Accademia del Cimento*. Baltimore, London: The Johns Hopkins Press.

Patterson, L.D. (1953). "The Royal Society's Standard Thermometer, 1663-1709", *Isis*, 44, pp. 51-64.

Purrington, R.D. (2009). *The First Professional Scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London*. Basel, Boston, Berlin: Birkhauser.

Rusnock, A. (1996). *The Correspondence of James Jurin (1684-1750): Physician and Secretary to the Royal Society*. Amsterdam, Atlanta: Rodopi

Rusnock, A. (1999). "Correspondence networks and the Royal Society, 1700-1750", *The British Journal for the History of Science*, 32, pp. 155-169.

Walker, M. (2012). *History of the Meteorological Office*. Cambridge: Cambridge University Press.

Archival sources

Cirillo, N. (1725). *Paper, regarding meteorological observations from Naples (Italy) for August to December 1724 by Nicholaus Cyrillus*, Napoli 1 gennaio 1725. The Royal Society, *Classified papers. volume 5 concerning 'Weather'*, 27.

Cirillo, N. (1731). *Translation of part of a letter, from Nicholaus Cyrillus of Naples to William Rutty*, The Royal Society, *Early letters. C2*, 70.

Cirillo, N. (1732b). *Translation of a letter, from Nicholaus Cyrillus to Cromwell Mortimer*, The Royal Society, *Early letters. C2*, 72.

Cirillo, N. (1733c). *Translation of a letter, from Nicholaus Cyrillus to Cromwell Mortimer*, The Royal Society, *Early letters. C2*, 75.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_12, pp. 105–114
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-12

The first meteorological series of southern Italy. Report on a rediscovered archive

Lucia De Frenza[1]

[1]Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, lucia.defrenza@uniba.it.

Abstract: In Southern Italy, the naturalist Giuseppe Maria Giovene (1753-1837) was one of the first to make regular observations of meteorological phenomena. From 1788 to 1797, he published annual reports of his observations, which also included his opinions on the outcomes of meteorological conditions on agriculture and human health. Giovene observed meteorological phenomena for about forty years. He also established a network of scientists who collected meteorological data in some cities of the Kingdom of Naples. Many notebooks of observations, scientific letters and other manuscripts are in a fund, which historians have not yet explored. This documentation represents very important material for reconstructing the history of the first meteorological observations in Southern Italy.

Keywords: Atmospheric Phenomena, Scientific Archives, Giuseppe Maria Giovene.

1. Le prime indagini meteorologiche nel Sud d'Italia e l'opera di Giuseppe Maria Giovene

Nella seconda metà del XVIII secolo in Europa si diffuse l'interesse per gli studi di meteorologia. Contemporaneamente furono stabilite istituzioni accademiche, che, facendo sistema a livello nazionale o tra vari paesi, raccolsero dati meteorologici in maniera sinottica: in Francia, a partire dal 1778, fu costituita una rete di osservatori per opera della Société royale de médicine, mentre in Germania, nel 1780, fu creata la Società meteorologica palatina, emanazione della Mannheimer Akademie der Wissenschaften. Fu in quest'epoca che la meteorologia iniziò a essere concepita come una branca della fisica da trattare con metodo scientifico, emancipandola dell'astrologia e dalle credenze popolari. Ad alimentare il favore per la meteorologia furono i due indirizzi applicativi percorsi dagli studiosi: quello che insisteva sulla relazione tra clima e salute pubblica e quello che traeva dalle osservazioni meteorologiche indicazioni utili per guidare i lavori agricoli (Feldman, 1990). Nel XVIII secolo, benché la medicina avesse abbandonato l'antica teoria degli umori, non era ancora tramontata l'idea ippocratica, che voleva l'aria e la costituzione dei luoghi influire sull'insorgenza delle malattie. Vari medici ritennero che le osservazioni meteorologiche potessero fornire elementi per correlare le condizioni ambientali alla salute della popolazione. Le stesse considerazioni valevano per le scienze agrarie, perché trovare delle ricorrenze tra eventi meteorologici e andamento dei raccolti agricoli poteva servire a stabilire delle regole di comportamento per rendere capaci i contadini di affrontare con maggiori cognizioni eventi calamitosi e migliorare la produttività. Queste due applicazioni erano in linea con la politica dai governi illuminati, che considerava la scienza strumento utile alla gestione del benessere pubblico – come medicina sociale o conoscenza di supporto alle attività economiche.

Per dare rigore scientifico alle osservazioni meteorologiche, oltre che far conoscere gli scopi ed estenderne le pratiche, era necessaria anche una riforma della strumentazione, come suggerì il fisico De Luc nel 1772. Sia i ricercatori che i costruttori s'impegnarono negli ultimi decenni del XVIII secolo a ideare strumenti affidabili e precisi. Con questi la meteorologia da discorso descrittivo sull'andamento delle stagioni si trasformò in scienza quantitativa, che intendeva riportare le condizioni dei cieli a valori

standardizzati e comparabili. La nuova attitudine alla precisione è evidente, per esempio, nel momento in cui nei resoconti s'indicarono le scale per le misurazioni, si applicarono indici di correzione dei valori, si riportò esplicitamente il tipo di strumento utilizzato o il nome del costruttore, si adottò una regola per le rilevazioni (ad ore precise e per un certo numero di anni). Gli osservatori tennero diari, che costituirono raccolte coerenti di osservazioni meteorologiche, come materiale per ricavare descrizioni attendibili del clima e delle sue peculiarità in un determinato territorio.

In Italia l'abate Giuseppe Toaldo (1719-1797), professore di Astronomia e meteore a Padova, fu il principale riferimento per quanti nella penisola si dedicarono alle osservazioni meteorologiche. Non solo questi stabilì contatti con una serie di osservatori, che in forza delle sue indicazioni raccolsero per diversi anni dati coerenti riportati nel *Giornale astro-meteorologico* e nella corrispondenza con la Società meteorologica palatina, ma fornì anche un modello razionale per determinare leggi e frequenze negli eventi meteorologici (Camuffo, 2002, p. 12; Casati, 1990; Zanini, 2023). Utilizzando i dati di Giovanni Poleni (1683-1761), che era stato prima di lui docente a Padova, raccolti dal 1725 al 1761, e i suoi relativi al periodo 1773-1798, descrisse una teoria dei cambiamenti meteorologici, che poteva servire in particolare a determinare il calendario dei lavori agricoli. Toaldo ritenne che l'influenza lunare fosse la causa predominante degli eventi atmosferici, immaginando nei cieli uno spostamento di masse aeree, concomitante alle maree, causate dall'attrazione gravitazionale della luna. L'azione di quest'astro era inquadrabile in un ciclo, la cui durata Plinio aveva definito di nove anni, altri di trentasette, mentre Toaldo la riportava alla misura astronomica dei Caldei, il *Saros*, di circa diciotto anni. La rete di oltre trenta osservatori stabilita dal padovano coprì l'Italia settentrionale. Nella penisola c'erano altri centri che avevano una lunga tradizione di ricerche meteorologiche, in particolare, Firenze, Bologna, Genova, Roma (Bertucci, 2009; Proverbio, 2003; Casati, 1990; Camuffo & Della Valle, 2023). Ma all'avanzamento della meteorologia contribuì, a partire dal Settecento, anche il lavoro fatto da osservatori del Sud Italia.

Quest'attività non è stata ancora oggetto di uno studio completo. Nel XVIII secolo essa fu portata avanti da ricercatori indipendenti in maniera frammentaria, anche se in qualche modo collegati alle iniziative di più ampia portata avviate altrove. Ciò che mancò fu un coordinamento da parte del governo o delle istituzioni scientifiche, perché gli orti botanici, i gabinetti e gli altri centri di ricerca sorsero nel Meridione solo all'inizio dell'Ottocento. Anche gli osservatori meteorologici cominciarono a operare tardi rispetto alle altre zone d'Italia: a Napoli Giuseppe Cassella (1755-1808) ottenne dal re Giuseppe Bonaparte un Osservatorio astronomico e specola meteorologica nell'ex monastero di San Gaudioso nel 1807, che funzionò solo per pochi mesi prima della morte del suo promotore; nel 1812 fu istituito l'Osservatorio astronomico di Capodimonte a Miradois, che avviò le osservazioni meteorologiche nel 1821 con Carlo Brioschi (1781-1833) e nel 1845 venne inaugurato l'Osservatorio meteorologico vesuviano affidato alla direzione di Macedonio Melloni (1798-1854). Nelle province del Regno osservazioni meteorologiche istituzionalizzate iniziarono a essere eseguite dalle Società economiche, fondate nel 1810 da Gioacchino Murat. Oronzo Gabriele Costa (1787-1867) fu il primo a effettuare osservazioni continuative nell'osservatorio della Società di Terra D'Otranto dal 1811 al 1823, finché non si trasferì a Napoli (Nuovo corso completo, 1832, p. 182). Prima dell'Unità d'Italia i meteorologi furono tanti e molto attivi; alcuni di questi lavorarono fuori dal Regno, dando un contributo alla costituzione di un'organizzazione meteorologica nazionale (Beltrano, Cantù & Iafrate, 2004).

Nella seconda metà del XVIII secolo grande impulso allo sviluppo degli studi di meteorologia nel Sud d'Italia fu dato da Giuseppe Maria Giovene. Questi, originario di Molfetta in Puglia, laureato in *utroque Iure* a Napoli e, poi, consacrato sacerdote, associò gli impegni ecclesiastici agli interessi per la scienza e il progresso tecnico (Filioli, 1837; Tripaldi, 1841; Pizzaleo, 2001). Come molti degli intellettuali napoletani che aderirono al programma riformatore di Genovesi, si applicò allo studio di quelle scienze, che potevano maggiormente contribuire alla crescita delle industrie umane e all'emancipazione della

popolazione, come l'agronomia. Si occupò di descrivere alcune malattie degli ulivi e indicò i modi per ridurne i danni sulla resa dei raccolti. Confrontò le tecniche più avanzate per la molitura delle olive, promuovendo l'introduzione nei frantoi di Puglia del sistema "alla Genovese". Giovene cercò di capire i reali bisogni di un'agricoltura e di una manifattura locale, frenate nel loro sviluppo da viete consuetudini e dal lassismo dei proprietari, impegnandosi, soprattutto negli ultimi due decenni del XVIII secolo, nell'informazione agronomica.

In questo progetto trovavano spazio gli studi di meteorologia campestre, cioè l'analisi degli eventi atmosferici in relazione all'andamento della produzione agricola e alla ricorrenza delle patologie stagionali. Fu l'abate Toaldo[1] a suggerire al molfettese di applicarsi agli studi di meteorologia, a fornirgli i primi strumenti e a incoraggiarlo a pubblicare i dati raccolti (Giovene, 1839-41, vol. 2, pp. 276-277).

Giovene scrisse dieci *Discorsi meteorologico-campestri* dal 1788 al 1797, nei quali riportò il quadro dell'andamento dell'anno, ricavato dalle osservazioni di temperatura, pressione, umidità, piovosità, direzione e forza dei venti ed elettricità atmosferica, rapportato alla stagione agricola e all'incidenza delle malattie. Nel corso degli anni scrisse anche altre opere, in cui avanzò ipotesi sulle caratteristiche del clima del Regno. Con l'intento di definire le potenzialità di una scienza utile, il molfettese non si limitò al commento dei dati meteorologici annuali, ma invitò a ricavare delle serie coerenti per poter effettuare previsioni per il futuro. Definì un metodo, che chiamò "principio della compensazione del più col meno di un anno coll'altro" (Giovene, 1839-41, vol. 2, p. 342), che stabiliva che nello stesso luogo e nei vari periodi dell'anno il comportamento meteorologico non poteva discostarsi di molto dalla media delle osservazioni fatte in precedenza. Poiché "tutto nella natura è in regola" (Giovene, 1839-41, vol. 2, p. 36), si potevano ipotizzare fluttuazioni abbastanza vicine ai valori medi ricavati dalle serie storiche e compensazioni cicliche (in alcuni passi parlò di periodo di nove anni) per eventi straordinari. Le sue previsioni non erano anticipazioni nel senso moderno, realizzate sulla base della valutazione della situazione presente dei cieli, ma indicazioni statistiche ricavate dai dati del passato. Giovene, però, invitava a usare buon senso, perché la previsione si basava sulle "intenzioni", cioè sulle tendenze della natura. Essa aveva solo un certo grado di probabilità e non la certezza assoluta.

Inoltre, Giovene fornì una sua spiegazione dei fenomeni atmosferici, riconducendo ogni evento all'azione di un'unica causa. Ipotizzò l'esistenza di un flusso continuo di fluido elettrico dalla terra all'atmosfera, capace di provocare la condensazione o il dilatamento delle masse aeree e, quindi, l'innalzamento o abbassamento della pressione atmosferica, la formazione di nubi, i temporali, la formazione di nebbie, ecc. Ma l'elettricità non era responsabile solo degli eventi meteorologici più comuni, ma anche di fenomeni ottici particolari, come le aurore boreali, le "lavandaje" (miraggi che si manifestano in Puglia, simili alle Fate morgane), oppure dell'apparizione dei "bolidi" (cioè meteoriti).

In sintesi, Giovene elaborò una teoria dei fenomeni meteorologici e indicò come la loro conoscenza potesse essere utilizzata a vantaggio della popolazione, soprattutto per migliorare le attività produttive.

Per delineare il suo apporto agli studi meteorologici, si dispone, oltre che delle opere edite, anche di una raccolta di carte, conservate nel fondo D'Addosio della Biblioteca nazionale di Bari, comprendenti una parte della sua corrispondenza, opere inedite e note di lavoro. L'archivio di Giovene non si è conservato integralmente; esso aveva già subito diverse frammentazioni nelle mani dell'erede Luigi Marinelli Giovene, fino a quando alla fine del XIX secolo fu acquisito dalla Biblioteca consorziale. La collocazione nel fondo D'Addosio probabilmente è scaturita dalla confusione creatasi durante l'intervento di riordino, condotto dal direttore Raffaele D'Addosio, sui manoscritti di Giovene insieme a quelli dell'avo Giuseppe, donati nello stesso momento alla biblioteca. Il materiale è corposo e in parte inedito, tanto da renderlo un *unicum* per gli studiosi della storia della scienza meridionale. Esso è stato esaminato parzialmente dagli storici interessati o al movimento riformatore (Salvemini, 1980) o al collezionismo

[1] Giovene inviò i dati meteorologici da lui raccolti a Toaldo, ma non rientrò a pieno titolo nella rete patavina (Giovene..., 1789).

antiquario (Toscano, 2007) oppure alle vicende della nitriera del Pulo (Finzi & Grieco, 2015). Manca, invece, uno studio accurato delle ricerche scientifiche di Giovene: in particolare, il ruolo da lui svolto nello sviluppo della meteorologia italiana.

2. Il lavoro di un meteorologo

L'esame dei manoscritti di Giovene posseduti dalla Biblioteca nazionale di Bari, che è tuttora in corso, ha consentito innanzitutto di chiarire molti aspetti della pratica delle osservazioni meteorologiche.

Nelle opere pubblicate Giovene riferiva di eseguire le rilevazioni dei dati strumentali dal terrazzo della sua abitazione prospicente al mare, a circa 12 metri di altezza (36,5 piedi parigini) oppure dalla casa di villeggiatura nella campagna molfettese, in una piana aperta, dove si recava in genere ad ottobre. Nominava anche gli strumenti. Il primo nucleo gli era stato fornito dall'abate Toaldo e comprendeva il termometro a scala di Reaumur di 80 gradi, che aveva posto in ombra su una parete a nord; il barometro "a boccia", che osservava dall'interno del suo studio, "vasi e misure" per registrare la quantità di pioggia caduta. Per la stima dell'umidità atmosferica si serviva dell'igrometro a penna d'oca di Chiminello. Nella lettera inviata il 17 luglio 1788 quest'ultimo ringraziava Giovene per aver commissionato l'apparecchio; il molfettese aveva chiesto che fosse aggiunta una scala più lunga e, inoltre, delle osservazioni igrometriche come *exemplum* (Archivio D'Addosio, B. 25, f. 3). Chiminello gli spiegava di aver graduato il suo strumento tenendo la scala più bassa, perché si era reso conto che valori alti erano rari; comunque, il meccanico della Specola avrebbe potuto realizzare lo strumento come da lui richiesto. Gli proponeva anche l'apparecchio standard, quello con il termometro e il barometro integrati al prezzo di 5 zecchini. Chiminello gli mandava alcune osservazioni realizzate in fretta, che non erano quelle chieste da Giovene, il quale voleva che valutasse comparativamente umidità e elettricità atmosferica. Purtroppo, l'abate padovano non aveva ancora montato l'elettrometro per fare per lui delle osservazioni.

Giovene riuscì a procurarsi anche un barometro "a pozzo" e "a livello galleggiante" di Dollond. Probabilmente era stato acquistato per lui da Giuseppe Saverio Poli, visto che uno simile era anche nel suo gabinetto. Il 13 settembre 1794 Poli gli descriveva il modo con cui rabboccare il livello del mercurio, quando diminuiva al punto da non riempire tutto il tubo, invitandolo a utilizzare "il mercurio purissimo, com'è quello, ch'io vi mandai" (Archivio D'Addosio, B. 25, f. 6). Gli diceva anche che non riusciva per ora a procurargli l'igrometro a capello, perché a Ginevra s'incontravano difficoltà, e probabilmente sarebbe stato in grado di farglielo costruire in Inghilterra. Gli avrebbe mandato più in là anche il conto delle macchine già spedite.

Giovene possedeva anche un "apparato elettroscopio-atmosferico" di Volta. Quest'ultimo era stato costruito da Luca de Samuele Cagnazzi, e Giovene lo utilizzava o con un filo di ottone terminante a spirale e lo zolfarello con un filo, che lambiva un lanternino con la fiamma messo su un'asta isolante. L'apparato si completava con due elettrometri, uno a paglie più piccole, l'altro a paglie più grosse (costruiti anche questi da Cagnazzi). Giovene aveva notato che l'elettrometro diventata più sensibile riscaldandolo, tanto da ottenere gli stessi risultati sulle deboli tensioni, che Volta era riuscito ad avere con l'aggiunta del condensatore. Purtroppo la corrispondenza con Cagnazzi, che si è conservata, appartiene agli ultimi anni della vita di Giovene e riguarda questioni socio-politiche e non scientifiche.

Giovene, su invito di Pierre Thouvenel (1745-1815), utilizzò anche delle lastre di ferro, zinco e rame per valutare l'ossidazione durante i vari periodi dell'anno e ricavare dati eudiometrici. In realtà, questo metodo non fornì risultati rilevanti, come dichiarò al francese (Archivio D'Addosio, B. 36, f. 8),[2] fornendogli, in alternativa i riscontri che aveva elaborato in vent'anni di osservazioni meteorologiche sulla relazione tra venti, umidità e ricorrenza delle malattie.

[2] La lettera fu pubblicata in Thouvenel, 1806, vol. 1, pp. 173-178, da cui si ricava anche la data: Molfetta, 6 ottobre 1804.

Il fascicolo 42/12 del fondo D'Addosio è un grosso zibaldone di meteorologia. Questi fogli (forse un migliaio), sciolti nella maggior parte dei casi, fanno percepire la varietà e complessità del lavoro di un meteorologo dell'epoca, che non consisteva solo nella registrazione dei dati, ma nella rielaborazione in tabelle mensili, annuali, per medie, termometriche, della pioggia, ecc., nel confronto con le informazioni lette nei giornali, nella corrispondenza con i collaboratori sparsi sul territorio e nella redazione di riassunti sull'andamento climatico di un luogo o di un periodo. Il materiale è disordinato, non è realizzato dalla stessa mano (Giovene si serviva di aiutanti, ma, mescolate tra le sue carte, ci sono anche tabelle e carte a lui spedite) ed è molto vario nella stessa tipologia di testi prodotti. I documenti più antichi risalgono al 1786 e quelli più tardi al 1823. La raccolta di dati non è eseguita sempre con lo stesso metodo. Anche in periodi molto ravvicinati, Giovene elaborava schemi diversi, che potevano rispecchiare particolari esigenze di ricerca. Solo in alcuni casi ci sono annotazioni. Per esempio, nella tabella termometrica del 1793 si avvisa che "Il termometro era a settentrione, al coperto della riflessione de' raggi solari per quanto è stato possibile. Le ore sono astronomiche della sera. Qualche volta in mancanza delle osservazioni della sera, si sono notate quelle della mattina con una M".

Si sono conservati rilegati e completi solo quattro diari giornalieri delle osservazioni, mentre molti sono i fogli sparsi. Due giornali sono più antichi: uno è datato 1786 e riporta solo la descrizione dello stato del cielo e la direzione del vento; il secondo, che probabilmente è del 1788, riporta vento, stato dell'aria e pioggia (da maggio si aggiunge la pressione e la temperatura con una sola misura al giorno). In alcune righe mancano le indicazioni. Gli altri due diari sono del 1808 e 1811. Nel 1808 Giovene riportò le misure realizzate con entrambi i suoi barometri, indicando sempre i valori in pollici, linee e duodecimi per tre volte al giorno. Inoltre, il secondo ha due scritture diverse: nei primi mesi le misure sono eseguite da Giovene; negli altri da un suo sostituto. Negli ultimi anni Giovene utilizzava un protocollo che era molto simile a quello dell'osservatorio di Padova: misure barometriche, termometriche, igrometriche, pioggia caduta e direzione dei venti, oltre alla descrizione dello stato dei cieli. Non c'era l'annotazione dei punti lunari.

3. I contatti scientifici

La corrispondenza scientifica di Giovene è contenuta in due cartelle. Si tratta nella maggior parte dei casi di missive inviate al molfettese e senza risposte. Il numero dei corrispondenti è 175 e le lettere quasi un migliaio. I corrispondenti non italiani sono 9. Questo carteggio è certamente lacunoso.

Soffermandosi su alcuni gruppi di lettere, senza voler essere esaustivi, emergono notizie interessanti sull'attività di Giovene nel campo della meteorologia. Il molfettese dette importanza alla comparazione delle osservazioni realizzate in luoghi diversi. Creò una rete sul territorio di studiosi che raccoglievano dati meteorologici e li condividevano con lui: Luca de Samuele Cagnazzi di Altamura, Orazio Delfico di Teramo, Gaetano de Lucretiis di Sansevero, Giovanni Zerella di Ariano, Giuseppe Cassella di Napoli, il medico Francesco Antonio Notarianni di Fondi, Pasquale Di Vona di San Giovanni Incarico, il gireconsulto Giannantonio Cassitto di Bonito, il soprintendente degli studi Emanuele Mola di Bari, il medico Cosimo Moschettini di Martano, il primicerio Filippo Carelli di Conversano. Attraverso la corrispondenza si ricostruisce, anche se parzialmente, questo incrocio di indagini e in qualche caso si recupera anche il materiale grezzo (tabelle e sintesi) inviato a Giovene.

Il molfettese costituì per tutta la sua vita un punto di riferimento per quanti si applicarono a questa scienza. Tra le lettere si trova quella dell'ingegnere Giuseppe Campanella di Locorotondo inviata il 1° gennaio del 1829, che riporta il quadro sintetico delle osservazioni eseguite dall'abitazione dai fratelli de

Convertini.[3] Campanella era già in contatto con i soci della Società economica di Lecce, che lo avevano invitato a mettere Giovene a parte delle sue osservazioni. Da Palo gli scriveva Saverio Coniglione. Anche i suoi collaboratori diretti eseguirono osservazioni meteorologiche: ad esempio, Pietro Filioli fu mandato a Padova a formarsi con Chiminello e poi ebbe l'onere d'inviargli annualmente i valori della pioggia caduta; Andrea Tripaldi eseguì per 42 anni regolari osservazioni meteorologiche presso il Seminario vescovile e nel 1823 con la mediazione del suo mentore inviò a Heinrich Wilhelm Brandes (1777-1834), astronomo di Gottinga, i rilievi su una eccezionale variazione barometrica occorsa nel 1821 e da questi pubblicati negli *Annalen der Physik* (Brandes, 1823, p. 76).

3.1. L'abate Chiminello a Giovene (Archivio D'Addosio, 25/3)

Dieci sono le lettere inviate da Vincenzo Chiminello (1741-1815) in un arco di vent'anni. La prima del 17 luglio 1788 definiva gli accordi per l'invio di un igrometro e si completava con una tabella di dati meteorologici realizzata da Chiminello dal 16 al 18 luglio. Le altre lettere vanno dal 1802 al 1808 e contengono riferimenti a eventi meteorologici eclatanti appena osservati o riferiti da altri. È molto probabile che questa corrispondenza fosse stata regolare anche negli anni precedenti, benché le lettere siano disperse. Chiminello forniva o chiedeva informazioni che i due potevano usare nelle proprie considerazioni dell'andamento dell'anno meteorologico. Nella lettera del 12 dicembre 1802 Chiminello inviava alcune copie del suo *Giornale*, perché Giovene le distribuisse ai "colleghi osservatori di codeste parti", sapendo che lui aveva raccolto intorno a sé una rete di studiosi, che effettuavano osservazioni sotto il suo coordinamento. Molto interessante è la lettera del 21 dicembre 1803, nella quale Chiminello commentava le teorie, che Giovene aveva esposto nelle ultime opere: per quanto riguardava la relazione tra variazione di pressione ed elettricità atmosferica, Chiminello restava scettico, poiché riteneva che si dovesse attribuire più efficacia agli urti tra "la materia delle meteore sorgenti dalla terra nell'aria, onde ne sostiene una parte del peso per tutto il tempo che seguita a sgorgare" piuttosto che alla loro natura elettrica[4]; per quanto riguardava il principio di compensazione dei fenomeni atmosferici, Chiminello dubitava che fosse valido in ogni caso, perché i valori rilevati dai vari strumenti potevano contraddirsi e, quindi, non c'era modo di capire se dare rilievo a uno o all'altro parametro. Dalla lettera del 7 giugno 1804 si apprende che Giovene aveva commissionato a Chiminello la costruzione di cinque termometri da affidare al meccanico della Specola di Padova, probabilmente destinati ai suoi corrispondenti. Nell'ultima lettera del 25 dicembre 1808 Chiminello ringraziava delle osservazioni sull'andamento della pioggia, che da quel momento in poi gli sarebbero arrivate dal fratello Graziano Maria Giovene, che già in varie occasioni aveva sostituito l'arciprete nelle osservazioni (Giovene, 1839-41, vol. 2, p. 238).

3.2. Gaetano De Lucretiis a Giovene (Archivio D'Addosio, 25/5 e 26/1)

Si sono conservate 6 lettere del vicario capitolare di San Severo, Gaetano De Lucretiis (1745-1817), e vanno dal 1790 al 1809 e una memoria sui topi indirizzata a Luca de Samuele Cagnazzi. De Lucretiis, appassionato di scienze naturali, agronomia e medicina, membro dell'Accademia dei Georgofili, fu tra i diretti collaboratori di Giovene nella raccolta dei dati meteorologici per la Puglia. Proprio nella prima lettera del 20 febbraio 1790 De Lucretiis scriveva che la somma di denaro già inviata doveva servire come rimborso per le spese relative agli strumenti meteorologici, che Giovene gli avrebbe fornito per assicurarsi osservazioni comparabili. La stessa lettera comprendeva un saggio sui danni alla coltivazione del grano provocati nell'autunno del 1790 dall'aumento eccezionale dei topi, che Giovene riportò per

[3] Non si conosce l'identità precisa di questi osservatori. Probabilmente tra loro c'era il medico Angelo Convertini (1771-1831), che era una personalità influente al tempo e un intellettuale interessato a promuovere lo sviluppo del territorio.

[4] In realtà, in un'altra lettera del 4 febbraio 1806 sostenne che il fuoco elettrico era causa sia dei fenomeni atmosferici che dei terremoti.

intero nel suo *Discorso meteorologico campestre* di quell'anno (Giovene, 1839-41, vol. 2, pp. 53-57). La lettera del dicembre 1793 conteneva un vero e proprio saggio meteorologico, in cui alla descrizione dell'andamento dei fenomeni atmosferici si aggiungevano notizie sulla vegetazione e produzione delle campagne e sulla salute umana. De Lucretiis, spediva le sue tabelle contenenti dati meteorologici, di cui si fa menzione nelle opere pubblicate da Giovene, ma non si trovano nella corrispondenza.

3.3. Giovanni Zerella a Giovene (Archivio D'Addosio, 26/8)

Cinque sono le lettere del "dottore fisico" di Ariano, Giovanni Zerella (1744-?), e coprono il periodo 1794-1809. Zerella nel 1811 divenne socio corrispondente della Società economica del Principato ulteriore e in questa veste scrisse un "Quadro statistico sulla forma e produttività del suolo", contenente la corografia del territorio di Ariano, notizie storiche sul clima e sulla salute umana, che doveva essere inviato al ministro dell'Interno per la compilazione della *Statistica del Regno di Napoli del 1811*. Il testo di Zerella, conservato nell'archivio civico di Ariano, è stato pubblicato da Zazo nel 1968. Per conto della Società economica continuò a eseguire osservazioni meteorologiche fino al 31 dicembre del 1813. Nel 1816 inviò alla stessa Società un quadro della pioggia relativo agli anni 1791-1801 (Zerella, 2007). Le rilevazioni eseguite in quello stesso periodo furono comunicate a Giovene, che ne riportò i dati nei sui *Discorsi meteorologico-campestri*. Tuttavia Zerella aveva iniziato anche prima a registrare dati barometrici e termometrici, come riferì nel 1811. La corrispondenza con Giovene è centrata principalmente sulle questioni meteorologiche. Il 2 febbraio 1794 riportò le sue impressioni sul *Discorso* dell'arciprete appena ricevuto: Zerella non era d'accordo sul ciclo ridotto a nove anni, confessando di privilegiare, come Toaldo, quello di 18, ma non aveva osservazioni così estese per confermarlo. Nel 1807 gli inviava una tabella delle medie di temperatura e pressione atmosferica relativa all'anno precedente, insieme a una indicazione descrittiva delle condizioni meteorologiche di ogni mese.

Nel fascicolo 42/12 del fondo D'Addosio si ritrovano anche due diari delle osservazioni di Zerella, il primo relativo al secondo trimestre del 1794 e il secondo ai primi due del 1798. In quest'ultimo anno si riportavano le misure effettuate con due termometri, uno con scala di Réaumur e uno Fahrenheit. In entrambi s'indicavano i punti lunari, come nelle tabelle dell'Osservatorio di Padova.

4. Il progetto di una società meteorologica per il Sud

Convinto che l'agricoltura avrebbe tratto notevole vantaggio da più accurate indagini meteorologiche, Giovene nel 1791 concepì l'idea di stabilire una "società di meteorologia" per il Regno di Napoli. L'iniziativa aveva come modello quello della Società meteorologica palatina. Giovene, appoggiato dal teramano Melchiorre Delfico (1744-1835), aveva cercato di ottenere la collaborazione di Giuseppe Cassella,[5] docente di astronomia nautica nel Real Collegio di Artiglieria, per avviare una società meteorologica napoletana. Delfico riferì a Giovene che Cassella gli sembrava troppo preoccupato delle difficoltà, anziché essere interessato ai vantaggi delle osservazioni meteorologiche, che avrebbero potuto essere "una dipendenza della sua professione, ed un'appendice alle arti marine" (Delfico, 1791). Sostenendo di non avere spazio sufficiente nella sua abitazione per impiantare un osservatorio, Cassella propose a Giovene di procrastinare l'iniziativa, come gli scrisse il 14 maggio 1791:

> Voi mi scrivete per l'erezione di una società Meteorologica nel Regno; e il sig. Delfico me ne ha fatte, e me ne fa delle molte premure. Anche io conosco che la cosa oltre a che potrebbe recare infatti vantaggi alla Fisica, ne apporterebbe certo moltissimi alla Agricoltura, specialmente nazionale, ove si scarseggia di cognizioni di questa specie, quantunque, come voi vedete più che negli altri Stati la coltivazione sia una delle principali industrie, anzi la sola, che vi si adoperi. Io non saprei che dirvi. Per questo vi sarebbe

[5] Nell'Archivio D'Addosio si conservano 6 lettere di Cassella a Giovene, che vanno dal 1791 al 1804.

> bisogno di una casa propria, intendo a questo fine, senza il qual mezzo è inutile, anzi non possono intraprendersi osservazioni di questa sorta. E la casa dove abito al presente, siccome in tutte quelle, che sono destinate ad abitazioni manca di questo comodo, e non posso procurarmelo senza un notabile dispendio, superiore alle mie facoltà economiche.
> Anche gl'istrumenti meteorologici, quantunque di piccola spesa, pure per la varietà e pel pericolo di rompersi, a cui sono soggetti, e per la necessaria corrispondenza delle lettere per le già fatte osservazioni, recano non picciolo dispendio. Non per questo dobbiamo abbandonare l'impresa, specialmente essendo di tanta utilità, ma differiamo la cosa fino a che ci si apra una strada, onde si abbia un mezzo più proprio per poter ottenere il nostro intento. Intanto intendiamocela insieme, e voi scrivetemi i vostri pensamenti. (Cassella, 1791)

Proprio in quell'anno il re concesse a Cassella l'istituzione di una specola da realizzarsi nel Palazzo dei regi studi, destinato ad accogliere anche il Museo e l'Accademia delle arti e delle scienze. La specola non fu mai ultimata, ma l'astronomo poté occupare alcune stanze nel sottotetto dell'edificio, dove pose i suoi strumenti. In un'altra lettera del 20 novembre 1791 Cassella riferì a Giovene che era in attesa di ricevere l'avviso su una commissione di strumenti meteorologici, che dovevano provenire da Padova tramite l'abate Toaldo. Nel 1794 la costituzione della società meteorologica sembrava avviata, perché Cassella informava Giovene che avrebbe accolto i soci da lui segnalati, come de Sterlich e Zerella, pregandolo di verificare la loro disponibilità, visto che con quelli non aveva contatti diretti. Scriveva:

> Faremo un piano di tutto, e il conto della spesa sarà rigoroso. Desidererei che i socj si obbligassero alla comunicazione delle osservazioni per cinque anni almeno, i quali compiuti resta a loro arbitrio il volere, o no proseguire. Resta però a superarsi una difficoltà: che crescendo il numero de' socj, cresce alla società il peso della stampa: dapoiché è mia intenzione di pubblicare l'intero sunto delle osservazioni di ciascuno, con qualche riflessione: e per la stampa di quest'anno si richiede la spesa di circa ducati dieci, come non vi dee essere ignoto... Così si potrà cominciare con pochi ed aspettare un maggior numero di socj, quando siano persuasi di corrispondere per la stampa. (Cassella, 1794)

Non si hanno notizie precise sull'attività di Cassella nell'ultimo decennio del XVIII secolo. Molto probabilmente continuò a fare osservazioni in condizioni precarie, coltivando, comunque, i contatti con i maggiori astronomi (Capaccioli, Longo & Olostro Cirella, 2009, p. 108). Giovene riferì di aver ricevuto da lui l'intero giornale delle osservazioni meteorologiche del 1797 (Giovene, 1839-41, vol. 2, p. 239).

Il progetto d'istituire osservatori meteorologici nel Regno per le necessità dell'agricoltura fu proposto più volte nei primi decenni dell'Ottocento. Nell'edizione napoletana del *Nuovo corso completo di agricoltura teorica e pratica*, alla voce "pioggia" (Nuovo corso completo, 1832, vol. 22, p. 183), si faceva menzione di un primo tentativo delle autorità di governo d'istituire tre osservatori nel Regno, collocati in zone diverse, in modo da poter valutare i dati meteorologici, soprattutto la quantità di pioggia caduta, in relazione alle aree specifiche del territorio. Le Società economiche fondate nel 1810 ebbero tra i propri compiti anche quello di realizzare osservazioni meteorologiche, ma nella maggior parte dei casi non riuscirono a metterlo in atto. Fu, poi, l'Accademia delle scienze di Napoli che tentò di realizzare l'obiettivo, proponendo un osservatorio sul fiume Sebeto. Su richiesta, Giovene comunicò le sue riflessioni in una nota, non datata, che è conservata manoscritta (Archivio D'Addosio, B. 42, f. 6). Innanzitutto, per la varia conformazione geofisica del Regno il molfettese riteneva necessario estendere il numero delle stazioni, creandone almeno una in ogni provincia. Nei dintorni di Napoli, per esempio, poteva istituirsi una sul Monte Vergine, un'altra vicino alla solfatara e una terza a Monte Cassino, affidando il compito di eseguire le misurazioni agli ordini ecclesiastici che lì avevano i rispettivi conventi. Ogni osservatorio doveva ricevere gli strumenti e le indicazioni, in modo che i dati fossero comparabili. Ma l'idea più originale di Giovene era quella di associare alle osservazioni meteorologiche anche rilievi diversi: per esempio, nei pressi del Vesuvio potevano farsi osservazioni magnetiche, in modo da verificare l'influenza dell'attività vulcanica sulla direzione e l'inclinazione dell'ago magnetico; mentre in altri osservatori si sarebbero

potuti conficcare nel terreno fili metallici per valutare l'entità dell'elettricità sotterranea: "Chi sa quali cognizioni ne risulterebbero. Ma i miei anni, e i miei gravi incomodi non mi permettono se non accennare le cose, che gli illustri Soci sapranno bene valutare queste mie idee, e distenderle, modificarle, e migliorarle". Nel primo decennio dell'Ottocento osservazioni esatte e prolungate erano mancate. Giovene non aveva visto male nell'auspicare un'estensione ramificata sul territorio delle stazioni di osservazione per una raccolta di serie di dati comparabili.

5. Conclusioni

Le osservazioni meteorologiche nel XVIII secolo in Italia furono abbastanza sporadiche, se si eccettua l'attività realizzata a Padova, Bologna e in pochi altri osservatori. Nel Regno di Napoli nella seconda metà del Settecento Giuseppe Maria Giovene riunì intorno a sé un gruppo di persone colte interessate a trarre dall'osservazione del tempo atmosferico indicazioni utili per le attività agricole e tutela della salute della popolazione. L'archivio di Giovene, conservato presso la Biblioteca nazionale di Bari, contiene appunti, giornali di osservazioni, corrispondenza e memorie inedite relative a ricerche meteorologiche, condotte dalla fine degli anni Ottanta del XVIII secolo ai primi decenni del successivo. Queste carte rappresentano una fonte preziosa d'informazioni. Esse richiedono, però, un lungo e accurato lavoro di analisi, ora appena avviato. Confrontando questo materiale con gli scritti, è possibile definire con maggiore dettaglio il lavoro compiuto da Giovene nel tracciare il percorso di una scienza, che soprattutto nel Sud d'Italia aveva pochi precedenti, ma che si allineava con le aspettative culturali del movimento riformatore illuministico.

L'istituzionalizzazione della meteorologia avvenne più tardi e fu promossa dal cambiamento di potere con l'ascesa dei napoleonidi. L'esperienza di Giovene, partita dalla provincia napoletana intellettualmente più attiva, rimase, comunque, isolata, benché proprio l'arciprete avesse in più occasioni perorato per la creazione di un'accademia meteorologica nel Regno sul modello di quelle europee più importanti. Giovene fu refrattario a uscire dall'abito del funzionario ecclesiastico, cadetto di una famiglia nobile, che considerava la conoscenza uno strumento di civiltà e progresso e non riuscì ad infondere un indirizzo personale e duraturo alla scienza del suo tempo e neanche alla meteorologia, nonostante l'apprezzamento che di lui avevano fatto studiosi italiani e stranieri.

Bibliografia

Beltrano, M.C., Cantù, V. & Iafrate, L. (2004). "Storia delle istituzioni meteorologiche e degli studiosi della meteorologia nel Mezzogiorno d'Italia: una trama", in Società Italiana per il Progresso delle Scienze (ed.), *Personaggi e istituzioni scientifiche nel Mezzogiorno dall'Unità d'Italia ad oggi*, Atti del convegno, Avellino, 28-29 novembre 2003. Roma: Accademia delle Scienze, pp. 231-278.

Bertucci, P. (2009). "Enlightening Towers: Public Opinion, Local Authorities and the Reformation of Meteorology in Eighteenth Century Italy", in Heering, P., Hochadel, O. & Rhees, D. (eds.), *Playing with Fire*. Philadelphia: American Philosophical Society.

Brandes, H.W. (1823). "Nachrichten über den neufien Fall (2 Febr. 1823) eines ausserordentlich schnellen und tiefen Sinkens des Barometers", *Annalen der Physik und der physikalischen Chemie*, 74(5), pp. 65-76.

Camuffo, D. (2002). "History of the Long Series of Daily Air Temperature in Padova (1725-1998)", in Camuffo, D. & Jones, P. (eds.), *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. Dordrecht: Springer.

Camuffo, D. & Della Valle, A. (2023). "Tre serie meteorologiche storiche: Firenze, Bologna e Padova", *Quaderni di Storia della Fisica*, 30, pp. 1-21.

Capaccioli, M., Longo, G. & Olostro Cirella, E. (2009). *L'astronomia a Napoli dal Settecento ai giorni nostri*. Napoli: Guida.

Casati, S. (1990). "Giuseppe Toaldo: la luna, il saros e le meteore", *Nuncius*, 5(1), pp. 17-42.

De Luc, J.A. (1772). *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*. Geneva: J.A. De Luc.

Feldman, T.S. (1990). "Late Enlightenment Meteorology", in Frangsmyr, T., Heilbron, J. L. & Rider, R.E. (eds.), *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*. Berkeley: University of California Press, pp. 143-179.

Filioli, P. (1837). "Giuseppe Maria Giovene, arciprete della cattedrale Chiesa di Molfetta. Necrologia", *Annali Civili del Regno delle due Sicilie*, 13, pp. 35-51.

Finzi, G. & Grieco, O. (a cura di) (2015). *Convegno di studi sul Pulo di Molfetta. Dal salnitro alle problematiche di tutela. Un luogo unico che custodisce il genius loci del territorio*. Molfetta: La Nuova Mezzina.

Giovene, G.M. (1839-1841). *Raccolta di tutte le opere*, Marinelli Giovene, L. (a cura di). Bari: Cannone.

Nuovo corso completo di agricoltura teorica e pratica (1832), vol. 22. Napoli: Minerva.

Pizzaleo, A. (2001). "Giovene, Giuseppe Maria", *Dizionario biografico degli Italiani*, 56, pp. 408-410.

Proverbio, E. (2003). "Giovan Battista Beccaria e l'insegnamento della fisica a Torino", *Atti della Fondazione Giorgio Gronchi*, 58(5), pp. 597-687.

Salvemini, B. (1980). "Propaggini illuministiche. Intellettuali 'nuovi' e sviluppo dipendente in Puglia tra Settecento e Ottocento", *Lavoro Critico*, 20, pp. 145-198.

Thouvenel, P. (1806). *Mélanges d'Histoire naturelle, de physique et de chimie*. Paris: De Valade.

Toscano, M. (2007). "The figure of the naturalist-antiquary in the Kingdom of Naples. Giuseppe Giovene (1753/1837) and his contemporaries", *Journal of History of Collections*, 11, pp. 225-237.

Tripaldi, A. (1841). *Elogio storico del Canonico Arciprete Giuseppe Maria Giovene*. Modena: Tipi della R.A. Camera.

Zanini, V. (2023). "Giuseppe Toaldo e il Giornale Astro-Meteorologico", *Quaderni di Storia della Fisica*, 30, pp. 23-36.

Zazo, A. (1968). "Ariano irpino in un 'Quadro statistico sulla forma e produttività del suolo' (1811)", *Samnium*, 38 (1-2), pp. 82-86.

Zerella, G. (2007). "Ariano Irpino (1811). Quadro statistico sulla forma e produttività del suolo", *Vicum*, 25(4), pp. 173-180.

Fonti d'archivio

Giovene Giuseppe, canonico. Molfetta (1789), Archivio storico dell'Osservatrio Astronomico di Padova. *Osservazioni scientifiche. Osservazioni meteorologiche. Osservazioni meteorologiche dei corrispondenti di Giuseppe Toaldo*. B. 2, f. 1.

Archivio D'Addosio, Biblioteca Nazionale di Bari (di seguito BNB), BB. 25-42.

Cassella, G. (1791). Lettera a Giuseppe Maria Giovene, Napoli, 14 maggio. BNB, *Archivio D'Addosio*, B. 25.

Cassella, G. (1794). Lettera a Giuseppe Maria Giovene, Napoli, 6 settembre. BNB, *Archivio D'Addosio*, B. 25.

Delfico, M. (1791). Lettera a Giuseppe Maria Giovene, Napoli, sabato santo. BNB, *Archivio D'Addosio*, B. 25.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_13, pp. 115–122
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-13

Il passaggio della Cometa C/1861 J1 (Tebbutt) nel 1861. I disegni di Angelo Secchi e la tempera *Cometa di S. Pietro*, storia e restauro.

Tiziana Macaluso[1]

[1]INAF - Osservatorio Astronomico di Roma, Monte Porzio Catone (Rm), tiziana.macaluso@inaf.it.

Abstract: Il 30 giugno 1861, durante i festeggiamenti dei santi patroni di Roma, Angelo Secchi osservò il passaggio della Cometa C1861 J (Tebbutt), avvistata nell'emisfero australe diversi giorni prima. Secchi tracciò alcuni disegni della Cometa di S. Pietro su due quaderni di osservazione che illustrano studi e calcoli del nucleo e della coda. Questi disegni, tradotti in incisione da Giovanni della Longa (1823-1888) in una tavola fuori testo nell'opuscolo *Osservazioni e ricerche astronomiche sulla grande cometa del giugno 1861*, sono fedeli rappresentazioni dell'astro e studi preparatori della tempera *Cometa di S. Pietro*, disegnata da Angelo Secchi su un supporto cartaceo. Il disegno a tempera si trovava in uno stato conservativo mediocre ed è stato restaurato. I disegni, la tavola e la tempera sono conservati nel Fondo iconografico dell'Osservatorio Astronomico di Roma.

Keywords: Cometa C/1861 J1, Cometa di S. Pietro, Angelo Secchi, Giovanni della Longa.

1. Il passaggio della Cometa C/1861 J1 (Tebbutt)

Il 13 maggio 1861 John Tebbutt, un astronomo dilettante australiano, durante le osservazioni del cielo con un cannocchiale si soffermò su una nebulosa non nota e qualche giorno dopo nei diari concluse di aver individuato una Cometa, che prese il suo nome.

> On the evening of May 13, 1861, while searching the western sky for comets, I detected a faint nebulous object near the star Lacaille 1316 in the constellation Eridanus. In my marine telescope the object appeared much diffused, and it was with the greatest difficulty that I measured its distance from three well known fixed stars. The object was hardly distinguishable in the small telescope attached to the sextant... Every comet hunter knows how necessary it is to the carrying out of his work to have at hand a copious catalogue of nebulae, but this valuable adjunct I unfortunately did not possess. I could not, however, find the object in the limited catalogues at my command. I accordingly made up my mind to watch it... I rose on the following morning to examine it, but failed to detect any change in its position... The evening of the 15th was cloudy, but on the following evening the nebula was found to occupy sensibly the same position as on the night of discovery. I had now almost given up hope of its proving to be a comet. Cloudy weather prevailed till the evening of the 21st, when... I now noted such a change in position as caused me to remark in my journal that 'I was almost persuaded of the cometary nature of the nebula'... On the following evening, the 22nd, I again... found that it had very sensibly changed its position. There could, therefore, now be no doubt as to the cometary nature of the object of my solicitude. (Orchiston, 2004, p. 143)

Tebbutt comunicò la scoperta all'Osservatorio di Sydney e scrisse una lettera all'editore del quotidiano Sydney Morning Herald, pubblicata il 25 maggio 1861. Inoltre, dai sui studi concluse anche che la Terra sarebbe passata attraverso la coda della Cometa il 29 giugno, giorno in cui comparse nei cieli del Nord:

> My calculations show that the comet will soon move rapidly towards the north, and that on the 29th instant the earth will be at no great distance from the extremity of its tail. There is some probability of

the comet's becoming visible in full daylight about that date". (Orchiston, 2017, p. 146)

Grazie a questa scoperta, John Tebbutt iniziò ad occuparsi di astronomia divenendo uno dei più importanti astronomi australiani e fece costruire il Windsor Observatory.

2. La *Cometa di S. Pietro* di Angelo Secchi

Nell'emisfero settentrionale la notizia del passaggio arrivò tardi e l'avvistamento della Grande Cometa fu una sorpresa inaspettata per gli astronomi europei e americani.

Dall'osservatorio del Collegio Romano, Angelo Secchi (1818-1878) rimase sorpreso alla vista dell'intensa luce argentea che sorgeva da Nord-Ovest, tanto viva da confonderla con i fuochi d'artificio che si tenevano a Roma per le celebrazioni dei santi patroni, da cui prese il nome. Nei quaderni di osservazione ne descrisse l'estremo bagliore, lo strascico di luce e ne calcolò dimensioni e posizione, definendo la coda come la più lunga di cui resti memoria nella storia, fino a quel momento. Nel discorso tenuto alla Pontificia Accademia Tiberina il 12 agosto 1861 e pubblicato nell'opuscolo: *Osservazioni e ricerche astronomiche sulla grande cometa del giugno 1861* nel capitolo I, Secchi traccia la *Storia delle apparenze della cometa* e racconta le fasi osservative dell'astro apparso nei cieli di Roma, tra il 30 giugno e il mese di luglio.

> La cometa (come è noto) apparve nel nostro emisfero la prima volta a tutti improvvisa la sera del 30 giugno pp. e la festa corrente diede occasione di distinguerla col nome di cometa di S. Pietro. Gli astronomi non furono in vederla prima punto più privilegiati degli altri. Anzi con non piccolo dispiacere io non me ne accorsi quella sera se non tardi, poiché occupato nella osservazione del minutissimo pianetino novello Esperia, soltanto dopo finita questa affacciatomi alle 9 e un quarto al cielo aperto, restai sorpreso alla vista della immensa colonna di luce argentea che sorgeva al Nord - ovest, sì vasta ed alta che la presi da prima come fumo di qualche fuoco artificiale, di cui non molto dianzi facevansi sentire le esplosioni in città. Ma dopo un istante di attenzione non tardai a riconoscere l'astro novello. L'immenso strascico di luce si estendeva allora fin oltre la stella polare, e la sua larghezza era almeno quanto la massima nella Via Lattea, ma di essa era assai più vivo... Quella grandezza straordinaria ci fece presentire che essa dovea essere a noi vicinissima, e perciò tutte le osservazioni erano importanti. Nonostante che la testa fosse già all'orizzonte, si aspettò che più si oscurasse il cielo e si determinò con maggiore accuratezza la direzione e la lunghezza angolare della coda... Onde essa era lunga 118° costantemente, e talora vedevasi di 138°! Questa sarebbe la coda più lunga di cui resti memoria nelle storie, ma è noto che tale elemento molto dipende dalla chiarezza del cielo, e questo lungo razzo sembra non esser stato guari veduto che in pochi siti fuori di Roma, poiché si limita la sua lunghezza comunemente a 45º. È da notarsi che il getto più lungo. non era un semplice restringimento dell'ampia coda, ma pareva una parte isolata e indipendente dall'altra, apparendo assai ristretto al punto del prolungamento, e divergente alquanto a maggior distanza, come meglio si poté rilevare nelle sere seguenti... Nella sera seguente 2 luglio... apparve assai bene la struttura della coda, e si riconobbe facilmente esser veramente doppia, cioè composta di un ampio pennacchio largo 4° (v. fig.2.) leggermente inflesso verso ponente che arrivava fino a χ del Dragone dove lasciava un angolo quasi oscuro tra le due code; la coda lunga e stretta vedevasi nettamente prolungata in linea retta dentro l'altro fiocco, da cui distingue vasi benissimo per la sua direzione assolutamente rettilinea, mentre le liste dell'altra erano curve, e per la maggior vivacità del lume. (Secchi, 1861, pp. 5-13)

Nell'appendice delle *Osservazioni* sono riportate le indicazioni e i calcoli che Secchi aveva raccolto nei quaderni di osservazione. "Soggiungiamo in questa appendice tutte le osservazioni originali trascritte fedelmente dal libro delle osservazioni, aggiungendovi que' pochi studi che non potevano trovar luogo conveniente nel corpo del discorso" (Secchi, 1861, pp. 51). Infine, l'opuscolo si conclude con una tavola fuori testo incisa dall'incisore Giovanni Della Longa (1823-1888)[1], che raffigura le fasi della Cometa

[1] Giovanni della Longa (1823-1888) fu un incisore romano di cui si hanno notizie per aver partecipato alla produzione di incisioni di monumenti per la *Scenografia dei più celebri monumenti...* Si specializzò nella rappresentazione delle opere di architetti romani, impiegando un inchiostro monocromatico dall'effetto cangiante (Impiglia, 2011, pp. 78-89). Nel Fondo iconografico

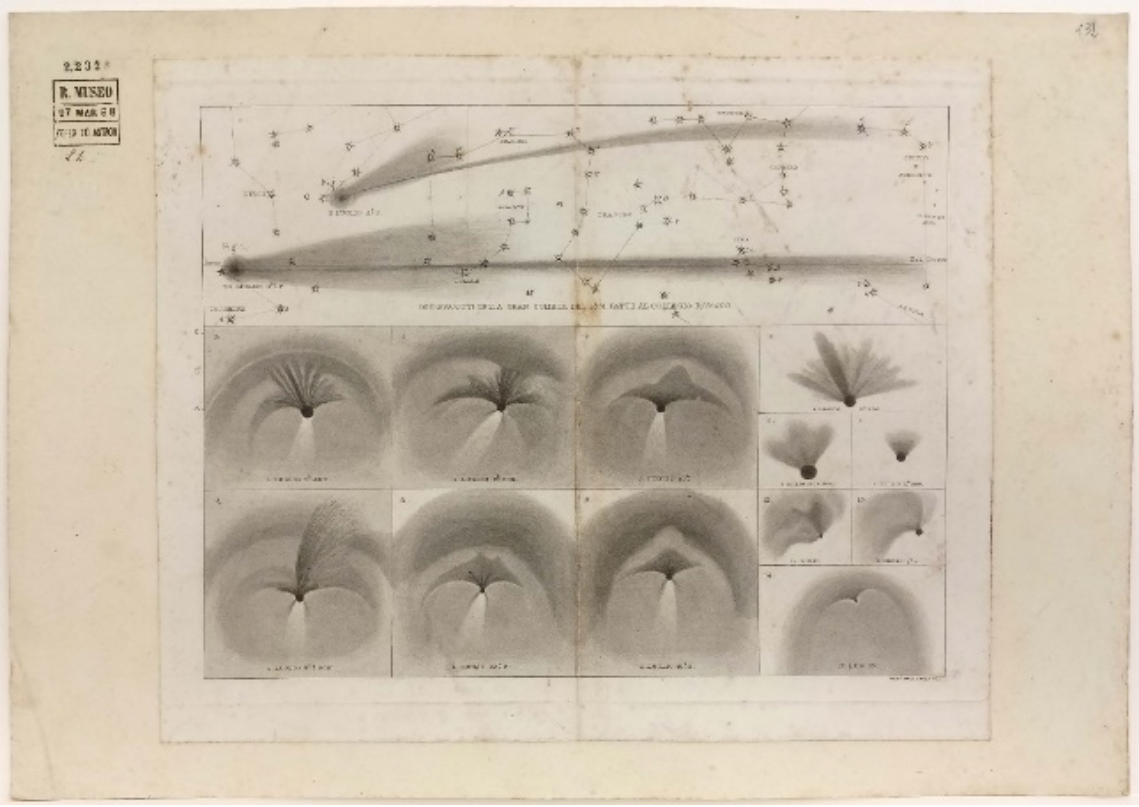


Fig. 1: Giovanni della Longa, *Osservazioni della Gran Cometa del 1861 fatte al Collegio Romano*, 1861. Stampa. INAF-Roma.

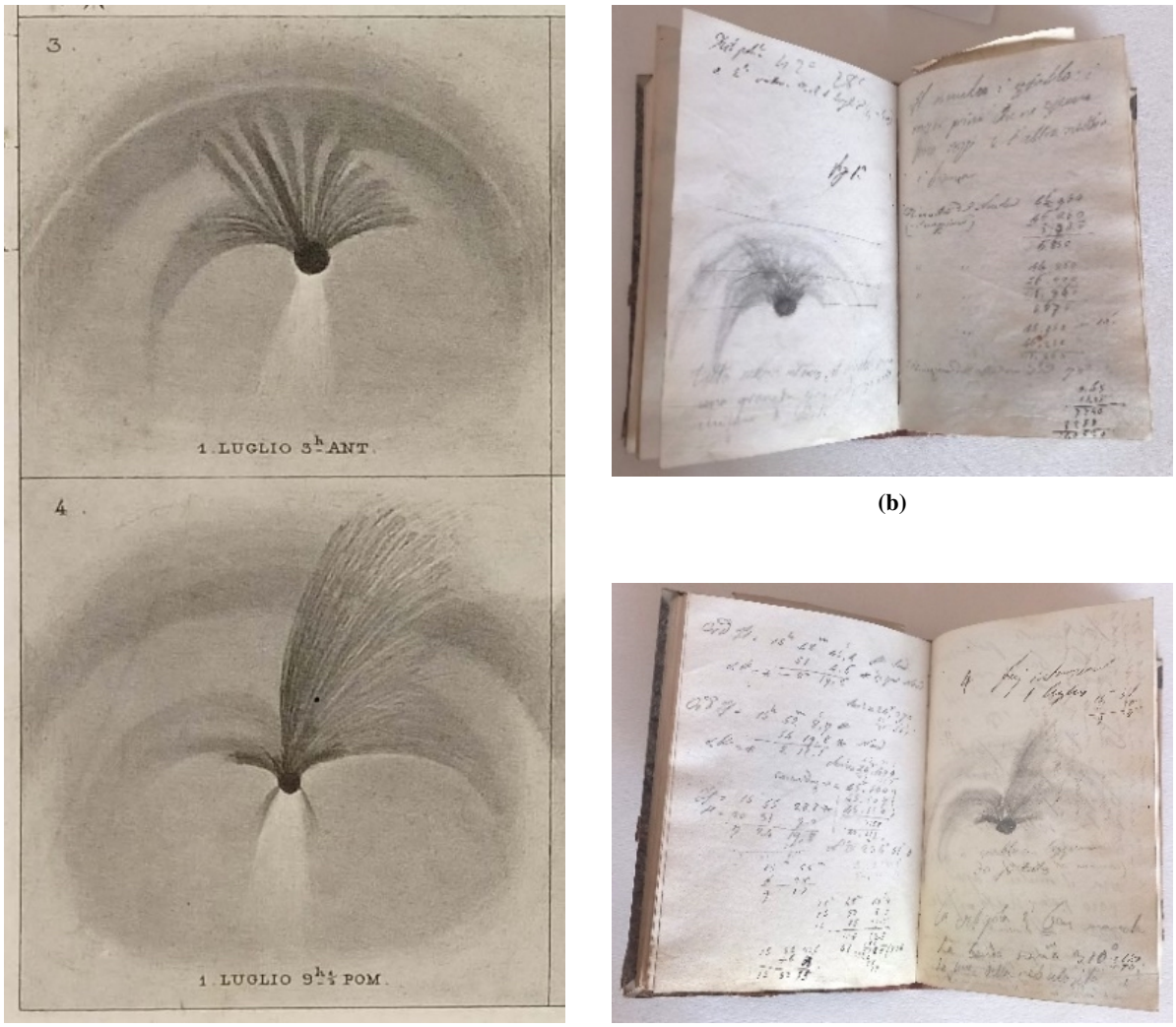
nei momenti più salienti del passaggio (Fig. 1).

Le immagini riprodotte nella tavola sono tratte dai disegni tracciati da Angelo Secchi nei quaderni di osservazione, conservati presso l'Archivio dell'Osservatorio astronomico di Roma, che raffigurano la Cometa dal 30 giugno al 13 agosto. I disegni sono da ritenersi, quindi, studi preparatori e modelli per l'incisione di Giovanni della Longa, che tradusse fedelmente i particolari in incisione (Figg. 2a, 2b, 2c). I disegni sono immagini a grafite, principalmente dello studio e della trasformazione del nucleo, per grandezza, forma, intensità, e illustrano appunti e calcoli. Inoltre, nel primo quaderno sono incluse due tavole ripiegate in più parti che ritraggono la Cometa con la coda, il 2 e 4 luglio (Figg. 3a, 3b). Dagli schizzi sui taccuini Secchi trasse anche il disegno a tempera tracciato con linee bianche su sfondo blu oltremare (Fig. 4), con il titolo riportato in basso a destra *Cometa di S. Pietro,* che ritrae la Cometa in più esemplari nelle giornate del 30 Giugno, 2, 4, 9 e 20 luglio e riproduce il crescere sull'orizzonte dell'astro sulla diagonale del supporto cartaceo, lungo la quale si sviluppa la disposizione delle comete. In questa composizione, la Cometa del 30 giugno ha la particolarità di essere disegnata senza la testa e con estensione maggiore, forse ad indicare il passaggio della Terra all'interno della coda e la mancanza del nucleo fa supporre due ipotesi, di seguito indicate. Angelo Secchi nelle *Osservazioni* indica che:

> L'estrema bassezza dell'astro che già col capo si avvolgeva nella nebbia dell'orizzonte, non permise altra osservazione fuor d'una determinazione provvisoria della sua posizione al grande equatoriale, che si trovò essere a 9" 40" t.m. Asc. R. 6' 37" declin. 45° 57', onde era nella costellazione della Lince, ove essa confina coi Gemelli e col Cocchiere. La nebbia in cui presto si nascose, impedì di esaminare la forma del nucleo che appariva come una viva fiamma circondato da nebulosità di almeno 20' di diametro... Nella mattina appresso, cioè 1° luglio alle 2 antimeridiane la testa era già assai alta sopra l'orizzonte per poterne fare qualche osservazione, e fu incessantemente seguitata fin presso al nascere del sole. Il suo capo presentava un nucleo ben distinto e terminato di color gialletto, da cui uscivano getti di luce o razzi disposti a ventaglio di color rosato, e tutto attorno avvolti da una densa nebbia bianca che era più viva e

dell'Osservatorio Astronomico di Roma, sono presenti altre incisioni di Giovanni della Longa, tratte da osservazioni e disegni fatte all'Osservatorio del Collegio Romano che testimoniano la collaborazione che l'artista intraprese con Angelo Secchi.

lucida nella direzione de' raggi. (Secchi, 1861, pp. 6-8)



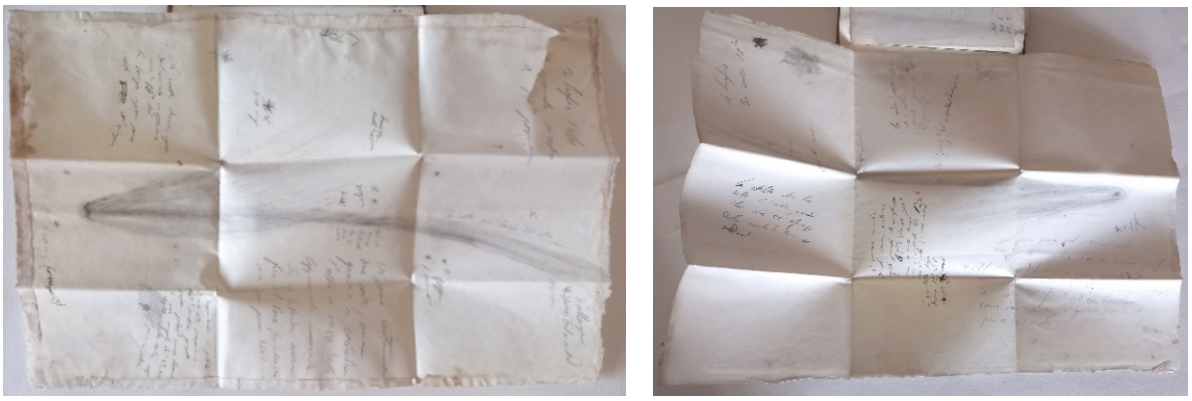
(a) **(b)** **(c)**

Fig. 2: (a) Giovanni della Longa, *Il nucleo della Cometa di S. Pietro osservata da Angelo Secchi il 1 luglio*, 1861. Stampa. INAF-Roma. (b, c) Angelo Secchi, *Osservazione del nucleo della Cometa di S. Pietro il 1 luglio*, 1861. Grafite. INAF-Roma.

L'assenza della testa potrebbe essere stata una scelta legata alla difficoltà di osservazione, tanto più che il 30 giugno, nei disegni sul quaderno, è abbozzata e non definita come in altre date (Figg. 5a, 5b). Un'altra supposizione potrebbe fare ipotizzare che Angelo Secchi abbia tagliato il disegno sul lato basso e quindi la testa della Cometa. Questa ipotesi si basa sul fatto che l'opera presenta una cornice cartacea di colore blu con scontornatura a grafite che potrebbe essere stata aggiunta successivamente e forse a seguito del taglio, anche per la collocazione in cornice del disegno. Su questa fascia perimetrale è stato anche sovrapposto il titolo, in basso a destra, con pastello bianco[2] . Anche il disegno della Cometa del 20 luglio presenta una particolarità, infatti in quella data nel quaderno Secchi indica la dicitura: "20 luglio nuvolo". Si suppone, quindi, che l'immagine corrisponda all'osservazione del 10, 26 o 29 luglio in cui la Cometa, negli appunti, è disegnata per la sua interezza (Figg. 5c, 5d). Dopo tale data la Cometa perse di intensità e il suo passaggio si conclude.

Tale è la storia delle fasi principali per cui è passata questa strepitosa cometa, la quale avendo sfoggiato

[2] Angelo Secchi sembra avere apposto il titolo in maniera poco curata rispetto alla grafia che ha impiegato per le altre iscrizioni.



(a) **(b)**

Fig. 3: (a) Angelo Secchi, *Il passaggio della Cometa di S. Pietro il 2 luglio*, 1861. Grafite. INAF-Roma. (b) Angelo Secchi, *Il passaggio della Cometa di S. Pietro il 4 luglio*, 1861. Grafite. INAF-Roma.

di sua grandezza ne' primi momenti, presto si ridusse ad un oggetto di completa indifferenza, lasciando solo alla scienza l'ufficio di dar ragione di sì strane apparenze, di sì rapido corso, di sì mutabili forme, che sembrano gettare in cielo il fantastico ideale che spesso governa il povero genere umano (Secchi, 1861, pp.16).

Il passaggio della Cometa C/1861 J1 (Tebbutt) fu osservato anche da Caterina Scarpellini (Scarpellini, 1861, pp. 69-72) che la descrisse in una lettera al direttore dell'*Album di Roma* e da Giovanni Plana (Plana, 1861, pp. 25-29) che la osservò da Torino, le cui considerazioni furono pubblicate entrambe ne *Il Nuovo Cimento*[3] . Ad Arcetri, Giovan Battista Donati osservò e raccolse appunti e calcoli conservati nell'Archivio dell'Osservatorio di Arcetri (Donati, 1861), mentre Giovanni Virginio Schiaparelli, l'anno successivo ne ripercorse il passaggio (Schiaparelli, 1931, tom.3, pp. 35-46). Altre immagini della Cometa, furono pubblicate da Giovanni Celoria, nell'*Atlante Astronomico* (Celoria, 1890, Tav. XXI), in cui inserì alcune tavole riproducenti la Cometa tratte dai disegni di Edmund Weiss, pubblicati nel *Bilder-Atlas der Sternenwel* (Weiss, 1888), nel frontespizio del libro *Words of Comets* (Guillemin, 1877), con accurati disegni di Warren de la Rue, da Chambers, in *A Handbook of Descriptive Astronomy*, con un disegno di George Williams (Chambers, 1877, Plate XIX) e, infine, da Camille Flammarion nel saggio di *Astronomia popolare* (Flammarion, 1885, pp. 610-618). Inoltre, in una litografia *La Cometa del 1861 e sue conseguenze*, conservata presso la Biblioteca civica Angelo Mai e Archivi storici di Bergamo, la Cometa è rappresentata come evocatrice e portatrice di avvenimenti funesti, secondo la suggestione comune. Nella coda, infatti, sono illustrate vignette satiriche che narrano alcuni eventi politici accaduti nel 1861. A tale proposito, alla Cometa venne attribuito l'aumento del brigantaggio nel territorio di Solopaca, come testimoniato in documenti d'archivio sulle *Notizie paesane e storiche raccolte e segnate in questo libro dall'antica famiglia Romanelli* (Libertini, 2019, p. 63-64).

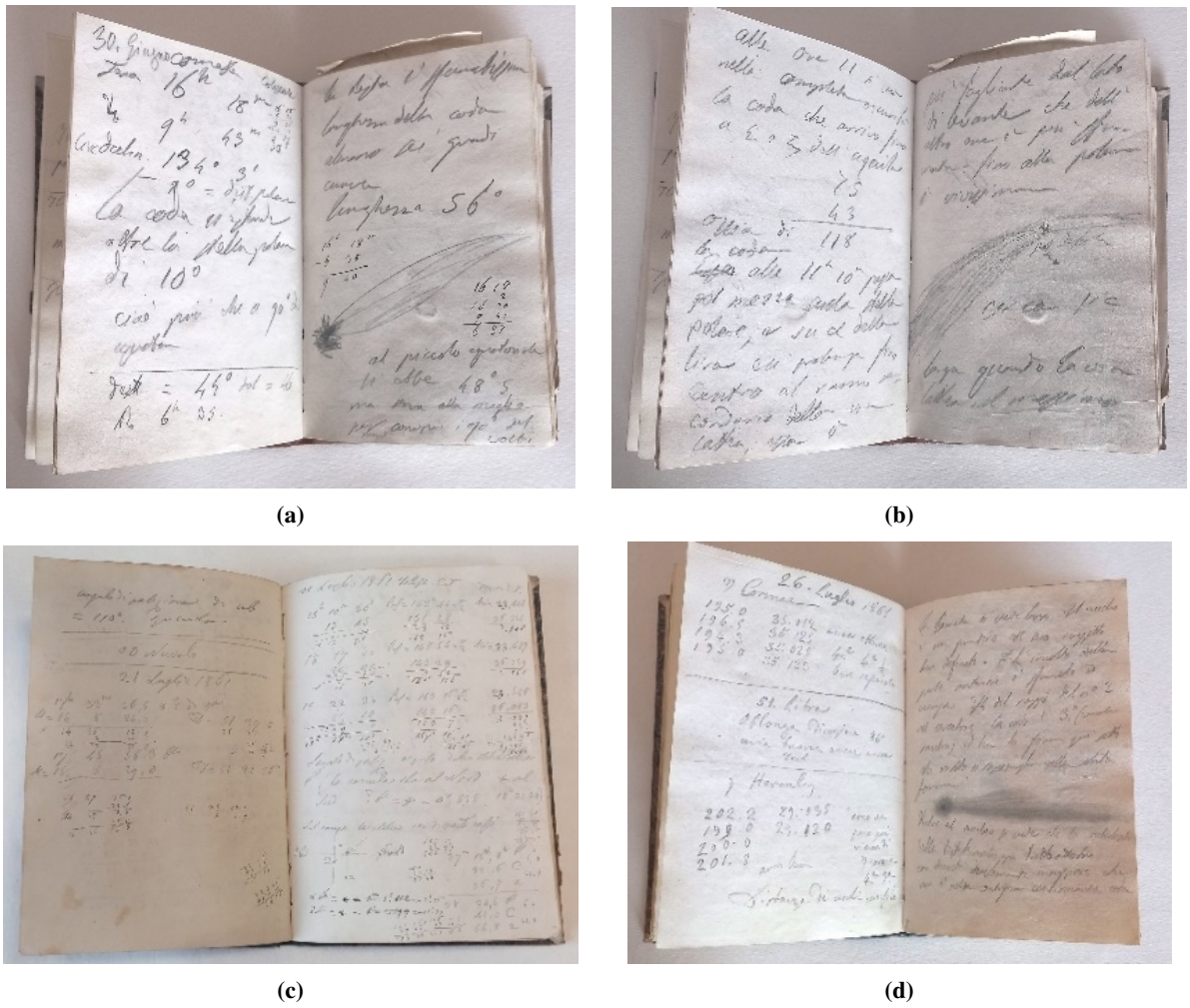
3. Il restauro conservativo del disegno *Cometa di S. Pietro*

Il disegno a tempera C*ometa di S. Pietro* di Angelo Secchi è stato restaurato durante un laboratorio didattico tenuto nell'ambito del corso di Laurea magistrale quinquennale a ciclo unico in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali dell'Università degli studi di Torino, presso i laboratori del Centro di Conservazione e Restauro "la Venaria Reale".
L'intervento di restauro è stato finalizzato alla stabilizzazione dello stato conservativo in modo da arrestare

[3] Anche il discorso di Angelo Secchi tenuto alla Pontificia Accademia Tiberina il 12 agosto 1861 fu pubblicato in *Il Nuovo Cimento*, vol. 14, pp. 257-264; 289-331).

Fig. 4: Angelo Secchi, *Cometa di S. Pietro*, 1861. Tempera su carta, 577x568 mm. INAF-Roma

o rallentare i fattori di degrado e recuperare la leggibilità dell'opera. Presentando l'opera significativi degradi di tipo fisico, chimico e biologico, per stabilire le operazioni più idonee è stata individuata la fenomenologia di deterioramento, cioè le cause dirette e indirette delle principali alterazioni. Il supporto cartaceo sottile e fragile, adeso ad una tavola lignea spezzata, evidenziava strappi di diversa entità dovuti a una probabile manipolazione inadeguata e una lacerazione lungo tutta la larghezza del supporto nella porzione superiore, che presentava un restauro pregresso. La lacerazione si colloca in corrispondenza della rottura della tavola lignea sul quale l'opera era adagiata e in prossimità erano presenti anche lacune della superficie pittorica di importante entità. A causa dei fenomeni di degrado chimico della cellulosa il supporto è fragile e ossidato. Il degrado chimico è stato accelerato dal montaggio su tavola che ha catalizzato fenomeni di ossidazione. Un attacco di microrganismi è visibile sul verso dell'opera e caratterizzato da depositi coerenti e incoerenti di materia colorata. Il degrado biologico è stato favorito da un eccesso di umidità degli ambienti in cui l'opera è stata conservata, visibile anche nelle gore e percolazioni causate anche dal contatto con il vetro della cornice. Un'infestazione entomologica pregressa ha provocato fori delle fasce cartacee perimetrali di cui l'opera è composta, sul verso. Il *media grafico* costituito da tempera è polverulento e decoeso dalla carta di supporto ed evidenzia spolvero superficiale. Per porre rimedio al degrado della tempera, sono stati condotti alcuni test sperimentali supportati da



(a) **(b)** **(c)** **(d)**

Fig. 5: (a, b) Angelo Secchi, *Osservazione della Cometa di S. Pietro il 30 giugno*, 1861. Grafite. INAF-Roma. (c, d) Angelo Secchi, *Osservazione della Cometa di S. Pietro il 20 e 26 luglio*, 1861. Grafite. INAF-Roma.

indagini diagnostiche in spettroscopia FTIR e XRF, per caratterizzare gli elementi costitutivi dei pigmenti e del legante della tempera polverulenta, determinare le cause del loro degrado e individuare un eventuale fissativo utile a risolvere il complesso intervento di fissaggio. Dall'analisi effettuata con la tecnica FTIR, spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier, non è stata rilevata traccia di legante proteico e di conseguenza si può dedurre che si tratti di una tempera magra, probabilmente realizzata dallo stesso Angelo Secchi. Inoltre, si potrebbe ipotizzare che il legante impiegato fosse di origine vegetale, per esempio a base di gomma arabica. La poca presenza di legante, non rilevabile dalla spettroscopia a infrarossi, può spiegare il degrado fisico dello spolvero del colore. Infatti, potrebbe essere stato assorbito dal supporto cartaceo riducendo la forza coesiva del *media grafico*, causandone lo spolvero. Anche il pigmento blu, predominante nell'opera, è stato caratterizzato con la tecnica FTIR. La spettroscopia ha confermato la presenza di silicati a sostegno dell'ipotesi dell'impiego del pigmento blu oltremare, che è risultato di origine sintetica. Le analisi eseguite con la spettrofotometria XRF, hanno interessato vari punti dell'opera, in particolare, le iscrizioni riportanti le date delle osservazioni della *Cometa di S. Pietro*, le quali si supponeva fossero dipinte con bianco di piombo o biacca. Gli spettri ottenuti dall'analisi hanno, invece, mostrato la presenza di zolfo, zinco e bario, in maggiore quantità, probabilmente presenti sotto forma di solfuro di zinco, e solfato di bario, mentre sono presenti anche ferro e calcio, in tracce. Si è potuto, quindi, ipotizzare l'utilizzo di Litopone, un pigmento la cui composizione corrisponde agli elementi rilevati dalle indagini. Infine, l'opera è stata osservata con microscopio ottico a luce VIS, grazie al quale è stato possibile determinare l'uso di grafite per le linee perimetrali della cornice blu. Invece, da

indagini diagnostiche effettuate dai laboratori dell'Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro sul Fondo iconografico di cui l'opera fa parte, il degrado biologico è risultato inattivo.

L'intervento di restauro ha previsto operazioni di distacco dalla tavola lignea, pulitura superficiale in modo da alleggerire i depositi diffusi, delicate operazioni di consolidamento strutturale per ripristinare l'integrità fisica dell'opera e integrazioni cromatiche per ristabilire la continuità e la lettura del fondo blu oltremare. Infine, sono stati testati alcuni prodotti per individuare un fissativo idoneo al fissaggio della tempera, con diversi metodi di applicazione, ma non sono risultati idonei e utilizzabili sull'opera. Quindi, è stata prediletta la conservazione in orizzontale con un montaggio ideato per proteggere l'opera in un alloggiamento profondo con passepartout e coperchio di chiusura, in modo che gli elementi del montaggio non tocchino la superficie pittorica.

Bibliografia

Celoria, G. (1890). *Atlante Astronomico*. Milano: Hoepli.

Chambers, G. F. (1877). *A Handbook of Descriptive Astronomy*. Oxford: Clarendon Press.

Flammarion, C. (1885). *L'Astronomia popolare*. Milano: Sonzogno, pp. 610-618.

Guillemin, A. (1877). *The World of Comets*. London: Low, Marston, Searle & Rivington.

Impiglia, C. (2011). "La pirotecnia come arte di disegnare e dipingere con la luce", *Disegnare idee immagini*, 42, pp. 78-89.

Libertini, G. (a cura di) (2019). *Testimonianze per la memoria storica di Caivano raccolte da Ludovico Migliaccio e collaboratori*, vol. 8. Napoli: Istituto di studi atellani.

Orchiston, W. (2004). "John Tebbutt and observational astronomy at Windsor Observatory", *Journal of the British Astronomical Association*, 114(3), pp. 141-154.

Orchiston, W. (2017). "The Great Comet of 1861: A Magnificent Career Catalyst", in Orchiston W., *John Tebbutt*. Cham: Springer, pp. 139-171.

Plana, G. (1861). "Nota sulla fulgentissima cometa veduta da Torino la notte del 30 Giugno 1861", *Il Nuovo Cimento*, XIV, pp. 25-29.

Scarpellini, C. (1861). "La grande cometa del 30 giugno 186: lettera di Caterina Scarpellini al Direttore dell'Album di Roma", *Il Nuovo Cimento*, XIV, pp. 69-72.

Schiaparelli, G.V. (1931). *Le opere di G.V. Schiaparelli*. Milano: Hoepli.

Secchi, A. (1861). *Osservazioni e ricerche astronomiche sulla grande cometa del giugno 1861*. Roma: Tipografia delle Belle Arti.

Scenografia dei più celebri monumenti sacri e profani antichi e moderni di Roma e adiacenze (1864). Roma: Calcografia Camerale.

Weiss, E. (1888). *Bilder-Atlas der Sternenwelt*. Esslingen: Schreiber.

Fonti d'archivio

Donati, G.B. (1861). *Cometa II del 1861*. Archivio Storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, *Fondi personali degli Astronomi, Giovan Battista Donati, Osservazioni di Comete*, B. 7.

Secchi, A. (1861). *Osservazioni all'Equatoriale. Dal 13 maggio 1861 al 4 luglio 1861* e *Osservazioni all'Equatoriale. Dal 4 luglio 1861 al 28 ottobre 1861*. Archivio Storico dell'Osservatorio Astronomico di Roma, *Osservatorio del Collegio romano..., Attività scientifica, Attività di osservazione astronomica, Osservazioni all'equatoriale*, B. 44.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_14, pp. 123–130
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-14

Enrico Dal Pozzo un fisico del risorgimento tra eresia e innovazione

Giampaolo Sanchini[1]

[1]MIM, Università di Perugia & Ordine dei Chimici e dei Fisici di Roma, Perugia, g.sanchini@chimicifisici.it.

Abstract: Enrico Dal Pozzo was born in Turin in 1822 and died in Perugia in 1892, he was the first holder of the Chair of Physics at the Free University of Perugia which had just become part of a unified Italy. His scientific path intersected with the Risorgimento's radical political upheavals and the first years of Italian unification. He combined a rather controversial interest in mesmerism with rigorous studies on innovative themes, which made him a personality on the border between heresy and innovation, but definitely of importance in the panorama of Risorgimento physics. I will examine among the many study topics on which Dal Pozzo concentrated his interest, some particularly innovative for his time. These topics also allow us to survey the state of the art of some physics topics as they appeared amid the Italian Risorgimento, such as the study of physiological optics and the theme of unification of the fundamental forces.

Keywords: Risorgimento, Physiological Optics, Fundamental Forces

1. Profilo biografico

Enrico Ferdinando dal Pozzo di Mombello nacque a Torino nel 1822 da una nobile e potente famiglia della nobiltà Sabauda (Angius, 1853, p. 119) e morì a Perugia il 31 gennaio 1892 (Gigliarelli, 1908, p. 684). Enrico Dal Pozzo entrò giovanissimo nell'ordine dei Barnabiti del Real Collegio Carlo Alberto di Moncalieri, sia per inclinazione personale che per aspettative famigliari, in quanto figlio cadetto di una delle più nobili famiglie piemontesi. I suoi interessi fin dalla giovane età, forse ispirati dal padre ufficiale di artiglieria, si incentrarono nello studio delle scienze naturali in particolare della fisica e spaziarono in molti campi scientifici. Dopo la sua ordinazione sacerdotale, per le sue capacità, fu scelto dai superiori per l'insegnamento e divenne docente nello stesso collegio Real Collegio Carlo Alberto di Moncalieri. Da qui fu inviato ad insegnare fisica a Parma, poi passò a Bologna, e successivamente a Livorno, nel 1849 si laureò in filosofia positiva all'Università di Torino (Maovaz & Romano, 2009, p. 59). Durante il suo soggiorno livornese, manifestò un grande interesse per il mesmerismo (teoria basata sugli studi di Mesmer, molto in voga a fine del 700 e che nella seconda metà dell'800 stava divenendo un tema alquanto controverso in ambito accademico) e si concretizzò nella redazione di lavoro *Il magnetismo animale considerato secondo le leggi della natura* (Dal Pozzo, 1852), e nello stesso periodo produsse un ulteriore lavoro su fenomeni di carattere parascientifico dal titolo *Difesa dei Tavoli e Corpi semoventi Studi Critici* pubblicato nel 1853. Va detto che al lavoro sul *Magnetismo animale* seguì anche un'altra opera sulla stessa tematica del 1869 dal titolo *Sulla teoria e pratica del magnetismo animale* scritta sotto pseudonimo di Lisimaco Verati (Baldaccini, 1892). Fu l'opera da lui firmata *Il magnetismo animale considerato secondo le leggi della natura* a creargli seri problemi. Infatti gli fu mossa l'accusa da parte dei suoi superiori di aver pubblicato senza l'autorizzazione necessaria dell'ordine e fu per questo motivo trasferito a Perugia per subire un processo da parte del Tribunale dell'Inquisizione. Lo storico perugino Raniero Gigliarelli, che fu suo allievo al Liceo Ginnasio e autore di un'opera sulla *Storia di Perugia*, ci racconta che Dal Pozzo

giunse a Perugia nel 1857 e svolse le sue funzioni di padre barnabita presso la Chiesa del Gesù, sede locale dell'Ordine dei Barnabiti. Dal Pozzo in quella Chiesa svolse, proprio per la sua grande cultura, il ruolo di predicatore e ivi rimase fino al suo passaggio allo stato laicale. Al contempo, nel triennio compreso tra il 1857 e il 1860, fu docente di fisica presso il Liceo e docente di fisica e meccanica presso l'Istituto tecnico della città[1]. Nel 1857 il processo si chiuse "in modo assai nefasto", infatti ricevette la condanna al carcere perpetuo. Nonostante in secondo grado la condanna sia poi stata annullata, l'esperienza lo segnò fortemente (Maovaz & Romano, 2009, p. 59) tanto che come ricorda Gigliarelli "intorno ai 40 anni quando lasciò l'abito monacale e tornò a vivere mondano" (Gigliarelli, 1908, p. 683).

Fig. 1: Enrico Dal Pozzo di Mombello (Fototeca di Ateneo, s.d.), per gentile concessione dell'Università degli studi di Perugia

In questa fase, che segnò l'allontanamento dalla vita religiosa, maturò anche un radicale anticlericalismo, che lo portò progressivamente a durissime prese di posizione contro la Chiesa e gli intellettuali cattolici. Si pensi al testo pubblicato nel 1861 con lo pseudonimo di Lisimaco Verati dal titolo inequivocabilmente polemico *Della tirannide sacerdotale antica e moderna e del modo di frenarla*. Sempre a questo periodo risale l'adesione alla Massoneria perugina, di cui, come ci riferisce il sito del Grande Oriente d'Italia, divenne prima confratello e poi 1871 Gran Maestro della loggia "La Fermezza" n. 1011[2]. Va detto che con la Chiesa la polemica non si limitò ai suoi studi sul magnetismo animale e al conseguente processo, ma anche per il suo sempre più convinto avvicinarsi alle posizioni evoluzionistiche, positivistiche e materialistiche sul piano filosofico e repubblicane - mazziniane sul piano politico (Maovaz & Romano, 2009, p. 59). Fu sicuramente una delle figure più eminenti del pensiero evoluzionistico della seconda metà dell'Ottocento e tra le più attive nella scontro tra evoluzionismo e creazionismo. Gli anni compresi tra il '57 e il '60, cruciali per la vita di Dal Pozzo, sono anni profondamente turbolenti. Fu, infatti, il periodo che portò ai moti perugini che culminarono nei fatti del 20 giugno 1859, le *Stragi di Perugia* da parte delle truppe pontificie. Questo periodo si chiuse con l'arrivo delle truppe piemontesi il 14 settembre 1860 e con la successiva unificazione dell'Umbria al nascente Regno di Italia, con il plebiscito del 4 novembre 1860. Nel 1860 fu inviato a Perugia come commissario regio Giambattista Piepoli che nominò proprio Dal Pozzo professore di Fisica sperimentale di quella che divenne la Libera Università di Perugia. Per la precisione, con lettera in data 28 novembre 1860 a firma del Regio Commissario Generale Gioacchino Piepoli (*Carteggio*, 1860-1861), Dal Pozzo fu incaricato di Fisica sperimentale a far data dal 1 dicembre 1860. Va da sé che l'assegnazione della cattedra a Dal Pozzo è di natura evidentemente politica. Come osserva Maovaz era collegata con quanto sarebbe avvenuto a Torino nel 1861, dove per modernizzare l'ateneo torinese il ministro della Pubblica Istruzione

[1] www.itetcapitini.edu.it

[2] www.goiumbria.org

Francesco De Sanctis aveva assegnato la cattedra di Fisiologia all'olandese Jacob Moleschott. Quest'ultimo era stato protagonista del *Materialismusstreit*, la lotta per il materialismo, Moleschott e Dal Pozzo avevano numerosi punti di contatto: entrambi erano materialisti, progressisti, favorevoli al darwinismo (Maovaz & Romano, 2009, p. 59). Nello stesso anno accademico Dal Pozzo fu incaricato di Mineralogia dal Municipio di Perugia, in quanto, a seguito del Regio Decreto del 16 dicembre 1860, al Comune di Perugia fu attribuita la podestà di nomina dei professori essendo l'Università di Perugia comunale (Carteggio, 1860-1861). Furono poi nel tempo moltissimi gli incarichi che ebbe, tra quali ricordiamo quello di fisica alla scuola per farmacisti, antesignana della Facoltà di Farmacia (Baldaccini, 1892). Divenne successivamente direttore del Gabinetto di Fisica, fino a alla nomina a Preside della Facoltà di Medicina. Dunque dal 1 dicembre 1860 l'attività didattica e scientifica di Dal Pozzo procede senza soluzione di continuità nel capoluogo umbro fino alla morte, il 31 gennaio 1892.

2. I principali aspetti della sua produzione pubblicistica e il suo pensiero scientifico

Il primo aspetto che emerge dalla biografia è la sua adesione all'evoluzionismo materialista e positivista e alla polemica intensa tra evoluzionisti e creazionisti della seconda metà dell'800 che lo vede in prima linea tra gli accademici italiani contro le posizioni creazioniste. Tale polemica è ben affrontata dall'articolo di Maovaz a cui si rimanda per i dettagli (Maovaz & Romano, 2009). L'altro aspetto che sembra emergere dalla biografica è la figura di un fisico profondamente eterodosso al limite dell'eresia, soprattutto, ma non solo, per il suo interesse per il cosiddetto *magnetismo animale*. Va detto che la tematica del magnetismo animale trova origine negli studi del medico Franz Anton Mesmer (1734-1815) fautore di pratiche terapeutiche eterodosse e della cosiddetta dottrina del magnetismo animale, all'incrocio fra scienza ed esoterismo, medicina e religione. Egli formulò l'ipotesi secondo la quale il corpo umano (o di qualunque animale) è dotato di una sua propria energia di natura magnetica e la malattia corrisponde ad una perdita di tale energia o ad una cattiva distribuzione di essa tra i vari organi. Il medico, secondo questa ipotesi, può curare le malattie utilizzando il proprio magnetismo per implementare quello del paziente o per ridistribuirlo, all'occorrenza aiutandosi con magneti metallici. Le posizioni di Mesmer ebbero un grande successo a fine Settecento e trovarono una amplissimo interesse da parte della comunità scientifica dell'epoca. Il successo della terapia magnetica era così grande che il re Luigi XVI nominò una commissione di eminenti scienziati, tra cui l'astronomo Bailly, che indagasse sulla scoperta, poiché nella teoria venivano anche contemplati gli influssi astrali. Tuttavia con il tempo questa teoria divenne oggetto di critiche sempre più aspre. L'ipotesi del magnetismo formulata da Mesmer raccoglieva varie idee appartenenti a molte medicine antiche, quali quella greca, sostenendo l'influsso astrale sulla fisiologia e sulla patologia, e al contempo teneva conto delle nuove scoperte della fisica e del grande successo della gravità newtoniana nonché delle ipotesi fisiologiche di Cartesio e le contemporanee scoperte sui fenomeni elettrici e magnetici. Eppure, nonostante le posizioni del medico Mesmer finirono per essere dichiarate totalmente prive di fondamento da parte delle principali società scientifiche, queste teorie influenzarono fortemente gli sviluppi ottocenteschi della psichiatria e della psicologia, così come la filosofia e la letteratura romantica e in qualche misura sopravvissero nella scienza ufficiale. Questa teoria, sopravvisse nella scienza ufficiale in quanto un allievo di Mesmer, Armand Chastenet de Puységur, ebbe la forza di riformularla, concludendo sulla base delle sue conoscenze fisiche, che le terapie magnetiche non si appoggiavano su fenomeni fisici, ma avevano solo natura psicologica. In questo modo, se da un lato ogni legame con il fenomeno fisico del magnetismo era stato reciso il fenomeno poteva essere studiato dal punto di vista psicologico, ed infatti, nel 1842, James Braid coniò il termine di ipnotismo. I magnetizzatori divennero ipnotizzatori e da quel momento nacque l'ipnosi, che ebbe una storia piuttosto complessa, fino a che con Jean-Martin Charcot, che l'adottò per la terapia delle nevrosi, divenne una

tecnica riconosciuta in ambito scientifico[3].

Alla luce di queste considerazioni si può ritenere, che così come Puysegur da medico ebbe un approccio scientifico metodologicamente corretto rispetto alla tematica del magnetismo animale, altrettanto si può dire di Dal Pozzo come fisico. Sta di fatto che questi studi non lo posero solo in polemica con la gerarchia cattolica, di cui egli stesso era parte, determinando trasferimento e processo, ma anche con la comunità accademica. Peraltro, forse per reazione al suo allontanamento dalla vita religiosa egli amava descriversi come un novello Giordano Bruno rimanendo in qualche misura affascinato dall'idea di essere egli stesso un scienziato e un filosofo eretico. Per questo non si sottraeva certo a nessuna polemica anche veemente: si pensi, tra le tante, a quelle che lo videro protagonista con un collega, il celebre chimico perugino Sebastiano Purgotti, di formazione cattolica e creazionista, che lo attaccava sia sul piano scientifico che filosofico e cui Dal pozzo rispondeva con altrettanta veemenza senza fare sconti nella pubblicazione edita da Lemonier nel 1879 *Sebastiano Purgotti: polemica*. Al contempo, le sue posizioni sempre più anticlericali unite al suo cupo aspetto e al suo comportamento chiuso e riservato al limite della misantropia (anche dopo la sua dimissione allo stato laicale conservò uno stile quasi ascetico disinteressato verso le cose del mondo e solo concentrato nello studio e nella ricerca), resero facile costruire un'aurea fosca diremo quasi solfurea intorno alla sua persona che contribuì all'immagine non solo di un eretico fisico (come tutto sommato gradiva essere considerato), ma anche di fisico eretico e ciò non giovò alla sua fama. In effetti la figura di Enrico Dal Pozzo risulta estremamente negletta nella storiografia scientifica. Si pensi che, a differenza di altri fisici della sua epoca anche meno rilevanti in termini di produzione scientifica, non è presente una voce che lo riguardi nella Enciclopedia Italiana e non ci sono studi sulla sua figura di scienziato né di intellettuale, fatte salvo rarissime citazioni. In realtà Dal Pozzo fu un fisico rigoroso, aggiornatissimo sulle teorie più recenti della fisica e della didattica della fisica.

> Non si appagò di una scienza inventariata, non si contentò d'orizzonti limitati, e spinse lo sguardo in cerca di nuovi e più ampi orizzonti. Eccitato dalla curiosità scientifica, s'infervorò nello studio e nel lavoro per la ricerca del vero e concentrò la sua vita in quella del pensiero, formandosi un mondo che lo rendeva estraneo o almeno indifferente a quello nel quale viveva. (Università di Perugia, 1893, pp. 11-12)

L'attività di Dal Pozzo si esplicò in tutto il centro nord: Torino, dove avvenne la sua formazione religiosa, scientifica e filosofica, Parma, Bologna, Livorno e Perugia. Non si dimentichi che, prima del 1860, si trattava di città di diversi stati, con diversa impostazione culturale e sociale. Si può, pertanto, parlare di attività di respiro internazionale, un'attività che non si espresse solo nella penisola italiana, ma anche oltr'Alpe, come ci ricorda il Gigliarelli che ci segnala che la sua opera *Il progresso delle scienze nell'ultimo secolo* fu premiata al concorso bandito dall'Accademia delle Scienze di Francia, paese in cui Dal Pozzo tenne conferenze e lezioni (Gigliarelli, 1908, p. 684). Un'ulteriore conferma che l'attività scientifica di Dal Pozzo ebbe un respiro a carattere internazionale, è data dalla recensione nella celebre rivista Nature (Thyselton, 1874, p. 67) del testo *Degli studi fisici di Ambrogio Fusinieri* pubblicata nel 1874 edita da Sgariglia (Foligno), che scrisse in commemorazione dello scienziato vicentino Fusinieri.

I suoi interessi scientifici spaziarono tra i più diversi campi del sapere scientifico e non solo della fisica. Scrisse di didattica discutendo della lezioni di fisica del celebre Cantoni (Dal Pozzo, 1868, p. 28) e nel pregevole *Sommario delle lezioni di fisica* pubblicato nel 1873 edito da Sgariglia (Foligno), si occupò di mineralogia, disciplina di cui fu docente. Si occupò di botanica scrivendo, nel 1850 il testo dal titolo *Sugli studi botanici di Tomaso Luigi Berta*. Trattò di evoluzionismo nell'opera del 1887 *L'evoluzione geologica inorganica, animale ed umana* edita da Sgariglia (Foligno). Scrisse anche di geofisica discutendo del terremoto che colpì Perugia nel 1875. Si occupò di tematiche ingegneristiche: ricorda lo storico perugino Bonazzi che, nel maggio del 1857, quando vestiva ancora l'abito Barnabita,

[3] biochimica.bio.uniroma1.it

Pio IX si recò in visita a Perugia e fu inaugurato un sistema di pubblica illuminazione della città di Perugia, dal lui progettato, in onore del Pontefice (Bonazzi, 1879, p. 617). Sono molteplici le tematiche sviluppate, tutte con cura attenzione e con dovizia di articoli e pubblicazioni, rendendo l'attività pubblicistica di Dal Pozzo poderosa. Tutte meriterebbero attenzione e approfondimento peraltro utilissimo dal punto di vista della storiografia della fisica per ricostruire le principali linee del pensiero fisico nella seconda metà dell'800 in Italia. Per ragioni di brevità in questo lavoro mi concentrerò su due tematiche: una di fisica applicata alla medicina, *Ottica fisiologic*a, mentre l'altra tematica di carattere più teorico: *Unificazione delle forze naturali*.

2.1. Ottica fisiologica

Nell'opuscolo *Nell'immagine dell'occhio nella memoria*, Dal Pozzo si concentra sulla tematica del meccanismo della visione prendendo spunto da una riunione dell'Accademia di Medicina di Torino, dove i più insigni clinici dell'epoca trattarono il problema. Nel testo si distinguono varie tematiche, una relativa alla fisiologia e all'anatomia oculare, una di tipo neuropsicologico relativa alla rielaborazione della sensazione visiva e cromatica e, infine, una strettamente fisica relativa all'applicazione delle leggi dell'ottica. Egli nel testo si sofferma nel sottolineare il ruolo fondamentale della retina nella formazione dell'immagine, ben più importante di quanto assegnato dai fisiologi dell'epoca, egli infatti ci dice:

> L'uffizio della retina è ben più grande e meraviglioso di quello di servire unicamente di superficie, su cui pingesi l'immagine; la retina sente l'immagine che si è formata sulla coroide, e la percezione degli oggetti dipende appunto da questo tallo, da siffatta delicata sua sensibilità. E qui dirà taluno: come sentite l'immagine è forse essa una realtà, un corpo? la luce ha forse le dimensioni della solidità per essere toccata, sentita? da quando mai gl'imponderabili si toccano come i corpi?... ma per i fisici sperimentalisti, per noi specialmente della scuola fusinierana, gl'imponderabili sono belli e buoni corpi... la luce è un imponderabile sì, ma è un corpo e quindi soggetto ad essere sentito dal tatto, quando abbiavi un organo tattile di adatta delicatezza, e tale è la retina. (Dal Pozzo, 1861, p. 293)

Estremamente interessante e moderna è la descrizione di quello che per Dal Pozzo è il meccanismo della visione se pensiamo che queste parole furono scritte nel 1861. Senza dilungarmi nell'analisi della pubblicazione menzionata, vale la pena sottolineare l'approccio del fisico sperimentale che discute della formazione delle immagini, della loro forma capovolta e di tutti i dettagli connessi con applicazione delle leggi dell'ottica geometrica. Dal Pozzo ci spiega che dal punto di vista del fisico sperimentale l'occhio si comporta in perfetta analogia ad uno strumento ottico ovvero ad una lente, infatti ci dice: "i fisici sono convintissimi, essere cioè l'occhio il più bello e perfetto strumento diottrico di fisica, istromento che mostra l'onniscenza della natura e la permanenza delle sue leggi" (Dal Pozzo, 1861, p. 305) e al contempo contestando la tesi di vari e illustri fisiologi in voga al momento sull'esistenza di un fluido "falsa l'asserto che l'immagine sulla retina siavi formata dà raggi di un vero fluido" (Dal Pozzo, 1861, p. 306). Altrettanto interessante è l'affermazione che il fenomeno visivo è sostanzialmente cagionato da quello che Dal Pozzo chiama *l'elettrico* "Rispondo che queste sensazioni sono eccitate da ben diverse azioni, le quali però sono effetti della medesima causa che è l'elettrico, ed alla loro volta divengono causa di nuovi effetti" (Dal Pozzo, 1861, p. 308). In altre parole Dal Pozzo prima ancora che Maxwell proponesse l'unificazione del campo elettrico e magnetico, intuisce già che per la luce si può parlare di un fenomeno elettromagnetico, avvicinandosi decisamente all'interpretazione del modello ondulatorio della radiazione ottica, ovvero della luce come onda elettromagnetica. Del resto il concetto di imponderabile riferito alla luce è estremamente moderno per il 1861, quando ancora i fisici dibattevano sull'esistenza dell'etere cosmico e al contempo si sforzavano di trovare un approccio alla propagazione della luce del tutto concettualmente simmetrico a quello dei fenomeni sonori, congetturando l'esistenza di un mezzo in analogia a quanto avviene per le onde meccaniche. Su questa tematica merita dedicare un cenno anche a quanto viene trattato nella pubblicazione *Luce e colore* (Dal Pozzo, 1888). Un testo successivo di 27

anni a quello già citato che ci permette, fra l'altro, di vedere il progresso degli studi in ottica in quel lasso temporale. Prendendo spunto dall'ottavo centenario della fondazione dell'Università di Bologna, Dal Pozzo da un lato sottolinea l'importante ruolo dell'ateneo bolognese nello studio dell'elettrologia e dall'altro evidenzia che decisamente minore fu il contributo nello studio della luce, sebbene di Bologna fosse il fisico Grimaldi che diede importanti contributi allo studio dell'ottica. Dal Pozzo osserva che l'edificio dell'ottica di quegli anni era ancora troppo fortemente legato al modello newtoniano. Un modello che, a suo avviso, presentava molte criticità, prima fra tutte la mancanza della causa dell'emissione della luce. Al contempo mette in evidenza la contraddizione tra il modello newtoniano e il modello ondulatorio, che in quegli anni si stava imponendo sulla scia degli studi di Huyghens ed Eulero. Dal Pozzo è consapevole che la dottrina ondulatoria era ormai universalmente riconosciuta, sebbene non riuscisse a liberarsi di alcune contraddizioni riconducibili al modello newtoniano egli dice: "E così, abbandonato il terreno suo proprio, la dottrina ondulatoria, oggidì universalmente riconosciuta come vera per quanto riguarda la natura della luce, per ciò che poi spetta ai fenomeni luminosi non ha tolto di mezzo gli errori della dottrina rivale" (Dal Pozzo, 1888, p. 257). Evidenzia, altresì, come sia opportuno che il fenomeno della visione debba essere studiato non solo da punto di vista fisico, ma anche dal punto di vista psicologico con le sue parole: "per il progresso delle scienze affini e specialmente della psicologia positiva, sono state distinte due serie di fenomeni luminosi; la fenomenologia fisica, che sotto il nome di luce costituisce il fatto oggettivo, e la fenomenologia fisiopsichica, che comprende i fatti soggettivi della colorazione" (Dal Pozzo, 1888, p. 257). Anche questa affermazione rivela la grande lungimiranza di Dal Pozzo nel cogliere gli aspetti più moderni del pensiero scientifico dei suoi anni: in effetti con questa affermazione ci richiama quanto attualmente spiegato dalla moderna *Psicofisica della visione e della colorimetria*, con un duplice approccio: uno riguardante gli aspetti oggettivi, la fisica della luce, e uno gli aspetti soggettivi psichici che riguardano il colore e la sua rielaborazione su base psichica. Egli sottolinea come, sostanzialmente, si possa parlare di un fenomeno fisico oggettivo la luce e di un fenomeno soggettivo (di natura psicofisica) il colore : "della natura oggettiva della luce e dell'indole soggettiva del colore" (Dal Pozzo, 1888, p. 260). In particolare si sofferma sullo studio del bianco ponendosi la domanda se il bianco sia un colore o non lo sia, ovvero sia un fatto fisico o un prodotto psichico, e per affrontare il tema parte dall'intuizione di Newton secondo cui il bianco non è un colore in sè, ma la sintesi di tutti i colori: " si sa che la grande gloria di Newton nell'ottica fu posta appunto nell'avere egli fatta l'analisi e la sintesi del bianco" (Dal Pozzo, 1888, p. 259). Al di là del fatto che la definizione del bianco deriva dalla teoria della emissione, tuttavia sottolinea la necessità di capire quale è la teoria fisica che spiega compiutamente il fenomeno ovvero la teoria ondulatoria, con le sue parole: "In prima occorre stabilire, se l'ondulazione sia la dottrina, che meglio spiega la natura fisica della luce ; e siccome ciò è ammesso da tutti oggidì" (Dal Pozzo, 1888, p. 259). In particolare si sofferma sull'osservazione che, così come il bianco è il risultato della somma di tutti i colori, non è detto che dal bianco emergano tutti i colori, come ora ben sappiamo dal concetto di notazione RGB e da quanto del resto era già chiarito con le leggi di Grassmann formulate nel 1853.

2.2. Unificazione delle forze

Un ulteriore argomento di studio di Dal Pozzo da evidenziare sia per la sua modernità, sia, soprattutto per la sua importanza intrinseca, è il tema dell'unificazione delle forze della natura. Dal Pozzo espose il suo punto di vista rispetto a questa tematica, che si cominciava ad affacciare come problema di rilievo nella comunità dei fisici della seconda metà dell'800, nel *Il principio fusineriano*, discorso commemorativo che fece per i cento anni dalla nascita dello scienziato Fusinieri (Dal Pozzo, 1875). Proprio per la grande importanza che rivestì il Fusinieri nella sua formazione di fisico, Dal Pozzo dedicò allo scienziato vicentino anche un'ampia opera di ben 300 pagine dal titolo *Degli studi fisici di Ambrogio Fusinieri*,

pubblicata nel 1874 edita da Sgariglia (Foligno). Da queste pubblicazioni emerge il grande entusiasmo di Dal Pozzo verso questo scienziato di cui fu profondo estimatore e, in particolare, verso l'intuizione del concetto di unificazione delle forze. Dal Pozzo parla di principio fusinierano, che esplicita con l'esistenza nella materia di una forza proporzionale alla natura elettrica delle sostanze a carattere repulsivo. Egli infatti afferma: "vi è nei corpi un'energia repulsiva loro intima e propria, causa sufficiente della loro manifestazione e di ogni loro proprietà" (Dal Pozzo, 1875, p. 8). In particolare, al di là delle considerazioni più o meno empiriche, a cui fa riferimento è di grande interesse, alla luce delle considerazioni di Fusinieri, l'affermazione: "il ridurre tutte le forze della Natura ad un solo principio è l'aspirazione degli scienziati di oggidì" (Dal Pozzo, 1875, p. 10). Dal Pozzo sottolinea come già nel 1845 Fusinieri sostenesse il concetto di unificazione della forze, quindi decisamente molto prima che Maxwell proponesse l'unificazione delle forze magnetiche e elettriche (come noto Maxwell pubblico nel 1873 *Trattato sull'elettricità e il magnetismo*). Va detto, per completezza, che al momento della sua formulazione la posizione del Fusinieri non trovò particolare risalto nell'ambito della comunità scientifica, viceversa Dal Pozzo seppe intuire la portata straordinaria dell'intuizione. Dunque quando gli sforzi di Maxwell stavano concretizzandosi con la sintesi che portò alla unificazione delle forze elettriche e magnetiche, Dal Pozzo fece sua l'ipotesi del Fusinieri che tutte le forze allora note sono certamente unificabili in una sola. Sulla scia di Fusinieri, sostenne l'esistenza di un unico campo di forze per tutte le tre forze allora note: elettrica, magnetica e gravitazione. In questo il pensiero del fisico perugino mostra una straordinaria modernità andando ben oltre la già rivoluzionaria intuizione di Maxwell. Certamente questa sua capacità di intuire quanto di più moderno e promettente fosse presente nel panorama scientifico del momento, fu una caratteristica peculiare del fisico perugino.

3. Conclusioni

Anche se al Dal Pozzo non si devono particolari teorie fisiche o eccezionali scoperte tali da proiettarlo alla ribalta del panorama internazionale è però vero che fu una mente attentissima a percepire quanto di più moderno si muoveva nel panorama scientifico europeo, che poi era nei fatti il panorama scientifico mondiale. In questo senso fu un grande innovatore spinto da una grande curiosità e da una voglia di conoscere straordinaria, un'ansia di conoscere che fu causa di seri problemi, visto che non si faceva certo fermare da alcun ostacolo, anche a costo di gravi conseguenze sul piano professionale e personale, un po'come una nuovo Giordano Bruno. Figura da lui amata e a cui amava paragonarsi non tanto per mancanza di modestia, quanto per il suo sentirsi perseguitato per i suoi studi e per il suo pensiero aperto, scevro da ogni forma di condizionamento e di cui peraltro ci lascia vari scritti relativi ad altrettante conferenze e commemorazioni. Per Dal Pozzo la conoscenza non doveva e poteva avere limiti se non nella scienza stessa, non potevano esistere temi proibiti, anche a costo di esporsi al rischio di eresia, quello che lui chiama "Amore alla Verità" (Dal Pozzo, 1889, p. 13). La sua capacità di studiare e comunicare quanto si manifestasse nel panorama scientifico nella seconda metà dell'800 rende la figura di dal Pozzo affascinante e interessante anche per motivi strettamente storiografici, infatti leggere la sua monumentale opera pubblicistica permette allo storico della fisica di avere un quadro chiaro di quali fossero le tematiche emergenti nella seconda metà dell'800 sia sul piano scientifico che didattico. Anche solo per questo motivo, a mio avviso, è una figura che merita di essere rimossa da quel cono d'ombra che lo ha, a mio avviso, ingiustamente avvolto. Un ultimo aspetto non meno importante e di grande modernità è il suo ruolo di fisico impegnato nella realtà sociale e politica della sua epoca. Senza voler prendere posizione sulla sua polemica sul piano politico e religioso, di certo fu un fisico fortemente calato nella realtà socio-politica del suo tempo: ben lungi dall'essere chiuso in una torre di avorio, fu un fisico che prese attivamente parte alla polemica politica. Del resto fu un ardente mazziniano e repubblicano: non a

caso durante il suo soggiorno a Bologna fu amico e confratello del celebre Ugo Bassi. Anche per questo Enrico dal Pozzo di Mombello può essere definito a tutto tondo un fisico del Risorgimento italiano.

Ringraziamenti

Si ringrazia il personale del Servizio Fondi storici e Collezioni Speciali del Centro Servizi Bibliotecari dell'Università di Perugia per la collaborazione nel reperire il materiale di archivio per la ricerca svolta.

Bibliografia

Angius, V. (1853). *Sulle famiglie nobili della monarchia di Savoia*, vol. 3. Torino: Fontana e Isnardi.

Baldaccini, G. (1892). "Necrologio Prof. Enrico Dal Pozzo", *Bollettino Farmaceutico*, 4, pp. 158-160.

Bonazzi, L. (1879). *Storia di Perugia dalle origini al 1860*. Perugia: Boncompagni.

Dal Pozzo, E. (1852). *Il magnetismo animale considerato secondo le leggi della natura*. Siena: Carrozzi.

Dal Pozzo, E. (1861). "Delle immagini nell'occhio", *Giornale Scientifico Letterario - Atti Della Società Economica Agraria Di Perugia*, 6, pp. 290-309.

Dal Pozzo, E. (1868). *Sull'insegnamento della fisica in Italia*. Foligno: Pietro Sgariglia.

Dal Pozzo, E. (1875). *Il Principio Fusinierano*. Foligno: Pietro Sgariglia.

Dal Pozzo, E. (1888). "Luce e colore", *Rivista di Filosofia Scientifica*, 7, pp. 257–293.

Dal Pozzo, E. (1889). *Il 9 giugno 1889 in Roma*. Perugia: Tip. Economica G. Guerra e C.

Gigliarelli, R. (1908). *Perugia antica e Perugia moderna*. Perugia: Mario Stavolta Editore.

Maovaz, M., & Romano, B. (2009). "Il dibattito tra evoluzionisti e antievoluzionisti nell'Università di Perugia", *Diomede*, 13, pp. 57-65.

Thyselton Dyer, W.T. (1874). "Degli Studi Fisici di Ambrogio Fusinicri: Commemorazione per Enrico dal Pozza di Mombello, Professore di Fisica nell'Università Libera di Perugia", *Nature*, 11, p. 67.

Università di Perugia (1893). *Annuario della Libera Università degli Studi di Perugia 1892-1893*, Perugia: Tipografia di Vincenzo Santucci.

Fonti d'archivio

Fototeca di Ateneo, (s.d.). Archivio Storico Università degli Studi di Perugia, Album 14.

Carteggio (1860-1861). Archivio Storico Università degli Studi di Perugia, *Postunitario, Parte III*.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_15, pp. 131–138
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-15

Angelo Catone e la cometa del 1472

Mauro Gargano[1]

[1]INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, mauro.gargano@inaf.it.

Abstract: Angelo Catone was a natural philosopher, physician, and astrologer from Benevento who lived at the end of the Middle Ages. In Naples, he was a reader at the University, having excellent relations with the Aragonese court, becoming the superintendent of the library of King Ferrante I and personal physician of Frederick of Aragon. At the court of France, Catone was a counselor and royal physician of Louis XI and Charles VIII, and also the protagonist of Parisian cultural life, and was appointed archbishop of Vienne in the Dauphiné. In 1472, Angelo Catone published a letter on the great comet C/1471 Y1, which he called Pogonias, or bearded. *De cometa 1472*, a rare incunabulum, was probably printed by Sixtus Riessinger, who introduced movable type in Naples. With exceptional brightness: a tail estimated at 36° and a coma as big as the Moon, this comet was illustrated in some volumes like the *Liber chronicarum* of 1493 by the German physicist Hartmann Schedel and observed by many like Regiomontanus in Nuremberg and dal Pozzo Toscanelli in Florence. The volume by Catone was among the first astronomical texts published in Italy, along with the much more authoritative *Sphaera mundi* by Sacrobosco.
The article presents the figure of Angelo Catone, the science of the comet according to the Aristotelian tradition, and the social and political predictions described by the physician from Benevento.

Keywords: Angelo Catone, Comets, Medieval Astronomy, Movable Type

1. Introduzione

Le camere ad alta risoluzione Nac e Wac della missione spaziale Rosetta hanno scattato le prime immagini della cometa 67/P Churyumov-Gerasimenko il 25 luglio 2014 da una distanza di 3000 km, mostrando le caratteristiche più raffinate della sua superficie. La sonda Rosetta, un progetto scientifico europeo, ambizioso e di successo, ha monitorato per due anni il corpo celeste, caratterizzando la superficie, misurando le componenti chimiche e studiando l'attività del nucleo e dell'ambiente cometario, affinché gli astronomi potessero comprenderne composizione e morfologia. La missione è stata una pietra miliare nella storia delle esplorazioni spaziali. Rosetta è stata l'unica sonda che si è posata su una cometa e i suoi strumenti, tra loro gli italiani Giada, Wac per Osiris, Virtis e SD2 per Philae, hanno raccolto una enorme quantità di dati, permettendo di comprendere struttura ed evoluzione dei nuclei cometari in un modo prima inimmaginabile e fornendo nuove prospettive per decodificare i meccanismi di formazione ed evoluzione del Sistema solare (Fulle *et al.*, 2016).

Ancorata alla fisica aristotelica, la disputa sulla natura delle comete, fenomeni atmosferici o corpi interplanetari, era rimasta a lungo irrisolta. Gli astronomi si limitavano a registrare la loro apparizione, il loro percorso tra le stelle e l'evoluzione della luminosità e della forma. L'osservazione della grande cometa C/1577 V1 consentì a Tycho Brahe e Michael Mästlin, professore di matematica a Tubinga e mentore di Keplero, di dimostrare che quella cometa si trovava ben oltre l'orbita della Luna. Se le ipotesi sulla meccanica celeste delle comete si intrecciarono con la dialettica sulle teoriche planetarie, l'apparizione delle comete continuò a essere studiata per connettere i moti siderei e le vicende umane.

Nel 1773 il giurista Gaetano Filangieri scriveva al camaldolese Isidoro Bianchi che a Napoli "le Dame [sono] funestate da una astronomica profezia del Sig.^{r} Lalant... La terra subbisserà, mi dissero esse, e

il giorno fatale sarà quello dei due d'ottobre... L'equivoco è dunque nato dal confondere il giorno nel quale scomparirà l'anello di Saturno con la prossimità di queste comete" (Filangieri, 1773). Anche il Settecento, secolo dei Lumi, non fu quindi estraneo alle antiche superstizioni dell'influenza degli astri sulle vicende umane, ancor più terrore suscitava la comparsa nei cieli di oggetti sfuggenti come le comete. Del resto già Seneca nel I sec d.C. sottolineava come i processi di comprensione dei fenomeni fisici hanno tempi che travalicano le generazioni: "Ci sono molte cose di cui ammettiamo l'esistenza, ma ne ignoriamo l'essenza... Perché dunque stupirci delle comete, spettacolo così raro del cielo, non ancora soggette a leggi ben definite... Non sono ancora passati millecinquecento anni da quando i Greci contarono le stelle e diedero loro un nome" (Seneca, 1522, p. 64v).

Oggi gli astronomi sanno che le comete sono i residui della nebulosa protoplanetaria da cui si è formato il Sistema solare e che sono composte da un mix di polveri e minerali e da varie sostanze ghiacciate, tra cui l'acqua. La natura delle comete, formazione, morfologia, evoluzione e dinamica è rimasta incerta fino al 1835 quando Friedrich Bessel, osservando la cometa di Halley, definì una teoria per la quale le forze a getto del materiale evaporato fossero in grado di alterare l'orbita di una cometa. Questa idea fu ripresa a metà Novecento da Fred Whipple proponendo con i tre articoli dal titolo *A comet model* l'ipotesi "dirty snowball" sulla composizione delle comete. Questo è stato il modello fondamentale per la comprensione di questi oggetti cosmici fino al 1986, quando la sonda europea Giotto ha potuto fotografare il nucleo della cometa di Halley da una distanza di solo 596 km. Le immagini hanno rivelato per la prima volta i getti, la superficie e i composti organici di una cometa. I dati, mostrando un basso contributo dei ghiacci alla massa della cometa, hanno contribuito a rivedere l'ipotesi di Whipple per un modello cometario di tipo "icy dirtball" (Heidarzadeh, 2008) che la missione Rosetta ha in sostanza confermato.

2. Angelo Catone

Se nell'antichità ellenistica e latina, filosofi e astronomi erano profondamente convinti di uno stretto legame tra gli accadimenti terrestri e i movimenti dei pianeti, le reciproche posizioni e le loro configurazioni rispetto alle stelle, in epoca cristiana Isidoro di Siviglia, teologo del VI-VII secolo, propose una distinzione tra *astrologia naturalis* e *astrologia superstitiosa*. Questi concetti trovarono una formulazione compiuta con la filosofia Scolastica di Tommaso d'Aquino, punto di raccordo tra la dottrina cristiana e il pensiero di Socrate, Platone e Aristotele. Così alcune branche dell'astrologia vennero legittimate, mentre ad altre si oppose un netto rifiuto. L'*astrologia doctrinalis*, o *quadrivialis*, relativa al calcolo delle posizioni dei corpi celesti, e l'astrologia naturale, attinente alla meteorologia e alla medicina, si svilupparono nella cultura medievale senza incontrare ostacoli. Era usuale cercare i rapporti tra i moti celesti e le malattie, anche per la somministrazione dei farmaci, così l'astrologia naturale ebbe grande fortuna. Viceversa, l'astrologia giudiziaria, che nella trattatistica tardo-medievale indicava quella che gli astrologi antichi chiamavano genetliaca, ovvero le pratiche legate al pronostico per il futuro, fu condannata. Che il cosmo potesse fissare il destino di un individuo contrastava con la dottrina cristiana. Sebbene l'*ars iudiciorum stellarum* fu combattuta dai teologi medievali per la sua incompatibilità con il libero arbitrio, l'arte dell'astrologia giudiziaria continuò a prosperare (Ampollini, 2015). Lo studio delle relazioni tra gli oggetti celesti e le catastrofi naturali, trattandosi di mutamenti materiali e non dello spirito, fu considerata lecita e meritoria. Così i passaggi delle comete erano interpretati come presagio di epidemie, carestie, guerre o inondazioni. Le comete furono più volte indicate come la fonte delle debolezze del corpo e della psiche, messaggere di avvenimenti spaventosi per i peccatori e di incombenti sciagure. La loro forma, le parti dello zodiaco attraversate, le direzioni, le regioni della Terra da cui erano viste indicavano il tipo di evento e il ceto sociale su cui si sarebbe abbattuta la sventura. Sebbene Marsilio Ficino avesse considerato le comete portatrici di segni, di eventi provvidenziali, come la stella dei Magi comparsa per effetto

della nascita di Cristo, le comete furono messe in relazione anche con la fine del mondo, come indicato nell'Apocalisse di san Giovanni: "Poi il terzo angelo suonò la tromba e dal cielo cadde una grande stella che bruciava come una fiaccola". Nella *Summa Theologica* anche il "Doctor ecclesiae" aquinate sottolinea, citando san Girolamo, come il giorno del giudizio sarebbe stato annunciato dalla formazione di chiome infuocate, come quelle delle comete, scagliate dalle stelle e dai pianeti (Ficino, 1999).

In questo quadro filosofico e scientifico si inserisce la figura di Angelo Catone, filosofo naturale e medico beneventano. La sua biografia, articolata e complessa, è rimasta per molto tempo frammentata e confusa. Lo storico Niccolò Toppi scriveva di un Catone di Supino "famoso Filosofo, & Astrologo, Medico di Re Ferdinando I d'Aragona, stimato da tutta la Città di Napoli", distinguendolo da un secondo Angelo Catone di Taranto medico di Ludovico XI di Francia e da un terzo di Benevento, "versatissimo in tutte le scienze, fu carissimo a Carlo VIII, re di Francia... e per li suoi proprij meriti, fu creato Arcivescovo di Vienna" (Toppi, 1678, p. 17). Ugualmente fecero Giovanni de Nicastro nel *Beneventana pinacotheca* (1720), Giovanni Bernardino Tafuri nella *Istoria degli scrittori nati nel Regno di Napoli* (1744) e Giangiuseppe Origlia Paolino nella *Istoria dello Studio di Napoli* (1753). Nel Novecento, Benedetto Croce con il saggio *Il personaggio italiano che esortò il Commynes a scrivere i Memoires : Angelo Catone* (1932) e poi Alfredo Zazo con *Note sul feudo sofiano di "Supino" e su Angelo Catone* (1961) studiarono ampiamente la biografia del personaggio, riportando all'unicità i tre presunti eruditi. Infine Bruno Figliuolo ha realizzato una documentata biografia di Angelo Catone (Figliuolo, 1997).

Egli nacque a Benevento verso il 1430 da una famiglia originaria di Supino, oggi in provincia di Frosinone. Dopo i primi studi nella città natale, si trasferì a Napoli dove conobbe Giovanni Battista Cybo de Mari, futuro Innocenzo VIII, a cui pronosticò il papato ottenendo una promessa cardinalizia mai onorata. Verso il 1450 Catone seguì a Perugia le lezioni di Nicolò Rainaldi da Sulmona, lettore di medicina, e forse quelle di teologia di Francesco della Rovere, futuro Sisto IV. Spostatosi a Padova, studiò la filosofia naturale, l'astrologia e le scienze con Gaetano di Thiene, Sigismondo Polcastro, Bartolomeo Santasofia e Matteolo Mattioli. Con una cerimonia tenuta nel palazzo vescovile patavino si laureò in arti liberali il 14 ottobre 1458 alla presenza di Giovanni de Capua, rettore della *Alma Universitas Dominorum Artistarum et Medicorum Patavini Gymnasii*.

Ritornato a Benevento, Catone scrisse tra il 20 aprile e il 15 maggio 1464 *Liber de epidemia ad consules beneventanos* in occasione della peste che stava ammorbando anche la sua città; questo manoscritto è conservato nella Biblioteca Angelica di Roma. Con la riapertura dell'Università di Napoli nel 1465, dopo i disordini avvenuti alla morte di Alfonso I nel 1458, ottenne da Ferdinando I d'Aragona l'incarico di lettore di filosofia naturale e astrologia, cattedra che tenne fino all'anno accademico 1473-74. Nei rotoli dello Studio napoletano per l'anno 1478-79 compare un "Angelus medicus ducalis" lettore di medicina, ma non vi è certezza che fosse Catone. I sui rapporti con la corte aragonese furono ottimi, fu sovrintendente della biblioteca del re, ricca di manoscritti e incunaboli, e medico personale di Federico d'Aragona, principe di Taranto. Si firmava "philosophus et medicus", ma la sua fama era legata alla vasta dottrina in campo astrologico. Nel giugno 1469 redasse a Benevento uno *Iudicium astrologorum*, un pronostico sotto forma di lettera a Matteo dell'Aquila, generale dell'Ordine dei celestini, filosofo e astrologo.

Si sposò ed ebbe dei figli, Lucrezio, Lattanzio, Liberio e Briseide. Alla morte della moglie, decise di vivere in celibato e poi di farsi tonsurare e seguire la carriera ecclesiastica.

Nel 1474, fece parte del corteo del principe di Taranto diretto in Borgogna per chiedere la mano della principessa Maria, figlia di Carlo il Temerario. Nell'aprile 1476 diede prova di bravo medico curando il duca di Borgogna, impegnato nella campagna militare contro gli svizzeri, "de qualche febre; il che atribuiscono li medici al gran bevere d'aqua cocta fa" (Figliuolo, 1997, p. 302). Il 19 luglio, probabilmente incontrò re Luigi XI che a Roanne ospitò il principe napoletano. Questi e il suo seguito salparono da Aigues-Mortes con cinque galee, arrivando a Porto Pisano tra il 9 e il 10 settembre accolti da Lorenzo

de' Medici e giungendo a Napoli il 21 ottobre 1476. Tre anni dopo, Catone tornò in Francia a Tours per il matrimonio del principe Federico con Anna di Savoia. Rientrato a fine 1479 a Benevento, nel marzo dell'anno seguente egli era nella residenza reale di Forges a Saint-Benoît-la-Forêt nella regione della Loira, sollecitato da Luigi XI che, malato, chiedeva le sue cure. A corte divenne personaggio autorevole, quale consigliere e medico reale. Il 24 luglio 1482 Sisto IV, su indicazione del re francese, nominò il "clericum beneventane diocesis, notarium nostrum et in etate legitima constitutum, artium et medicine magistrum" (Figliuolo, 1997, p. 318) arcivescovo di Vienne, nell'antica provincia francese del Delfinato, oggi nel dipartimento dell'Isère. Quale "Comes Viennensium" aveva il diritto di batter moneta e la carica delle abbazie di saint Theudère de Saint-Chef e saint Barnard de Romans-sur-Isère. Non riuscì mai ad ambientarsi. Si fece costruire una cappella nel castello de la Bâtie, preferito al cadente palazzo arcivescovile, alienandosi le simpatie dei cittadini che nel 1487 orchestrarono anche un tentativo di assassinio a cui sfuggì allontanandosi prudenzialmente dal Delfinato. Non fu esente da contrasti anche con la curia romana e da accuse di magia da cui si difese affermando la possibilità per gli uomini di prevedere solo ciò che Dio vuole che si conosca e che la preveggenza non si ottiene con la magia del demonio, ma soltanto con la fede.

Nel 1484 Catone fu chiamato nel castello di Blois per curare Luigi d'Orleans, futuro Luigi XII, gravemente ammalato. Fino al 1485 fu anche elemosiniere di corte. A Parigi fu protagonista della vita culturale, partecipando al cenacolo letterario di Guy de Rochefort, primo presidente del Parlamento della Borgogna e Cancelliere di Francia; fra tanti conobbe il filosofo Robert Gaguin, docente alla Sorbona dove ebbe come allievo Erasmo da Rotterdam, e l'umanista romano Domenico Mancini che inviò in Inghilterra per raccogliere notizie sulla situazione politica e su Riccardo III. Mancini nel 1483 gli dedicò *De occupatione regni Anglie per Riccardum Tercium libellus*, volume pubblicato solo nel 1936. La storica Bourgain considera Catone "uno dei primi, tra gli italiani, che mostrerà ai francesi come scrivere la propria storia" (Bourgain, 1994, p. 771). Egli infatti esortò Philippe de Commynes, forse conosciuto a Lione nel maggio 1479, a scrivere un'opera storiografica sulla Francia. Furono così redatte, in un francese elegante e solenne, le *Mémoires* che lo storico gli dedicò: "Monsieur l'arcevesque de Vienne, pour satisfaire à la requeste qu'il vous a pleu me faire de vous escrire et mettre par memoire ce que j'ay sceu et congneu des faictz du roy Loys unziesme... je l'ay faict le plus près de la verité". Il manoscritto, conservato nella Bibliothèque Nationale de France (seg. NAF 20960), riporta una splendida illustrazione acquerellata in cui de Commynes presenta la sua opera a Catone.

Oltre a essere un intellettuale versatile e di ampia cultura, fu un appassionato bibliofilo raccogliendo una preziosa collezione di codici pergamenacei; nel 1489 fece stampare a sue spese da Johann Neumeister a Lione un raro *Breviarium Viennense*, uno dei primi comparsi in Francia. Prestava una particolare attenzione alla bellezza e nitidezza dei caratteri, nonché alla correttezza filologica del testo impresso. Aveva un sincero interesse nel far stampare opere utili al mondo professionale e a quello universitario, come *Pandectarum medicinae* di Matteo Silvatico, medico e botanico della Scuola medica salernitana, di cui curò la pubblicazione nel 1474. La stampa gli dava l'opportunità di rendere accessibili molti testi a un pubblico più vasto, fatto di giovani studiosi che non potevano consultare volumi rari da trovare o dal costo proibitivo.

Sul finire di novembre 1490 arrivò a Roma con un mandato diplomatico "per fare ogni opera possibile per la compositione della differentia è tra il papa e la regia maestà", spostandosi tra la città eterna, Napoli e Benevento. Nel 1494, forse, accompagnò Carlo VIII a Roma, mentre il 22 febbraio 1495 era con il re di Francia nell'ingresso trionfale a Napoli. Morì a Benevento nel gennaio 1496 e fu sepolto nella chiesa francescana di S. Lorenzo fuori le mura. Crollata a causa dei terremoti del 1688 e del 1702, nell'Ottocento fu edificata la nuova chiesa di S. Maria delle Grazie e della tomba di Catone non rimase traccia. Anche del nome di Angelo Catone e del ruolo avuto nelle corti degli Aragona e dei Valois s'era

sbiadita la memoria, tanto da essere scomposto in tre diversi personaggi. Restano i ritratti nel manoscritto di Commynes, in due medaglie che celebrano l'uomo elevato alle nobili arti di Apollo, e nell'incisione di Carlo Biondi per la *Biografia degli uomini illustri del Regno di Napoli* del 1822.

3. Della cometa del 1472

Nel tardo Medioevo si assiste allo splendore dell'Umanesimo e la scienza europea riscopre gli antichi testi greci di Euclide, Archimede, Apollonio e Tolomeo. Il cardinale Bessarione invitò Georg von Peuerbach, pioniere dell'astronomia matematica e osservativa del mondo occidentale, e il suo più brillante studente Johann Müller di Königsberg, ovvero Regiomontano, a studiare Tolomeo sui testi originali greci e non dalle traduzioni latine. Peuerbach fece osservazioni di eclissi, comete e altezze solari, aggiornando le Tavole alfonsine. Alla sua morte, Regiomontano completò il compendio all'Almagesto del maestro *Epytoma Joānis de mōte regio in almagestū ptolomei*, stampato nel 1496 a Venezia. Con Bernard Walther, mecenate e allievo, aveva stabilito a Norimberga, nel 1471, una stamperia e una specola, facendo osservazioni solari, di posizioni di pianeti, Luna e stelle. La prima ininterrotta serie di osservazioni nella nuova Europa. Da studiosi che nei secoli passati riproducevano la scienza tramandata dagli arabi si passò a scienziati che producevano nuova scienza. Quest'epoca fu segnata dall'osservazione dei fenomeni quale fonte di continui progressi scientifici, un secolo realmente spartiacque tra il Medioevo, o come direbbero i medievisti, tra le tante fasi dell'Età di Mezzo, e l'Età Moderna (Swerdlow, 1997).

Del XV secolo sono noti i passaggi di 42 comete; quattro di queste sono etichettate come grandi comete (Kronk, 1999, pp. 260-293). C/1402 D1 fu una delle principali con una magnitudine massima stimata di -3, visibile per almeno 2 mesi; sfoggiò una magnifica coda che si estendeva su un quarto della volta celeste, visibile in pieno giorno per una settimana. Il resoconto più dettagliato è di Jacob Engelin che nel *Tractatus de Cometis* riportò che "prope circa principium februarij apparuit primo cometa apud nos in Svevia multis et adhuc vidimus eum in Ulma die quindecima marcij" (Engelin, 1490, b4v). Nel maggio 1456 comparve nei cieli d'Europa la cometa che poi sarebbe stata identificata con 1P/Halley. Nel settembre del 1468 fu vista la cometa C/1468 S1 di cui scrisse Martin Bylica nello *Judicium de cometa que apparuit Anno Domini 1468*. Un pronostico l'aveva scritto anche Catone, come risulta dalla lettera a Dell'Aquila: "Effectus autem illius comete nondum pro decima parte apparuere, qui fortasse in presenti secundi anni quarta incipient detegi, quamvis omnia sint in potestate Dei" (Catone, 1890). Infine C/1471 Y1, la cometa del 1472, di cui si stima una magnitudine massima -3, fu avvistata il 21 dicembre dell'anno precedente, come riporta *The Chronicles of the White Rose of York* che la descrive "the moste mervelous blasynge sterre", mentre la Cronaca di Nikon registra l'apparizione di una stella con una chioma sul davanti che si estendeva come la coda di un enorme uccello (Kronk, 1999, pp. 285-286). Nella Cronaca di Norimberga è presente anche un disegno acquerellato, oltre alla descrizione: "Cometa magnus per mensem Ianuarium in principio anni MCCCCLXXII circa festum sancte agnetis visus igneo colore rutilans crinibus longis nigrisque quos in occidetalem ferebat plagam... Sequenti enim anno siccitas incomparabilis subsecuta est et pestilentie bellaque cruentissima pluribus in loci evenere" (Schedel, 1493, 254r). Anche nella Cronaca delle Fiandre si accenna all'apparizione "van een wonderlicke Comete die ghesien was int iaer van. lxxii", accompagnata dalla raffinata xilografia di "una cometa terribilissima con una coda lunga e larga... questa cometa si è girata nella direzione della Luna" (*Dits die excellente Cronike*, 1531, f. 163v). Regiomontano osservò la cometa il 20 gennaio "in recta linea cum quinta Bootis, & prima informatarum iuxta ursam majorem" ovvero tra γ Bootes e 12 Canum Venaticorum, mentre la coda si estendeva "ad sextum prope Leonis, citrarum parum desiit paulo sub prima informata ad meridiem declinans", cioè fino a γ Leonis declinando verso 41 Leonis Minoris (Regiomontanus, 1544, p. 23r). In occasione del passaggio della cometa nel 1531, ovvero 1P/Halley, Thomas Gechauff fece stampare *De*

cometae magnitudine, longitudineque, ac de loco eius vero di Regiomontano, il primo trattato scientifico su una cometa, sebbene di stampo aristotelico, pubblicato in Europa.

In Italia C/1471 Y1 fu notata da Paolo dal Pozzo Toscanelli, come testimonia il foglio manoscritto conservato nella Biblioteca centrale di Firenze (Banco rari 30, c. 247). Toscanelli cominciò a osservare la cometa nella notte tra l'8 e il 9 gennaio, quando "fu vista per la prima volta nella bilancia circa 13 gradi a nord", fino al 26 gennaio (Celoria, 1885). Fu visibile per circa 2 mesi e la lunghezza della coda raggiunse circa 35° intorno al 20 gennaio; tra il 15 e il 22 gennaio fu visibile anche in pieno giorno, quando aveva una distanza di 0,0696 UA dalla Terra. La cometa, la cui orbita è parabolica e inclinata di 170,9° verso l'eclittica, raggiunse il perielio il 1 marzo a una distanza di 0,4859 UA (Kronk, 1999, pp. 285-289).

Una serie di osservazioni della cometa fu condotta anche da Angelo Catone per ottenere pronostici, ne scrisse così un testo, stampandolo. L'incunabolo, che non ha un titolo proprio, è in forma di lettera del 1 marzo diretta a Giovanni d'Aragona, figlio di re Ferrante e a quell'epoca Abate commendatario di Montecassino. Risultano poche copie del volume - nessuna è più in Italia - presso il Monastero Domenicano di Dubrovnik, la Bibliothèque Nationale de France e la Bibliothèque Mazarine a Parigi, la Biblioteca Histórica de Santa Cruz dell'Università di Valladolid (questo esemplare presenta degli eleganti capilettera decorati in rosso e azzurro), l'Archivo y Biblioteca Capitular de la Catedral de Oviedo, la Bibliothèque Nationale et Universitaire de Strasbourg, la Bayerische Staatsbibliothek a Monaco, l'University College a Londra e l'University of Manchester. Quest'ultimo esemplare fu acquistato da Enriqueta Rylands nel 1892 da John Poyntz Spencer per la John Rylands Library. Questo volume era parte della biblioteca di Luigi Serra di Cassano che vendette la sua collezione libraria al conte George Spencer nel 1819-20. Sebbene privo di indicazioni di stampa, nel Catalogo della biblioteca del duca Serra di Cassano il volume è attribuito a Sixtus Riessinger (Dibdin, 1823, p 33).

Se in Italia la prima tipografia fu stabilita nel monastero di Santa Scolastica a Subiaco dai chierici Arnold Pannartz e Konrad Sweynheym intorno al 1465, Sixtus Riessinger (1440ca.-post 1505) è il tipografo che introdusse la stampa a caratteri mobili a Napoli. Latinizzato in "Clericus Argentinensis" (chierico di Strasburgo), Riessinger era un presbitero tedesco che aveva conseguito nel 1465 il "baccalarius artium" a Friburgo. Due anni dopo a Roma pubblicò le *Epistolae* di San Girolamo, mentre a Napoli, nel 1471, dai suoi torchi uscì L*ectura super Codice per Bartholum de Saxoferrato*, un commento al codice giustinianeo. Il testo di Angelo Catone del 1472 è tra i primi volumi a carattere astronomico pubblicati in Italia insieme al più noto e autorevole *Sphaera mundi* di Johannes de Sacrobosco, stampato a Venezia da Florentius de Argentina e a Ferrara da Andrea Belfort.

Anche per la cometa del 1472 fu scritta una lunga serie di pronostici, come quelli di Nicolaus de Ciezkowice e di Johannes Glogoviensis presenti nella Biblioteca Nazionale Austriaca, quelli nella Biblioteca Universitaria di Heidelberg e in quella di Lipsia che recita "Anno Cristi 1472 natus est antichristus sub cometa"; i presagi del medico fiammingo Jan van Wesele nell'Archivio di Stato di Bruxelles, il *Tractatus de cometa a. 1472* nell'Abbazia benedettina di Melk e quelli del ferrarese Pietro Bono Avogario e di Philippus Peregrinus nella Biblioteca Apostolica Vaticana, il *De Cometa* di Filippo Barbieri indirizzato a Pietro Gambara nella Biblioteca della Fondazione Ugo da Como: "annuncerà sventure agli abitanti di un determinato luogo con fuoco minaccioso e cruento". A Roma uno *Iudicium de comete* fu stampato da Theobald Schenkbecher dopo il 22 gennaio; mentre a Beromünster il *Thurcensis phisiti Tractatus de Cometis* fu stampato da Helias Helye dopo il mese di aprile. L'opera ebbe altre edizioni, nel 1474 a Venezia e nel 1556 a Basilea da Michael Martin Stella. Il fisico di Zurigo, identificato in Eberhard Schleusinger o Conrad Heingarter, scrive di aver "avvistato la cometa alle idi di gennaio sotto la Bilancia vicino alle stelle della Vergine... finché il tramonto eliaco la rese invisibile negli ultimi giorni di febbraio vicino alle stelle della Balena" (Stotz & Roelli, 2012).

La lettera di Angelo Catone si presenta con tutte le caratteristiche di un pronostico che allerta sulle funeste conseguenze che l'apparizione prefigurava: "Aristotele, principe dei Peripatetici, dice nel suo primo libro che le comete che nascono in alto portano molti mali futuri, come siccità, venti violenti e terremoti", ma Catone si sofferma anche sulla descrizione del fenomeno e sulla sua analisi nel contesto della filosofia aristotelica. La cometa fu osservata per la prima volta "la settima notte di gennaio, come testimoniano in egual misura i custodi di Castel Nuovo e del castello di Benevento" nella costellazione della Vergine (21° Bilancia). Nei giorni successivi la cometa attraversò Bootes, Cefeo, Cassiopea, Andromeda "finché sfuggì alla nostra vista" nei Pesci (11° Ariete). Dopo aver descritto il percorso, Catone afferma che un nome alla cometa può essere attribuito solo con la fine della sua evoluzione: "da Aristotele la cometa è chiamata *pogonias*, cioè barbuta, perché anche nella sua crescita portava sempre davanti a sé la chioma a mo' di barba... Tolomeo avrebbe detto che questa cometa, mentre cresceva, si chiamava *ascone*, ma il 22 gennaio io avrei detto senza dubbio che era un *miles* barbuto" (*Dominus Ascone* e *Miles* sono tra i nove tipi di comete elencati nel *De Cometis* (un esemplare è nella Biblioteca Riccardiana, 163). Il supinate segue anche l'evoluzione della sua luminosità; se il primo giorno "il suo corpo era appena distinguibile e la sua barba all'inizio era di due gradi", il 15 gennaio la cometa "sembrava avere le dimensioni di una stella di quarta grandezza", una settimana dopo "grande come la Luna quando è piena di luce. La barba poi era di tale grandezza che a prima vista sembrava occupare più di una sesta parte del cielo". Catone, volendo misurarne la lunghezza, assume che un grado di una cometa sia 500 miglia, quindi stima che la coda fosse circa 29000 chilometri. "Che colore avesse questa pogonias, è ben difficile da rintracciare, perché gli oggetti stessi sembrano cambiare colore". Quando apparve "la chioma era color cenere... [poi] il colore dei suoi crini [mutò] da grigio a ceruleo" e poi ancora "del colore della Luna", "ma i crini, a causa della loro dimensione, sembravano di colori diversi... i fianchi del color argento... in alcune parti il suo colore era grigio, in altre plumbeo, in altre variegato". Nei capitoli successivi Catone descrive con dovizia di dettaglio i luoghi della Terra attraversati dalla cometa e quindi soggetti ai suoi influssi. Seguendo la prospettiva aristotelica, indica che "le comete non sono altro che il denso vapore della terra, le cui parti sono molto mescolate tra di loro, salendo gradualmente dalla parte inferiore del calore alla parte superiore" e che "sono create da un'azione celeste, davvero forte, che solleva materia calda e secca in gran numero e quantità nella cavità del fuoco". Dopo aver descritto "la portentosa pogonias", Catone prova a darne il significato "dal punto di vista astronomico", ma quella medievale che tende a valutare gli effetti della cometa sui pronostici secondo la sua posizione rispetto a pianeti e segni zodiacali: Bilancia "un segno d'aria... caldo e umido, maschile, diurno, cruento, dal dolce sapore occidentale... la causa della generazione dell'attuale cometa è stata la congiunzione di Saturno e Marte in Gemelli" vicino a ι Tauri in agosto insieme all'eclisse di Luna a novembre in Gemelli vicino a o Tauri, e all'ingresso del Sole in Capricorno verso il primo gennaio, quando "cominciò a riunirsi in un unico luogo... poiché, prima che la cometa appaia, passano sette giorni dall'inizio della sua coalescenza". Esse - continua - "si formano per aggiunta di una parte a una parte" e compito del filosofo naturale e del filosofo matematico è tracciare il significato delle comete.

Catone, uomo di scienza, consapevole della proprie responsabilità, seguendo la dottrina di "coloro che considerano attentamente le cose sublimi", afferma che l'apparizione della cometa è preannuncio di sciagure e di gravi rivolgimenti e lascia trasparire la sua preoccupazione, principalmente per il Regno di Napoli. La lunga serie di presagi nefasti su regni, regnanti e sudditi si chiude con l'avvertimento, condiviso da "tutti i teologi, filosofi e astrologi... [che] i presagi futuri non avvengono necessariamente, ma... mantengono una media tra il necessario e il contingente, sebbene Dio glorioso e sublime, che ha creato tutte le cose dal nulla, possa allontanare dal presente, con un solo cenno, tutte queste comete che minacciano il futuro". Anche il fisico di Zurigo chiude la sua opera ricordando che i pronostici hanno valore generale e non particolare, senza alcun riferimento a persone, città o regni, come prescrivono

Tolomeo e Albohazen Haly: "questa scienza riguarda solo supposizioni e opinioni, perché la materia su cui si estende l'intero lavoro delle stelle è mutevole in una direzione o nell'altra" (Stotz & Roelli, 2012). Un modo molto elegante, visto con gli occhi delle attuali conoscenze astronomiche, per preservare la propria autorevolezza nel campo scientifico e prognostico. Nell'ottica scolastica è, invece, un modo per contenere le previsioni agli aspetti naturali e non ritenerli applicabili al destino degli individui. Forse l'unica previsione di Angelo Catone, vera per tutti i tempi e tutte le configurazioni del cielo, con o senza comete, è "che i pensieri degli uomini saranno costantemente nel timore di cadere in miseria".

Bibliografia

Ampollini, I. (2015). *Non è la fine del mondo: Lalande, le comete e la comunicazione del rischio nel Settecento*. Tesi (Dottorato). Università degli studi di Trento.

Bourgain, P. (1994). "L'historiographie humaniste en France, 1400-1560", in *La Storiografia umanistica*, vol. 1. Messina: Sicana, pp. 761-792.

Catone, A. (1890). "Iudicium astronomorum", in de Tummulillis, A. *Notabilia temporum*, a cura di C. Corvisieri. Livorno: Francesco Vigo, pp. 151-156.

Catone, A. (1472). *De cometa anni 1472*. [Napoli: Sixtus Riessinger].

Celoria, G. (1885). "Sulla cometa del 1472", *Astronomische Nachrichten*, 112(4), pp. 49-54.

Dibdin, T.F. (1823). *Descriptive catalogue of the books printed in the fifteenth century, lately forming part of the library of the Duke di Cassano Serra*. London: William Nicol Shakspeare Press.

Dits die excellente Cronike van Vlaenderen (1531). Gheprent Tantwerpen: by my Willem Vorsterman.

Engelin, J. (1490). *Tractatus de cometis*. Memmingen: Albrecht Kunne.

Ficino, M. (1999). *Scritti sull'astrologia*, a cura di O. Pompeo Faracovi. Milano: RCS Libri.

Figliuolo, B. (1997). *La cultura a Napoli nel secondo Quattrocento*. Udine: Forum, pp. 277-407.

Filangieri, G. (1968). Lettera a Isidoro Bianchi, Palermo, 11 settembre 1773, *Archivio storico per la Sicilia orientale*, 64, pp. 35-36.

Fulle, M. *et al.* (2016), "Unexpected and significant findings in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko", *Montly Notices of the Royal Astronomical Society*, 462, S2-S8.

Heidarzadeh, T. (2008). *A history of physical theories of comets, from Aristotle to Whipple*. Berlin: Springer.

Kronk, G.W. (1999). *Cometography, vol. 1: Ancient-1799*. Cambridge: Cambridge University Press..

Regiomontanus, I., et al. (1544). "Eclipsium, cometarum, planetarum ac fixarum observationes", in *Scripta clarissimi mathematici M. Ioannis Regiomontani*. Norimbergae: apud Ioannem Montanum & Ulricum Neuber, pp. 36r-43v.

Schedel, H. (1493). *Registrum huius operis libri cronicarum cũ figuris et ÿmagĩbus ab inicio mñdi*. Nuremberge.

Seneca, L.A. (1522). *L. Annaei Senecae Naturalium quaestionum libri 7*. Venetiis: in aedibus Aldi et Andreae Asulani soceri, mense Februario.

Stotz, P. & Roelli, Ph. (2012). *Eberhard Schleusinger: De cometis – Traktat über den Kometen von 1472*. Küsnacht- Zürich: Kranich-Verlag.

Swerdlow, N.M. (1997). "L'astronomia nel Rinascimento", in Walker, Ch. (ed.) *L'astronomia prima del telescopio*. Bari: Dedalo.

Toppi, N. (1687). *Biblioteca napoletana, et apparato a gli huomini illustri in lettere di Napoli, e del Regno delle famiglie, terre, citta, e religioni, che sono nello stesso Regno. Dalle loro origini, per tutto l'anno 1678*. In Napoli: appresso Antonio Bulifon all'insegna della Sirena.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_16, pp. 139–146
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-16

A fifteenth-century Hebrew witness of the *Theorica planetarum* from the Kingdom of Naples

Ilana Wartenberg[1]

[1]Tel Aviv University - Goldstein-Goren Diaspora Research Centre, *Italia Judaica*, Tel Aviv, ilanaw@tauex.tau.ac.il.

Abstract: In this introductory paper, I present a precious witness of the hitherto-unstudied Hebrew transmission of the *Theorica planetarum*. The Hebrew translation of the *Theorica planetarum* was made on the Italian Peninsula in the middle of the fifteenth century by the Jewish physician Judah Astruc ben Samuel Shalom. The copy found within the codex Ms. III F 12 from the National Library Victor Emmanuel III in Naples was produced in the Kingdom of Naples in the Jewish year 5252 (=1491/2 CE), as part of a rich scientific codex, which also includes several poetic elements. Its scribe was Abba Mari Ḥalfon, who had come to Naples to study astronomy. Ḥalfon's copy, in Hebrew Italian script, is characterised by extremely high textual as well as diagrammatical precision and is part of a complex transmission of the seminal astronomical treatise outside the Latin sphere which preserved part of its Latin lexicon, in Hebrew characters.

Keywords: Theorica Planetarum, Hebrew Astronomy, Judah Astruc ben Samuel Shalom, Abba Mari Ḥalfon.

1. The *Theorica planetarum*

In the Latin world, the *Almagest* served as a primary source for theoretical astronomy from the middle of the thirteenth century. However, it was far too advanced for students at an elementary level. Instead, it was the *Theorica planetarum* which gradually became the pillar of the medieval astronomical university curriculum, from the late thirteenth century into the sixteenth century. After Sacrobosco's *Sphaera mundi*, the *Theorica planetarum* was the most popular astronomical manual, often being placed after the *Sphaera mundi*. The *Theorica planetarum* survived in hundreds of manuscripts (as well as early printed books) - in contrast with the paucity of known manuscripts of the Latin translations of the *Almagest*.

The *Theorica planetarum* displayed mathematical models that summarised Ptolemy's theory of planetary motion, starting with the Sun and Moon, and continuing with each of the five planets. There is no reference to the debate of compatibility between the mathematical (Ptolemaic) and physical (Aristotelean) accounts of the universe. The focus is set on solid Ptolemaic doctrines, with only a brief mention of the eighth sphere in the Section on the Moon. Neither the author of the *Theorica planetarum* nor its exact date of composition can be determined with certainty. Most manuscripts are anonymous. A few are ascribed to one of a dozen authors, among whom Gerard of Cremona. In the nineteenth century, Boncompagni tried to establish a case for the astrologer Gerard of Sabbionetta whereas Duhem sought to give it back to Gerard of Cremona.

The most probable hypothesis emerging from the known data seems to be that the *Theorica planetarum* was composed by an unknown teacher of astronomy at the beginning of the thirteenth century as a manual to supplement the meagre treatment of planetary theory in the fourth book of the *Sphaera mundi*. In any case, whoever the author of the *Theorica planetarum* may have been, and despite its various shortcomings, one must praise its consistent and unequivocal terminology, in contrast to some of the vocabulary found in

the *Almagest*. The scientific lexicon of the *Theorica planetarum* became a linguistic vehicle for theoretical astronomy extending beyond the late Middle Ages. Various academic works shed light on the intricate history of the debate surrounding the authorship and dating of the *Theorica planetarum*, as well as an analysis of its contents, language and general assessment (Federici Vescovini, 1996; The Theory..., 1974; Pedersen, 1981, 1992).

2. The Hebrew transmission of the *Theorica planetarum*

Judah Astruc ben Samuel Shalom, the son of a rabbinic scholar, translated the *Theorica planetarum* from Latin into Hebrew in the middle of the fifteenth century. Shalom was a known physician on the Italian Peninsula and similarly to many of his coreligionists, he was permitted to practice medicine thanks to papal protection, resulting in the field of medicine flourishing among Italian Jews. Shalom also translated into Hebrew Hippocrates's *Aphorisms* and the *Tractatus* on logic by Peter of Spain (Carmoly, 1844, pp. 127-8; Landau, 1895, p. 60; Steinschneider, 1893, pp. 472, 632).

In the elaborate preface to his translation of the *Theorica planetarum*, Shalom describes the Latin treatise as "small in size but significant in quality"[1] . We also learn that he made the translation at the behest of two scholars: the liturgical poet Raphael ben Isaac from Faenza and the scribe Shabtai ben Mordecai from Sulmona. Numerous textual gems are interwoven into the lengthy introduction, incorporating hermeneutical and philosophical layers and shedding new light on Jewish intellectual circles during the Italian Renaissance. Shalom's introduction corroborates further our knowledge regarding the widespread interest in astronomy within Jewish circles and its actual study by (at least) Jewish men, who were by and large literate, due to their religious obligation to be able to read (and understand) the prayers in Hebrew from a young age. Shalom further emphasises the superior status of astronomy over all the other sciences in medieval Jewish thought - reminding us of the modern perception of mathematics as the Queen of the Sciences - and its central role within the Jewish tradition and religious practice, for example, in the reckoning of the Jewish calendar. The desire to study nature, and particularly the skies, as a means to approach God, was part and parcel of the medieval Jewish philosophical *Weltanschauung*, most famously represented by the polymath Moses Maimonides. Much has been written about Judaism and astronomy (Goldstein, 1965; Kellner, 1991; Langermann, 2000).

The six extant copies of the Hebrew *Theorica planetarum* date from the fifteenth and the sixteenth centuries, four manuscripts are in Italian and two in Sephardic Hebrew scripts, but only half of them preserved the beautiful introduction by Shalom[2] . The Hebrew transmission also includes Latin terminology in Hebrew characters, which I will refer to as *Judeo-Latin*, and even one case in which we find the entire Latin text in Hebrew characters juxtaposed with Shalom's Hebrew translation[3] . Shalom's impeccable translation not only reflects a profound understanding of the astronomical contents but also a mastery of the Latin and Hebrew scientific languages.

The fact that the Hebrew transmission of the *Theorica planetarum* contains variable amounts and forms of Judeo-Latin may suggest that it was Shalom himself who originally decided to incorporate Latin terminology in Hebrew characters in the *Urtext* for the benefit of his future readers, for whom the knowledge of the Latin scientific terminology could be of use in their study of astronomy from Latin

[1] שהוא מעט הכמות ורב האיכות

[2] Details of the manuscripts can be retrieved through www.nli.org.il (Accessed 1 October 2024)

[3] It is important to note that *Judeo-Latin* is not part of the Judeo-languages in the classical sense because unlike Judeo-Italian [with its numerous variants e.g. Judeo-Florentine, Judeo-Roman (still in use), Judeo-Venetian], as well as Judeo-Spanish (Ladino) and other Judeo-Romance languages, Judeo-Arabic, Judeo-Persian etc., which were the native tongues of Jews in the various communities, based on the local dialects with unique Jewish and Hebrew linguistic features within, there is no evidence of Latin being a *lingua franca* of Jews. It is the manifestation of the Latin language in Hebrew script that allows, albeit laxly, to embrace the designation *Judeo-Latin* in our case.

sources, whether at university or with a Christian master. The variegated dissemination of the Hebrew *Urtext* modulo its Judeo-Latin density and forms, as well as many other linguistic and textual features a priori seem to point to a rather complex Hebrew transmission of the *Theorica planetarum*, and possibly, to a significantly larger number of copies extant in the past.

Finally, it is important to know that the Hebrew translation of the *Theorica planetarum* is embedded within the rich history of the naissance of Hebrew as a language of science and philosophy, whose roots are found in the twelfth century. At the same time, one must not forget the high esteem of the Hebrew language in Renaissance Italy, which allowed Hebrew writing to flourish far beyond its traditional Jewish borders and to be learned also by Christian humanists. Nevertheless, it is not a priori clear whether any humanists actually read the *Theorica planetarum* in Hebrew translation, not only because the Latin original would naturally have been much more accessible to Christian scholars interested in astronomy, but because much of the Christian interest in Hebrew, as far as we know, was focused mainly on the Hebrew Bible, Hebrew grammar, and Cabala.

3. Codex III F 12 and its scribe Abba Mari Ḥalfon

The scribe of the codex, who authored some of its contents and also added comments to the Hebrew translation of the *Theorica planetarum*, is Abba Mari Ḥalfon, the father of the famous cabalist Elijah Menaḥem Ḥalfon. In the colophon in fol. 41r, we read: "In the [Jewish] year [5]252,[4] when the morning stars sang together [Job 38:7], I went to the Kingdom of Naples - I, the student Abba Mari[5] – in order to study astronomy, may it be a blessing, Amen." (Fig. 1). In the margins of folio 41r, however, Ḥalfon refers to himself as an astronomer. Perhaps he added this note only after having completed his studies in Naples. According to another colophon found in folio 34v, we also learn that Ḥalfon created the codex, or at least part thereof, in Benevento and that his father's name was Elijah Ṣarfatti. One can find further details on Abba Mari Ḥalfon in earlier bibliography (Kohler & Broydé, 1901-1906; Steinschneider, 1893, pp. 625-6). The ample codex, embracing more than 240 folios[6], is for its most part scientific in nature. It includes numerous scientific Hebrew treatises composed by leading Greek, Muslim, Jewish, and Christian authors. They include Hippocrates, Ptolemy, Theodosius, Al-Farghani, Al-Zarqali, Ibn Luqa, Ibn Rushd, Abraham bar Ḥiyya, Jacob ben Machir, Immanuel Bonfils, Abraham Ibn Ezra, Isaac Ibn Al-Aḥdab, and Michael Scot. The majority of works are of astronomical nature, covering planetary theory, models of astronomical instruments (e.g. the astrolabe and the quadrant) and their use, as well as astronomical tables (some incomplete), providing a wide range of material for purely theoretical study as well as astronomical observations. However, Ḥalfon also copied tracts on other related medieval scientific fields, such as mathematics, astrology, physiognomy, and medicine.

In the codex, we also find Ḥalfon's own study of solar and lunar phases, solar eclipses, and paraphrase of Ibn Rijal's commentary on the Alfonsine Tables, preceded by his own poem. In the codex, there is also an elegy Ḥalfon had written in 1490, in Lucca, over the death of his friend, the well-known Rabbi Jehiel of Pisa, scholar, and philanthropist, whose charity helped alleviate the suffering of Sephardic Jews,

[4] The thousands are often omitted in the notation of Jewish years for the sake of abbreviation, similarly to omitting thousands and hundreds in the Gregorian calendar e.g. writing the year 24 instead of 2024. 252 is the alphanumerical value of the word ברן (=when X sang), which appears at the beginning of a biblical verse mentioning the stars: "When the morning stars sang together, and all the sons of God shouted for joy" [Job 38:7]

ברן יחד כוכבי בוקר ויריעו כל בני אלהים

[5] Ḥalfon creates a pun in his abbreviation *Abba Mari [the] Student* אמת means 'truth'.

[6] An old black and white imperfect scan of the entire codex III F 12 acquired by the National Library of Israel for its digitisation project of all Hebrew manuscripts worldwide is accessible online: www.nli.org.il (Accessed 1 October 2024). Note that several folios within the codex had been originally bound upside down.

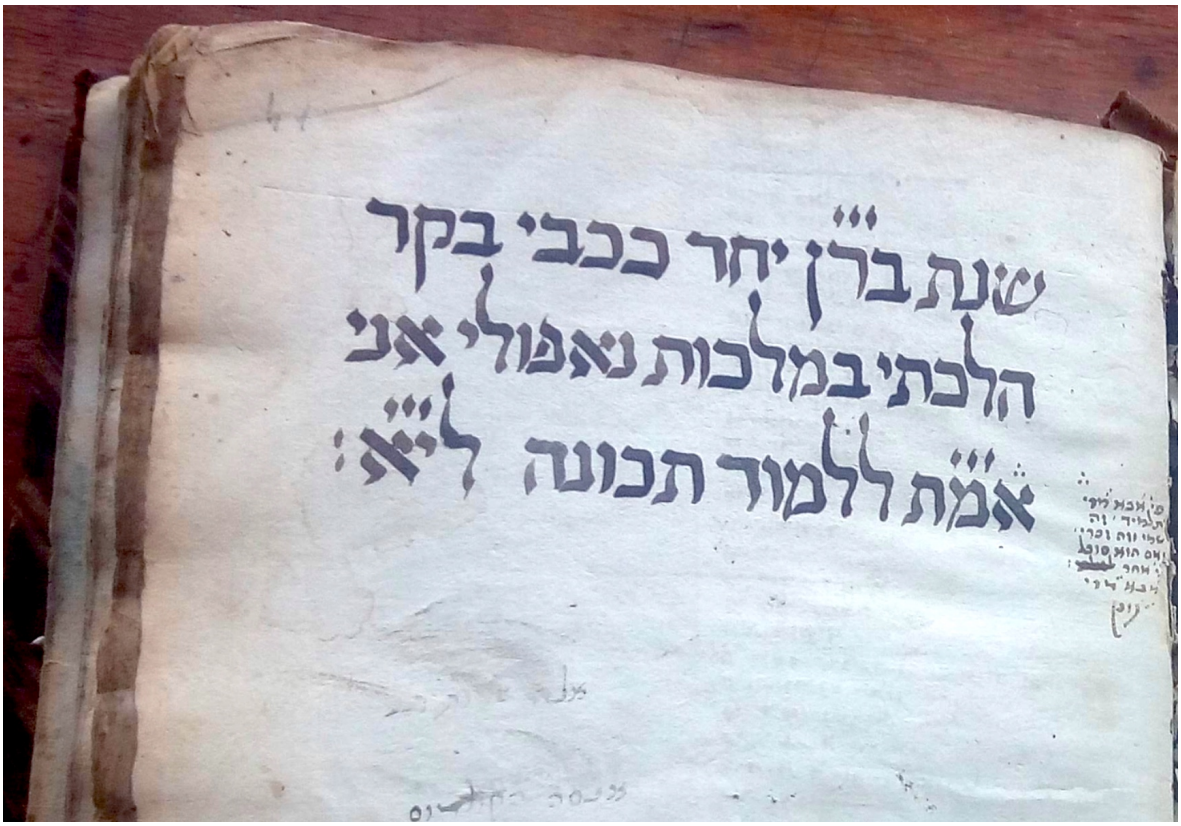


Fig. 1: Ms. III F 12, fol. 41r. By courtesy of the Ministry of Culture, National Library of Naples

who fled to Northern Italy after the 1492 Expulsion from the Iberian Peninsula[7]. Furthermore, Ḥalfon copied an elegy written by Moses da Rieti, known as the Hebrew Dante, over the death of his wife. In the catalogue of the National Library Victor Emmanuel III in Naples, there is a detailed description of the codex, albeit not devoid of inaccuracies (Moscati Steindler, 1971, pp. 315, 317, 327-335).

Shalom's Hebrew translation of the *Theorica planetarum* is found in folios 55v-61v in Ms. III F 12. The given title is *A Study of the Seven Planets* [folio 54v, Fig. 2]. Neither the name of the author nor that of the translator are mentioned. Ḥalfon probably had in front of him an exemplar of the branch of the Hebrew translation that did not include the introduction, in which the translator's name is mentioned. Throughout the codex one notes the numerous names of authors, commentators, and translators explicitly mentioned by Ḥalfon, so one may assume that he did not know the source of the Hebrew translation of the *Theorica*. Ḥalfon copied the *Theorica* meticulously. In the first section, on the Sun, at the bottom of folio 55v (Fig. 2), he adduces information from Ibn Rushd's *Compendium of the Almagest*[8]. His diagrams are precise and made with great care. In folio 56r (Fig. 2) one can see the solar model, and in folio 59r (Fig. 3), the model for Venus and Mercury is drawn. Throughout the copy, we find abundant scientific terminology in the margins in Hebrew characters with vocalisation, which allows the reader to know its precise pronunciation. Ḥalfon's decision to include the *Theorica planetarum* in the codex shows that he considered it important for the study of astronomy and a pathway to Latin astronomy and its lexicon. It may have, together with the other treatises, served him in the preparation for the study at university or within a Jewish or Christian academic circle. Who was the intended readership of Ḥalfon's impressive

[7] Jehiel of Pisa also hosted in his home for many years Rabbi Johanan Alemanno, the humanist philosopher and cabalist, who was Pico della Mirandola's Hebrew teacher.

[8] مختصر المجسطي

Fig. 2: Ms. III F 12, fols. 55v-56r. By courtesy of the Ministry of Culture, National Library of Naples

codex, and in particular his copy of the *Theorica*? Did he invest so much effort to create the codex for self-reference only or perhaps for a circle of students, thinking also about future readers, too? How did Ḥalfon obtain copies of the treatises he copied? Was it a collection of Hebrew manuscripts he had brought along, or did he have access to a Jewish scientific library in the Kingdom of Naples itself? Did he make his own scientific contributions during or after his study of astronomy? At the moment, there are more questions than answers, but at least we can say with certainty that Ms. III F 12 is a palpable witness of Jewish intellectual history in the Kingdom of Naples at the end of the fifteenth century, during an enlightened phase of the Aragonite rule by Ferdinand I in the south of the Italian Peninsula. At the same time, the codex serves as a mirror to the relatively little-known figure of Abba Mari Ḥalfon, a representative of a late medieval Jewish *homme de science*, carrying a rich intellectual baggage of Greek, Arabic, Hebrew and Latin science.

4. Pursuing the *Theorica planetarum*

In this brief contribution, I have offered a glimpse into the Hebrew transmission of the *Theorica planetarum* through the lens of one representative from the end of the fifteenth century, created in the Kingdom of Naples. Future interdisciplinary research of the Hebrew *Theorica planetarum* encapsulates a multitude of fascinating facets. First and foremost, the textual and diagrammatical study, accompanied by a palaeographical and codicological analysis of the surviving manuscripts in the endeavour to establish the *stemma codicum* and approach the *Urtext* in as much as possible will make an important contribution to the ongoing study of medieval and early modern Hebrew manuscripts. Secondly, the linguistic analysis of both the Hebrew and Judeo-Latin scientific languages within the transmission will enhance our understanding of the evolution of Hebrew as a language of science on the one hand, and its encounter with Latin in Hebrew dressing, on the other. Thirdly, the study will shed further light on Jewish intellectual history between scholasticism and humanism in the fifteenth and sixteenth centuries. Last but not least, the exploration of the transmission of the *Theorica planetarum* into the Hebrew sphere will contribute to a chapter in the history of science yet to be discovered.

Fig. 3: Ms. III F 12, fol. 59r. By courtesy of the Ministry of Culture, National Library of Naples

Bibliography

Carmoly, E. (1844). *Histoire des médecins Juifs anciens et modernes*. Bruxelles: Société Encyclographique des Sciences Médicales.

Federici Vescovini, G. (1996). "Michel Scot et la *Theorica Planetarum Gerardi*", *Early Science and Medicine*, 1(2), pp. 272-282.

Gerardus Cremonensis (1472). *Magistri Gerardi Cremonensis viri clarissimi theorica planetarum feliciter incipit*. Ferrara: Andreas Belfortis.

Goldstein, B.R. (1965). "The medieval Hebrew tradition in astronomy", *Journal of the American Oriental Society*, 85(2), pp. 145-148.

Kohler, K. & Broydé, I. (1901–1906). "Ḥalfon, Abba Mari", *The Jewish Encyclopedia*. New York: Funk & Wagnalls, pp. 169-170.

Kellner, M. (1991). "On the Status of the Astronomy and Physics in Maimonides' Mishneh Torah and Guide of the Perplexed", *The British Journal for the History of Science*, 24(4), pp. 453-463.

Landau, R. (1895). *Geschichte der jüdischen Ärzte, ein Beitrag zur Geschichte d. Medicin*. Berlin: Karger.

Langermann, Y.T. (2000). "Hebrew Astronomy: Deep Soundings from a Rich Tradition", in Selin, H. & Xiaochun, S. (eds.) *Astronomy Across Cultures. Science Across Cultures: The History of Non-Western Science*, vol 1. Dordrecht: Springer, pp. 555-584.

Moscati Steindler, G. (1971). "I manoscritti ebraici della Biblioteca Nazionale di Napoli", *Annali dell'Istituto Orientale di Napoli*, XXXI, pp. 313-340.

Pedersen O. (1992). "The *Theorica planetarum* and its progeny", in Federici Vescovini, G. & Barocelli, F. (eds.) *Filosofia, scienza, e astrologia nel trecento Europeo*, Padua: Il Poligrafo, pp. 53-78.

Pedersen, O. (1981). "The Origins of the *Theorica Planetarum*", *Journal for the History of Astronomy*, 12/2, pp. 113-123.

Pedersen, O. (1978). "The decline and fall of the *Theorica planetarum: Renaissance Astronomy and the Art of Printing*", in Hilfstein, E., Czartoryski, P. & Grande F.D. (eds.) *Science and history: Studies in honor of Edward Rosen* (Wrocław, 1978), Wrocław: Wydawnictwo Polskiej Akademij Nauk, pp. 157-185.

"The theory of the planets" (1974). Translated by Pedersen, O., in Grant, E. (ed.) *A source book in medieval science*. Cambridge: Harvard University Press, pp. 451-465.

Steinschneider, M. (1893). *Die hebraeischen Uebersetzungen des Mittelalters und die Juden als Dolmetscher, ein Beitrag zur Literaturgeschichte des Mittelalters, meist nach handschriften Quellen*. Berlin: Kommissionsverlag des Bibliographischen Bureaus.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_17, pp. 147–154
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-17

E noi uscimmo a riveder le stelle. La famiglia Medici e il mecenatismo scientifico a Firenze

Erika Bercigli[1]

[1]Università di Bologna, Bologna, erikabercigli840@gmail.com.

Abstract: Se pensiamo a Firenze e alla sua ricca storia, non possiamo fare a meno di pensare alla famiglia Medici. Questa famiglia originaria del Mugello ha plasmato in un modo significativo il mondo in cui vivevano, usando, a questo proposito, il mecenatismo come arma per scopi politici ed economici e lasciando,così, un marchio indelebile dentro al tessuto della città di Firenze. Nonostante si conosca a menadito il loro mecenatismo artistico e come hanno plasmato il Rinascimento, conosciamo così poco del mecenatismo scientifico. Anche se alcuni storici della scienza hanno tentato di studiare la relazione tra i Galileiani e i loro mecenati, non c'è mai stato un tentativo nel comprendere le ragioni per cui i Medici volessero investire il loro denaro, tempo e sforzi in questo mecenatismo. Quest'articolo intende scoprire le motivazioni che spinsero i Medici ad occuparsi sia del mondo politico e culturale relazionandosi, nel contempo, con Galileo ed altri scienziati come Viviani, Torricelli e Rinaldini portando questa visione su una prospettiva storica. Un altro punto fondamentale sarà esplorare alcune figure chiave all'interno dei Medici che ci faranno vedere l'evoluzione di questo tipo di mecenatismo, dagli inizi fino all'estinzione del casato, lasciando un segno indelebile nella scienza fiorentina.

Keywords: Medicean Patronage, Astronomy, History of Science, Physics

1. Homini novi alla conquista del Rinascimento

Quando pensiamo a Firenze, uno dei primi pensieri che ci viene in mente è legato alla famiglia Medici. Se camminiamo per le strade del capoluogo toscano, tenteremo di respirare la storia che l'ha pervasa sin dalla sua fondazione, ma notando l'impronta indelebile lasciata dai Medici. Quasi tutti conoscono la loro storia, come hanno poi preso il potere ma, spesso, non si vedono le sottili trame che hanno portato questa famiglia ad essere la migliore surclassando altre potenti rivali del Rinascimento, come i Della Rovere, i Borgia, i D'Este o persino i Montefeltro.

Rispetto agli Albizzi, gli Strozzi e i Pazzi che nascevano come esponenti della vecchia classe gentilizia della nobiltà fiorentina, i Medici erano degli homini novi. Nati come mercanti e banchieri appartenenti alla nobiltà locale del Mugello, nel 1385 decisero di trasferirsi a Firenze con Giovanni di Bicci, dato che gli era stato assegnato l'incarico di diventare apprendista dello zio Vieri, dando così il via alla storia del casato in città.

Da subito, fu chiaro alle altre famiglie che i Medici avevano una mentalità moderna per gli inizi del Quattrocento. Essi fecero del mecenatismo la loro arma principale, non solo per arricchirsi ma anche creare una forte rete di contatti che aprì loro delle importanti porte come quelle dello Stato Pontificio. Ciò li portò a diventare prima i tesorieri dell'Antipapa Giovanni XXIII Cossa e poi, con l'ascesa al soglio pontificio di Leone X e di Clemente VII, ad avere ben due papi nella loro dinastia che furono protagonisti delle vicende protestanti e della controriforma, plasmando il mondo religioso di inizio Cinquecento.

Nel caso, invece, della politica estera, i vari membri della famiglia si dimostrarono valenti e capaci diplomatici, anche se, spesso, si dimostrarono 'servitori di due padroni', cercando di sfruttare le alleanze costruite a loro vantaggio. Da ricordare le alleanze con il Regno di Francia, nel 1465 quando Piero "Il

Gottoso" venne nominato segretario segreto da parte del re Luigi XI "Il prudente" Valois, ottenendo il permesso di apporre nello stemma di famiglia il fleur-de-lys francese, e quella con il Regno di Spagna e il Sacro Romano Impero attraverso il matrimonio tra Cosimo I de' Medici, futuro granduca di Toscana, ed Eleonora di Toledo, figlia del viceré di Napoli, nel 1539. Tuttavia, la politica interna, spesso, venne messa a dura prova da parte di diversi fattori che si possono ritrovare non soltanto nel crogiuolo dei loro rivali come i Riario o i Pazzi, ma anche per mancanza di politiche attive verso determinati problemi come, ad esempio, l'inclusione della comunità ebraica nelle dinamiche cittadine o anche la salvaguardia del territorio toscano soggetto a smottamenti come quello accaduto alla Costa San Giorgio nel 1547 che uccise la famiglia di Bernardo Buontalenti, architetto ed amico personale del Granduca Francesco de' Medici (Botto, 1972). Negli anni seguenti alla nascita del Granducato di Toscana, un problema costante che la famiglia dovette affrontare fu la mancanza di eredi e l'oscillamento di supporto nella trama diplomatica ai loro alleati si spostò, con l'incoronazione di Ferdinando I de' Medici a granduca nel 1589, dalla Spagna degli Asburgo al Regno di Francia, siglata con le nozze della nipote di quest'ultimo Maria de' Medici con il re Enrico IV di Borbone nel marzo del 1600.

Infatti, con l'arrivo della giovane sul trono francese come sua nuova regina, il mecenatismo di Maria fu fondamentale per la costruzione di quello scientifico in Francia dove, grazie al figlio Luigi XIII e al nipote Luigi XIV, si avrà l'apogeo delle scienze francesi che culmineranno con la nascita dell'Académie des Sciences nel 1666. Con Ferdinando,il Granducato tentò di espandere la propria influenza in alcuni stati chiave del Mediterraneo come il Libano, retto, all'epoca, dal sultano Fakhr-Ad Din II che tenne una lunga e proficua corrispondenza con Ferdinando (Carali, 1936) che durò fino alla morte del Granduca nel 1609, o la tentata creazione di un avamposto a Goa con Cosimo III nel 1719 ma che non ebbe gli esiti sperati. SCon Cosimo III, si pose in modo drammatico la questione della successione che li portò all'estinzione definitiva, quando l'ultimo membro di casa Medici, Anna Maria Luisa del Palatinato morì il 18 febbraio 1743. Ma nei suoi 441 anni di storia, come è avvenuto questo strano binomio tra il mondo scientifico e i membri della famiglia? Qual è stato il segreto del loro successo?

1.1. Il binomio Medici-scienza: evoluzione di un mecenatismo

Per capire meglio come questo binomio abbia potuto avere delle fondamenta solide, dobbiamo tracciare un'evoluzione che va di pari passo con la politica mecenatistica dei Medici. Partendo dal 1400, anno di fondazione del Rinascimento, notiamo come la scienza stava muovendo i suoi primi passi all'interno di un contesto più grande di lei. Oggigiorno, siamo abituati a vedere la scienza come quell'insieme di materie che si basano sui calcoli e gli esperimenti intesi come scientifici, ma un tempo, la scienza altro non era che un insieme di conoscenze. Tra di esse, si poteva trovare l'astrologia, la medicina, l'astronomia e persino l'arte. Ed è proprio dall'arte che parte anche il viaggio mecenatistico dei Medici.

Infatti, sin dal 1400, Giovanni di Bicci era diventato membro dell'Arte di Calimala, una corporazione che si occupava di sovrintendere al restauro delle maggiori opere in città come il Battistero di San Giovanni. Ed è attraverso il concorso per il completamento delle Porte Sante del Battistero che Giovanni incontrò il giovane Filippo Brunelleschi. Intuita una visione peculiare, Giovanni di Bicci si offrì di diventare il mecenate del giovane artista e Brunelleschi accettò. Sotto la sua protezione, l'artista poté esprimere il suo genio compiendo importanti studi che lo portarono, poi, a realizzare la famosa Cupola di Santa Maria del Fiore nel 1436. Ma forse una delle particolarità che, ultimamente, si sta cercando di capire è il suo studio sull'astronomia che traslò nei meravigliosi affreschi che possiamo ammirare sia nella Cappella Pazzi della Basilica di Santa Croce sia nella Basilica di San Lorenzo, opere del suo periodo tardo. Ed è proprio quest'ultima che è stata l'oggetto di uno studio congiunto tra storici ed astronomi. Bonoli, Gandolfi, Lapi Ballerini, Acidini, Ranfagni, Blume, Lazzi, Truffa, Rousseau e Dekker (Bònoli, 2022) hanno studiato da vicino gli affreschi alquanto rovinati della Cupola di San Lorenzo e hanno

cercato di delinearne un quadro abbastanza complesso, concentrandosi non soltanto sulle peculiarità artistiche che contraddistinguono l'opera ma anche la sua interpretazione astronomica che ha catturato l'attenzione di importanti astronomi e storici della scienza.

Bonoli e Dekker hanno studiato da vicino la cartografia astrale mostrata nell'affresco, tentando, rispetto ad altri colleghi che volevano identificare la tipologia di cometa raffigurata al suo interno, di capire la posizione e il calcolo della distanza dei pianeti raffigurati. Dekker, in particolare, mette in dubbio la paternità dell'affresco, non attribuendola né a Brunelleschi né a Paolo del Pozzo Toscanelli per via del fatto che non vi è traccia, al momento, di una copia di una carta stellare che possa confermare la teoria (Dekker, 2022). Bonoli, invece, si è concentrato per lo più nell'evidenziare i calcoli usati per le misurazioni nonché le imprecisioni usate per sottolineare come la distanza tra i pianeti sia stata erronea, sebbene, per l'epoca, si trattò di una vera e propria rivoluzione anche se è ancora oggi oggetto di studio (Bònoli, 2022).

1.1.1. Apogeo e caduta di un mecenatismo fruttuoso

Tuttavia, se dobbiamo considerare un vero e proprio punto di inizio dobbiamo datarlo attorno al 1580, anno dell'arrivo di Ostilio Ricci alla corte dei Medici. All'epoca era granduca Francesco I de' Medici, figlio di Cosimo I "Il Grande" e di Eleonora di Toledo. Sebbene egli fosse un alchimista che si dedicava in prima persona a questi studi nel Casino di San Marco (Berti, 1967), Francesco voleva che i suoi figli conoscessero la scienza in ogni sua forma diventando così dei 'dilettanti'. Infatti, l'educazione medicea si caratterizzò per la moltitudine di argomenti che i principi e le principesse ebbero modo di studiare, ed era in concorrenza con ciò che veniva proposto nello Studium di Pisa e all'Accademia delle Arti e del Disegno.

Maria Pia Paoli (2008) sottolineò come l'educazione signorile, negli anni di Francesco, fosse diventata un perno importante per i futuri granduchi di Toscana, ponendo particolare attenzioni sulle donne di casa Medici, vero cuore pulsante dell'educazione anche scientifica. Infatti, quando Francesco fece chiamare Ostilio Ricci, il suo più grande desiderio fu che le sue figlie e il piccolo Filippo, morto a soli 5 anni di età per complicanze della sua idropisia (Lippi, 2006), dovessero apprendere la matematica cercando di farli appassionare alle scienze. E tra gli altri allievi che gravitarono attorno al Ricci, matematico dei paggi e dei principi, ci fu un giovanissimo Galileo Galilei. Da subito, notiamo come le strade di Galileo e quella dei Medici si intreccino fortemente. Morto Francesco nel 1586 a causa della malaria mentre si trovava nella villa di Poggio a Caiano, fu il fratello Ferdinando I, ex cardinale, a prendere in mano il Granducato dopo aver fatto firmare al nipote adottivo Antonio un'accordo nel quale egli rinunciava ad ogni pretesa sul Granducato. Fu, infatti, grazie a Ferdinando se si poté assistere ad un cambio radicale: dall'alchimia si passò alla scienza fisica come la fisica e l'astronomia. Spesso, quest'interesse per la scienza viene percepito da moltissimi studiosi come una moda di corte, alla pari dell'alchimia, in ogni cosa che i Medici facevano c'era un vero e nutrito interesse che andava al di là della moda passeggera. Ma in realtà, ciò si ritrova nelle politiche delle granduchesse Cristina di Lorena e Maria Maddalena d'Austria, rispettivamente madre e moglie di Cosimo II., considerate come le vere animatrici della rivoluzione scientifica nella corte fiorentina. Sebbene Ferdinando tennesse sott'occhio la carriera di Galileo aiutandolo ad ottenere un posto allo Studio di Pisa tramite la raccomandazione dell'amico Guidobaldo del Monte, egli non poté vedere realizzati i suoi sforzi perché morì il 3 febbraio 1609. Tra le sue ultime volontà, chiese alla moglie di fare in modo che il figlio ed erede Cosimo II venisse educato alla scienza e fu proprio Cristina a chiedere a Galileo di diventare precettore di Cosimo. Il rapporto intercorso tra Galileo e i Medici fu di assoluto rispetto reciproco nonché animato di un vero e proprio scambio di vedute, come le famose Lettere Copernicane in cui Cristina dibatté con Galilei riguardo al cosmo. I Medici furono grati di avere Galileo a corte, anche quando lui dovette partire per Padova a ricoprire la carica di professore, ma la sua presenza animò le sale di Palazzo Pitti al punto tale che, il 7 gennaio 1610, inviò una lettera cifrata a

Giuliano de' Medici, ambasciatore mediceo a Praga in cui lo informò della scoperta dei satelliti di Giove ribattezzati come Medicea Sidera. Cristina e Maria Maddalena continuarono la tradizione scientifica, non soltanto come mecenati ma anche come appassionate del lavoro di Galileo e della scienza in generale. E' di particolare importanza una lettera in cui Cristina scrisse al figlio cardinale Carlo nel 1623, mostrando quanto Galileo tenesse in grande considerazione la granduchessa dato che aveva bisogno di una sua lettera per essere introdotto nell'ambiente romano di cui Carlo fu animatore (Di Lorena, 1623). L'acume delle donne di casa Medici non passa inosservato, nemmeno in terra francese dove, dal 1610 (Young, 1913), Maria regnò in coreggenza con il figlio Luigi XIII, dopo l'assassinio del marito Enrico IV Borbone.

Data la sua passione per la scienza, in particolare per la geologia e le pietre dure, Maria decise di patrocinare degli studi scientifici non avendo mai modo di concretizzarlo a causa degli screzi con il figlio Luigi XIII che portarono, poi, al suo esilio ad Anversa nel 1630. Però la sua impronta rimane tale nel figlio il quale patrocinò sia l'accademia Parisiensis di Mersenne sia l'Accademia di Montmor (Giannini, 2020) nel 1657 che divennero la base fondativa di quello che sarà l'Académie des Sciences di Parigi.

Gli anni del regno di Cosimo II (Young, 1913) diventano il momento cardine in cui la relazione tra la scienza e i Medici si consolida, diventando sempre più forte, impreziosita anche dalla presenza di Galileo. Purtroppo, come il padre, anche Cosimo II morirà improvvisamente il 28 febbraio 1621 lasciando che sia la moglie Maria Maddalena a portare avanti il suo desiderio che il matematico pisano diventi il precettore dei figli Ferdinando, futuro granduca, e Leopoldo. L'impronta di Galileo e l'enorme debito contratto dai giovani rampolli di casa Medici nei confronti del matematico pisano è talmente forte che, sin dal 25 luglio 1632, sia Ferdinando, Leopoldo, Mattias e anche la loro madre Maria Maddalena seguirono assiduamente il processo, assicurandosi, attraverso lo zio Carlo e il fratello Giovan Carlo, che una delegazione fiorentina fosse presente a Roma a sostenere gli interessi di Galileo. A testimonianza di ciò, abbiamo una lettera di Francesco Barberini, nipote di Urbano VIII, indirizzata a Maria Maddalena d'Austria in cui veniva accolta la richiesta esplicita della granduchessa in cui una piccola delegazione granducale fosse presente, come sostegno per lo scienziato pisano, assicurandosi che nessun membro dell'Indice potesse far valere i propri interessi. Il 22 giugno 1633 Galileo abiurò mettendo così al processo. Ciò per i Medici fu un duro colpo, ma si assicurarono che Galileo tornasse a Firenze donandogli la Villa il Gioiello dove poté scontare la sua pena, fino alla morte avvenuta l'8 gennaio 1642, avendo al suo fianco Torricelli e il giovanissimo Viviani che aveva neanche 16 anni. La morte del loro maestro fu un duro colpo per Leopoldo e Ferdinando II che decisero, di comune accordo, di raccogliere gli allievi diretti e i sostenitori della scienza galileiana in modo tale da portare avanti gli insegnamenti di Galileo ed onorarne così la sua memoria. Fu così che nel 1657 venne fondata l'Accademia del Cimento che raccolse importantissimi scienziati, tra i quali Vincenzo Viviani. Quest'ultimo conosceva, sin da bambino, la corte medicea perché suo fratello Alamanno era stato segretario personale di Ferdinando II e fu lui ad introdurre il giovane Viviani a corte. E' particolare il rapporto che si instaurò tra Ferdinando e Viviani; il Granduca si accorse che Viviani aveva un'acume non comune per la sua età durante un test che fece al giovane mentre la corte si trovava a Livorno. Da allora, Viviani divenne uno dei principali animatori dell'eredità galileiana a Palazzo Pitti, anche se molti vedevano in lui, come dirà Giovanni Battista Clemente Nelli, un'emulatore invidioso di Torricelli, considerato da molti come il vero erede di Galileo. I dieci anni di attività del Cimento consolidarono la fama di mecenati di Ferdinando II e di Leopoldo che, animati da spirito scientifico, si buttarono anima e corpo nello studio della scienza, in particolare della meteorologia che portò alla costruzione di termometri e dell'astronomia con le osservazioni di comete e dei pianeti effettuati al Giardino di Boboli. Tuttavia, le tensioni interne tra Viviani e alcuni membri dell'Accademia come Borelli portarono ad una lenta ma evidente rottura tra i galileiani; ciò si può trovare nella famosa disputa che vide protagonista Viviani e Borelli sul manoscritto di quello che sarà il Quinto Libro degli Elementi di Euclide. L'oggetto della loro contesa fu stabilire con esattezza matematica che le formule ivi

contenute nel suddetto libro fossero quelle che, secoli addietro, aveva enunciato il matematico greco.

Borelli aveva ritrovato il libro perduto all'interno della biblioteca palatina e l'aveva tradotto, grazie alla collaborazione del frate maronita Abramo Ecchellense. Invece, Viviani aveva ricostruito le formule matematiche grazie alla sua memoria prodigiosa e ai quattro libri che possedeva nella sua biblioteca personale. Sebbene entrambi arrivarono alle medesime conclusioni, il Granduca Ferdinando II dette ragione a Viviani, facendogli vincere la disputa.

Il mecenatismo congiunto di Ferdinando e di Leopoldo fece sì che si potesse creare una solida rete di contatti anche tra scienziati stranieri che gravitarono a Firenze come Isaac Barrow dall'Inghilterra o Simon Stevin che venne accolto personalmente da Viviani. Così, il mecenatismo scientifico arrivò al suo apogeo facendo di Firenze il centro di un Gran Tour scientifico, ma tutto ciò non ebbe una vita lunga: infatti, il 23 maggio 1670 Ferdinando II morì. La sua morte segnò l'inizio della decadenza di questo mecenatismo, nonostante Leopoldo tentò di continuare l'opera ma senza successo. Con Cosimo III si ebbe la definitiva rottura con i galileiani, in favore di materie definite pie dal nuovo granduca come la medicina; Viviani, oramai vecchio, si congedò dai Medici dopo ben 50 anni al loro servizio come ingegnere delle acque. Per i suoi lavori e il suo acume, ottenne la nomina ad accademico sia da parte della Royal Society sia dall'Académie des Sciences, grazie all'amico Cassini.

Sotto Cosimo III, le scienze e l'eredità di Galileo iniziarono ad essere viste come obsolete sostenute dal figlio, il Gran Principe Ferdinando, ma, dopo la morte di quest'ultimo nel 1713 e di Cosimo III nel 1723, l'ultimo granduca Giangastone decise di ricucire quella ferita profonda. Sebbene egli sia noto per le sue scorribande amorose, Giangastone mostrò di possedere una sensibilità fuori dal comune e si dimostrò, da subito, interessato a ricucire quel rapporto con i galileiani. L'atto più importante non fu soltanto quello di ristabilire lo studio delle scienze fisiche come l'astronomia e la fisica ma anche quello di dare vita al sepolcro di Galileo che, da un piccolo saccello, poté essere traslato in pompa magna nella Basilica di Santa Croce il 12 marzo 1737, ristabilendo quell'antico rapporto iniziato tantissimi anni fa con Francesco e Ferdinando I.

Sebbene Giangastone non visse a lungo, morendo il 9 luglio 1737, ciò che seminò fu il ripristino di un rapporto intrinseco tra la città e la scienza galileiana. Il Patto di Famiglia, stipulato da Anna Maria Luisa del Palatinato, sorella del Granduca, il 31 ottobre 1737, permise alla città di tenere e di conservare per usufrutto pubblico tutti i manoscritti, i fondi archivistici e librari della famiglia Medici così come gli epistolari e le opere d'arte. Diversa sorte ebbe l'imponente collezione scientifica: una considerevole parte venne smembrata dai Lorena non appena si insediarono sul trono granducale, ma un'altra parte venne recuperata, seppur esigua. Oggi, essa costituisce il nucleo fondativo del Museo Galileo, situato non distante dagli Uffizi, capolavoro artistico voluto da Francesco de' Medici, uomo dal quale era iniziato tutto, quasi fosse una naturale prosecuzione di questa storia.

2. Nuove frontiere da scoprire

Diverse sono le motivazioni che hanno spinto i Medici ad occuparsi della scienza, ma alla base possiamo ritrovare principalmente due motivazioni: la prima di carattere culturale e la seconda di carattere politico ed economico. Come abbiamo visto, la cultura di corte era impregnata di novità e il continuo aggiornarsi sulle novità del tempo fu un fattore essenziale per i Medici affinché rimanessero sulla cresta dell'onda. Ma, spesso, come nei casi di Ferdinando II e di Leopoldo, si trattò di un genuino interesse . La relazione di Ferdinando II e di Galileo, così come quella che ebbe con Viviani, fu quasi di affetto filiale, dato che il giovane granduca era rimasto orfano di padre molto presto e vedeva in quel vecchio matematico un padre. Lo stesso si poté dire di Viviani che, fino alla morte di Galileo, rimase al suo fianco divenendo, successivamente, il suo biografo e amico del figlio Vincenzo.

La corte medicea diede molto agli scienziati, proteggendoli e fornendo loro il necessario per i loro esperimenti, come la riserva di cannoni che servì a Viviani per il suo studio sulla velocità del suono effettuata alla Villa della Petraia assieme a Borelli. Tuttavia, però, questa incrollabile lealtà venne messa, spesso, alla prova: ne è un esempio, il tentativo andato male da parte di Viviani di ottenere la cattedra di matematica allo Studio di Padova scoperto dal Granduca al cui posto andò Carlo Rinaldini.

Tra i Medici e i Galileiani ci fu sempre un rapporto di rispetto, anche se, a volte, Ferdinando II non nascondeva delle preferenze, soprattutto verso Viviani che conosceva da tantissimi anni. Quando Cosimo III divenne granduca, questo rapporto si ruppe a causa della poca considerazione che Cosimo aveva verso questi scienziati arrivando, addirittura, a bandire le scienze fisiche. L'unico momento, però, in cui Cosimo accettò le novità proposte da Viviani, verso il quale non nutriva grandi simpatie, fu la creazione di un piano di salvaguardia del territorio toscano da smottamenti e frane intitolato *Discorso al serenissimo Cosimo III granduca di Toscana, intorno al difendersi dai riempimenti, e dalle corrosioni dei fiumi* del 1688.

Sebbene il Gran Principe Ferdinando preferisse le novità che venivano dalla Germania come le teorie di Gottfried Leibniz che preferì a Viviani, fu Giangastone a ricucire quel rapporto, consegnando a Guido Grandi, allievo di Viviani, un pesante fardello da portare avanti. Nella motivazione di carattere politico ed economico, dobbiamo considerare che, alla sua nascita, il Granducato di Toscana si trovava tra due fuochi: il Regno di Spagna ad est e lo Stato Pontificio ad ovest, oltre al Regno di Francia con il quale c'era un rapporto altalenante soprattutto quando Cosimo I era granduca.

Infatti, la Toscana era una terra di contesa perché, con i suoi porti, era uno snodo importante per il Mediterraneo e i commerci. Essendo, spesso, presa d'assalto dai corsari ottomani, il duca Cosimo I, con il benestare di Papa Pio IV Medici di Marignano, decise di fondare nel 1563 una principale forma di difesa per combattere i corsari: l'Ordine di Santo Stefano papa e martire con sede a Pisa.

Sebbene un pezzo della Toscana fosse stato acquisito dalla Spagna dando vita allo Stato dei Presidi nel 1557 da Filippo II, Cosimo e Francesco cercarono sempre di trovare un compromesso con il monarca spagnolo ma sapevano che la Toscana era in una morsa.

Nel 1591, Ferdinando rese la città di Livorno un porto sicuro dove la tolleranza divenne l'arma vincente, proteggendo le comunità perseguitate come quella ebrea o levantina grazie alle Leggi Livornine che garantivano il commercio e la tolleranza a quelle minoranze, in cerca di un porto sicuro dove prosperare.

Rispetto ai loro alleati come la Spagna o la Francia che stavano consolidando il primato in Asia e nelle Americhe, non potevano competere per ricchezze o avamposti commerciali, ma poterono competere con il mecenatismo che portò nelle casse del Granducato una grossa fonte di ricchezza, oltre che con novità che divennero l'invidia degli stati italiani.

L'abiura di Galileo segnò una breve battuta d'arresto ma non poté fare a meno di rendere Firenze il centro di un'importante rivoluzione che ha visto passare per le sue strade nomi importanti come Simon Stevin o Isaac Barrow, maestro di Newton, tutti collegati tra di loro con i Medici e i galileiani in nome di una scienza libera e senza censure.

Concludendo, il lavoro della riscoperta di questa lunga rete è ancora in fase larvale,ma sarebbe interessante capire in che rapporti il Granducato di Toscana poté dialogare con il Regno di Inghilterra, osservando più da vicino la figura di Sir John Finch che fu un importante diplomatico della corte, e in che modo il viaggio di Cosimo III in Inghilterra e in Irlanda del 1669 possa aver influito verso una commistione delle scienze tra l'Italia e l'Inghilterra.

Ringraziamenti

Per me, quest'articolo è stato un tracciare una rotta verso nuovi lidi, dai quali era partito il mio studio sui Medici tantissimo tempo fa e che purtroppo non si è mai potuto concretizzare. Ringrazio di cuore, come sempre, i professori Mantovani, Zanini, Gambaro e tutti i colleghi del SISFA che hanno sostenuto la realizzazione di questo lavoro con i loro preziosi consigli e sostegni, il professor Bonoli per il suo prezioso contributo con lo studio della cupola della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo, il mio fratellino peloso Macchia, mio babbo e i miei migliori amici che mi hanno supportato in ogni fase della realizzazione di quest'articolo, piccolo passo verso uno studio più ampio dedicato ai Medici che, sin da che avevo 6 anni di età, continuano a sorprendermi e incuriosirmi con le loro storie.

Questo lavoro è dedicato alla memoria di Barbara Lagazzi, mia mamma nonché grandissima sostenitrice di questi studi che mi ha sempre incoraggiato ad andare oltre e ad incuriosirmi sempre del mondo e che ora può toccare con mano quelle stelle che tanto ha amato in vita, diventando la stella più brillante in cielo.

Bibliografia

Berti, L. (1967). *Il principe dello studiolo. Francesco I dei Medici e la fine del Rinascimento fiorentino*. Firenze: EDAM.

Bònoli, F. (2022). "Per la precisione delle misure..", in Gandolfi, G. (ed.), *Gli emisferi celesti fiorentini: enigma astrale del Rinascimento*, giornata di studi, Firenze, 20 ottobre 2022. Firenze: Fabrizio Serra, pp. 79-81.

Botto, M.I. (1972). *Bernardo Buontalenti*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*. Roma: Enciclopedia Treccani.

Carali, P.P. (1936). *Fakhr-Ad-Din II. Il principe del Libano e la Corte di Toscana 1605-1635*. Roma: Reale Accademia d'Italia.

Dekker, E. (2022). "Breve nota sullo studio della cartografia della cupola di Firenze", in Gandolfi, G. (ed.), *Gli emisferi celesti fiorentini: enigma astrale del Rinascimento*, atti della giornata di studi, Firenze, 20 ottobre 2022. Firenze: Fabrizio Serra, pp. 77-78.

Giannini, G.(2020). "An indirect convergence between the Accademia del Cimento and the Montmor Academy: the 'Saturn Dispute' ", in Giannini, G. & Feingold, M. (eds.), *The institutionalization of science in early Europe*. Leida: Brill.

Lippi, D. (2006). *Illacrimate sepolture. Curiosità e ricerca scientifica nella storia delle riesumazioni dei Medici*. Firenze: Firenze University Press.

Paoli, M.P.(2008). *Di madre in figlio: per una storia dell'educazione alla corte dei Medici*. Firenze: Firenze University Press.

Young, G.F. (1913). I Medici. Milano: Salani Editore.

Fonti d'archivio

Barberini, F. (1624). Lettera a Maria Maddalena d'Austria, Roma, 8 giugno. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, *Fondo Galileiano*, Gal.25, c. 62r.

Di Lorena, C. (1623). Lettera a Carlo de' Medici, Firenze, 14 gennaio. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, *Fondo Galileiano*, Gal.25, cc. 60r-61v.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_18, pp. 155–162
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-18

Joseph Sauveur and the fixed sound

Danilo Capecchi[1] and Giulia Capecchi[2]

[1]Sisfa, Roma, danilo.capecchi@uniroma1.it.
[2]Schola Cantorum Basiliensis, Roma, giulia.capecchi95@gmail.com.

Abstract: At the turn of the 18th century, the development of musical instruments, the increase in the size of orchestras, and the diffusion of music on an European scale led to a growing need for standardizing the frequencies associated with notes. This was a challenging undertaking, as there were no instruments capable of measuring sound frequencies, and standardization was largely based on auditory perception. In the early 18th century, Jospeh Sauveur, the leading acoustician of the time, put forth two methods for achieving this goal. The initial approach was based on the theory of beats, which he was just beginning to comprehend. The objective of this method was to generate a sound with a frequency of 100 Hz, the fixed sound, using an organ pipe. A second method was to identify the equation that describes the relationship between the frequency of a vibrating string and its characteristic parameters. This law was known since the end of the 16th century, but only in a relative sense. That is, it was known that the frequency was proportional to certain parameters, but the constant of proportionality was not known, and it was not straightforward to determine this quantity experimentally. Sauveur proposed an analytical method that led to an equation that was within 1% of the value now considered correct. The following paper analyses Sauveur's two approaches, using unpublished writings.

Keywords: Acoustics, Absolute Frequency, Joseph Sauveur, Theory of Music

1. Introduction

Joseph Sauveur (1653-1716), a French mathematician and member of the Académie des Sciences of Paris since 1696, is regarded as the founder of modern acoustics. He presented his ideas on the subject in five memoirs, published between 1701 and 1713. In addition to addressing fundamental theoretical music issues such as the division of the octave and the explanation of consonances and higher harmonics, he considered a pressing contemporary problem: the absolute measurement of frequencies, i.e. their value in Hz. It was now considered indispensable for the management of orchestras that had increasingly richer staff and were taking on an international character that imposed a problem of standardizing sounds, which was impossible without being able to measure their frequency.

By the late 1600s, the idea of the periodic nature of sound was well established. The terminology, however, was still uncertain; for example, there was no common use of the term frequency, but only locutions such as speed of vibration, oscillations in a fixed time, etc. The name frequency appeared but was not emphasized in some of Gassendi's writings (Baskevitch, 2005, pp. 25-28). Aside from the nomenclature, what was missing was the acknowledgment of the harmonic nature of sound. Sauveur, like Galileo and Mersenne, but somehow also Huygens, regarded sound as a succession of impulses whose precise shape was of little importance to the ear. A simple sound (pure tone) was a succession of similar impulses, while a compound sound contained impulses of different kinds. In particular, there is no mathematically grounded wave theory in which, for example, sounds are represented by superpositions of sinusoidal waves (Euler, 1748). Sound is essentially regarded as a periodic succession of impulses characterized by the value of the period and the intensity.

2. Attempts at Measuring Frequency of Sounds Before Sauveur

Galileo in the *Discorsi* (Galileo, 1638) had highlighted the parameters that influence the frequency of vibration of strings: length, weight per unit length, and tension to which it is subjected. Mersenne discussed the law of the vibrating string at length in his *Harmonie universelle* (Mersenne, 1636). This law is essentially empirical, except for the inverse proportionality between frequency and length, which was somehow proved on a mechanical basis. Expressed in a modern formulation, the law has the form:

$$f = K \frac{1}{l} \sqrt{\frac{F}{\gamma}} \tag{2.1}$$

with the usual meaning of the symbols, where K is a constant of proportionality depending on the units of measure of the parameters appearing in the formula.

However, this law does not give the absolute values of the frequencies, but only the relative ones: for example, one can say that the frequency is halved by doubling the length for the same other parameters, but one cannot say how much the frequency of a string of a given length is worth. Although unable to provide a rigorous demonstration of a formula, Mersenne did have some success in somehow solving the problem of finding the absolute value of frequency. For this purpose, he claimed that it was sufficient to determine experimentally the value of the absolute frequency in a particular case, which was sufficient to determine the constant of proportionality K. He considered the vibrations of a very long string, about 6 m, so that one could easily count its vibrations in a given time. However, he did not insist much on the experiment, both because he was more interested in the method than the result, and because the experiment was not too easy to perform with accuracy, and therefore the result he obtained was not very reliable. The experiment was repeated many years later, in 1860 (Ellis, 1885, p. 298).

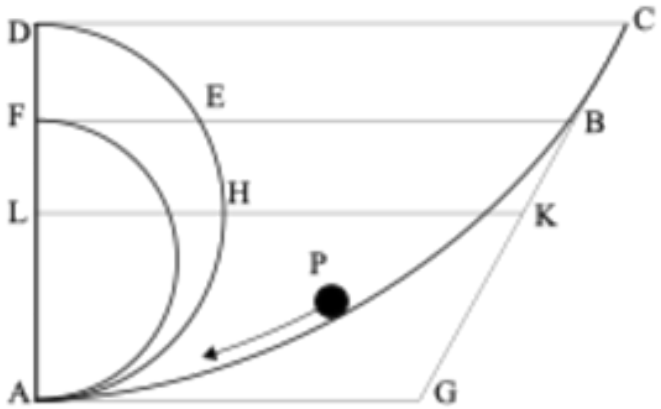


Fig. 1: The motion of a mass point on a cycloid

Another experimental approach to the measurement of absolute frequency was pursued shortly thereafter by Hooke and Huygens with devices broadly classifiable as sirens (Dostrovsky, 1975). Particularly interesting is the attempt of Huygens, probably in 1682, who succeeded in producing a sound of known frequency in unison with the D of a spinet by spinning a series of wheels suitably linked together (Huygens, 1888, vol. 19, p. 375). Somewhat more interesting, though later, is the approach of Vittorio Francesco Stancari (1678-1709). In 1713 a posthumous writing, the memoir *De certa soni mensura costituenda*, reported on an experiment of 1706, not unlike those of Huygens and Hooke, but more refined and, above all, pursued with greater perseverance (Barbieri, 1980, p. 18).

In addition to these experimental attempts, theoretical ones were made during the same period. Huygens had published in 1673 his seminal text *Horologium oscillatorum* in which he demonstrated that, in the absence of friction, the oscillation of a heavy body along a cycloid occurred with a period independent of the amplitude of the oscillation, unlike what happened for a simple pendulum moving on an arc of a circle:

> Proposition XXV In a cycloid with a vertical axis and its vertex at the bottom, the times of descent of a mobile, starting from rest at any point on the curve and reaching the lowest point, are equal to one another and have a ratio to the time of vertical descent along the entire axis of the cycloid equal to that of the semi-circumference of a circle to its diameter. (Huygens, 1673, pp. 184-186).

Note that this proposition allows to obtain the absolute value of the period T of a simple pendulum. With reference to Fig. 1, T is equal to four times the time of descent along PA, and thus four times the time of fall of a heavy body from the vertical AD (the "axe entier" of the cycloid, multiplied by $\frac{\pi}{2}$, and thus:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2AD}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \tag{2.2}$$

taking into account that the radius of the osculating circle at the lowest point of the cycloid is 2AD and is equal to the length l of the simple pendulum whose small oscillations occur along the cycloid.

In a fragment published in the *Oeuvres complétes*, Huygens proved that the gravity of a body – in modern terms, the force acting on the body moving in a tangential direction on the cycloid – varies in proportion to the distance from the lowest point of the cycloid (Huygens, 1888, vol. 18, p. 489). This fact, even with the laws of mechanics of the day, enabled him to state that any motion subject to a force proportional to the displacement – as is the case with the vibrating string – is isochronous and harmonic.

In his attempt to find a law for vibrating strings, Huygens proceeded in stages. First, he considered vibrations of strings such as those in Fig. 2, in which a concentrated mass at the midpoint is the object of a force due to the tension of the string that varies linearly with the displacement of the mass. For the string of Fig. 2b, Huygens arrived at the formula:

$$f = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{g}{2a}}\sqrt{\frac{K}{G}} \tag{2.3}$$

where a is half the length l of the string, K is the value of the weight tending the string, G is the weight of the body G.

Compare the previous relation with the modern frequency formula:

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{gF}{\gamma}} \tag{2.4}$$

where F is the tension (force of the string) and γ is its mass per unit length, just take $K = K$, $\frac{G}{l} = \gamma$ and you get:

$$f = \frac{1}{\pi l}\sqrt{\frac{gF}{\gamma}} \tag{2.5}$$

The difference between the last two formulas is only the numerical coefficient π instead of 2; therefore, by concentrating the mass in the middle, we get an error of about 50%. Huygens also showed that the transverse oscillations of the string are isochronous with the circular oscillations of the 'compound' pendulum SGH around the axis SK. The modern reader can easily justify this statement by thinking that in

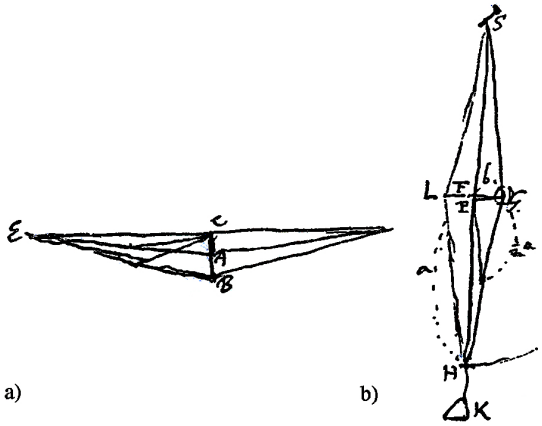


Fig. 2: Vibrations of a string with a concentrated mass

the first case there is a pulling force proportional to the transverse displacement FG due to string tension, in the second case there is a centrifugal force proportional to the distance FG of the oscillation axis SK.

Huygens then considered the case of a mass distributed along the string, or a weightless string loaded by many small weights. But he hardly mentioned the solution. The editor of the *Oeuvres complétes* developed Huygens' suggestion in his own way, following an energy approach, and arrived at the relation (Huygens, 1888, vol. 18, p. 495):

$$f = \frac{\sqrt{10}}{\pi}\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{gF}{\gamma}} \tag{2.6}$$

which differs by about 2% (excess from the solution believed to be correct).

3. Sauveur First Method physics

Sauveur had already discussed his method for determining the fixed sound at the Académie des sciences of Paris, as reflected in Fontenelle's account in the *Histoire* of 1700 and the minutes of the procés-verbaux of the same year. The procedure was based on counting the beats produced by the sounds of two organ pipes tuned to a minor semitone, i.e. with a ratio of frequencies of $\frac{25}{24}$ and measuring the time interval between each beat; in this way he was able to sound the fixed sound, which for him had to be 100 vibrations per second (i.e., 100 Hz).

In this 1701 memoir, he was a bit more sophisticated; however, it is unclear whether his was simply a more complete exposition or a refinement of the previous procedure. Here is what he wrote:

> Use several organ pipes, which, being open, must be at least two feet long,[1] and tune the sounds of these pipes to the following diatonic intervals, which are so precise that the ear does not perceive the slightest beat in these sounds. Tune 1^0 the octave PA-pa (Ut-ut, 2^0 the fifth PA-BOr (Ut-Sol), or rather PA-BO*ra*; for in order to express the intervals of these sounds with due precision, it is necessary to make use of the decamerides. 3^0. The major third PA-GA*na* (Ut-Mi). 4^0. The minor third PA-go*se* (Ut-Mib). After carefully checking these intervals by comparing these sounds with each other, the just interval of the minor semitone can be obtained accurately go*se*-GA*na*, [the difference between major and minor thirds], the ratio of whose vibrations is 24 and 25. If you play these two pipes, you will hear a beat in their sound at every twenty-fifth vibration of the higher GA*na* (Mi)). (Sauveur, 1701, pp. 360-361)

[1] A two-feet organ pipe has a frequency of about 250 Hz.

The first part of the procedure shows how to get two sounds that are a minor semitone apart $\frac{25}{24}$. We start with five different organ pipes that are to be tuned to each other; at the end of the tuning process they would produce the following sounds:

- Pipe A: Note Ut
- Pipe B: Note Ut, one octave higher
- Pipe C: note Sol
- Pipe D: note Mi
- Pipe E: Note Mib

In principle it would have been sufficient to take only three pipes, A, D and E, because A-D form a major third (5:4) and A-E a minor third (6:5), so D-E form a minor semitone (25:24), which is what we wanted to find. The other pipes have only an instrumental function and are useful for achieving correct pitches by checking the correctness of their relative intervals; for example, pipes C and D should produce a minor third.

The second part of the procedure concerns the actual determination of the fixed sound: "After having found the interval between a proposed sound and the fixed sound, it remains to find the fixed sound itself" (Sauveur, 1700, f. 114).

If the pipes D and E are tuned so that they are a semitone minor apart, we can say that when we hear one beat, it means that the sharpest pipe has made 25 vibrations – and the less sharp pipe 24 – and when we hear 4 vibrations, the sharp pipe has made 100 vibrations. But we do not know how long these vibrations last; in particular, we cannot say that they are made in one second. To determine how long it takes the more acute pipe to make 100 vibrations, it is enough to measure how long it takes to have four beats. This will give you the frequency of the acute pipe. It will generally be different from 100 Hz, because there is no method yet to construct a tube that vibrates 100 times per second, and this is precisely the problem that Sauveur set out to solve.

The time between beats is measured with a pendulum by adjusting its length so that four beats are heard at each oscillation. If the time is one second, it means that the acute pipe makes a sound of 100 Hz; if the time is less than one second, the sound is higher and if it is greater, the sound is lower. To find the actual frequency of the acute pipe, simply divide 100 by the time in seconds required for four beats.

However, Sauveur was not satisfied with having found the absolute frequency of an organ pipe; he wanted to be able to emit exactly the fixed sound of 100 Hz. To do this, he used a series of vibrating strings tuned in octaves. Among these strings, he chose the one that contained the sound of the acute pipe in its octave.

At this point Sauveur introduced a movable bridge on the chosen string and placed it so that the string made exactly the sound of the pipe. To obtain the 100 Hz sound, it is enough to move the bridge by the number of merides (43 merides span an octave) obtained with the echometer. (something like a logarithmic scale).

The procedure can only work if the acute pipe emits a sound with a frequency not too far from 100 Hz. It also requires sensitive and trained ears and a very quiet environment, as Sauveur pointed out, for whom to be sure that you have found the right value for the fixed sound:

1. Have a fine ear that can accurately judge the just diatonic intervals.
2. These intervals must be checked in every possible way, and the pipes must be played with the same wind.
3. When comparing the beats with pendulum vibrations, to be sure they are isochronous, we must compare these beats with more than 100 pendulum vibrations.

We do not know how Sauveur arrived at pipe D as a candidate for emitting the fixed sound. He probably

Fig. 3: librations and oscillations of a taut string

used the procedure proposed by Mersenne and then made several tests with his method of beats, adjusting the length of the pipe until the procedure gave a number of beats per second close to four.

4. Sauveur Second Method

The second way used by Sauveur to evaluate the absolute frequency basically consists of the analytical determination of the constant K of the Galileo-Mersenne formula. He started from the idea that the frequency, referring to Fig. 3 of the transversal oscillations of the string in the vertical direction, giving rise to curves of type ADB, is the same as that of the oscillation of the compound pendulum formed by the deformed string – considered as a single rigid body - out of the plane with respect to the axis AB.

This idea is contained, though not in a completely explicit form, in some of Huygens' writings not published in Sauveur's time. It is likely that Sauveur was more or less directly aware of these writings, even if he did not mention them anywhere. In any case, there is an original contribution by Sauveur. Indeed, in order to operationalize Huygens' ideas, one must consider a transversal deformation of the string to be taken as the reference configuration for the compound pendulum. Sauveur proposed for such a configuration that of the string deformed under its own weight, which we know today as a catenary, but which for Sauveur was an unspecified curve to be approximated by a parabola or a circle[2].

A partial justification for this choice is offered in the procès-verbaux of 1714, which is summarized here:

> Though the vibrations of a string are very unequal, and those which it makes at the beginning of its movement are much greater than those which it makes towards the end of its movement, yet the sound which it makes is neither higher nor lower by this fact, though they are more or less easy to hear

However this string was first set in motion, its oscillations diminish to such an extent that they finally return the string to the shape which its weight naturally gives it, so that the last oscillations only cause the string to move laterally, as if the sag of this string had become a pendulum, with the arc of the string suspended at the bottom of this sag, the arc nevertheless moving in a plane (as Mr. Huygens says around its support) (Sauveur, 1714, ff. 177v-178r).

As can be seen, Sauveur's argument is not clear. He seems to state, as an experimental circumstance, that for small oscillations the string vibrates out of the plane formed by the string and the brace, rather than moving in that plane, which is challenging to grasp. The subsequent results will fully validate his approach, however.

To calculate the length of the simple pendulum equivalent to the compound pendulum formed by the deformation of the string, Sauveur used the rules laid down by Huygens in his *Horologium oscillatorium*, but he referred to them only indirectly, preferring to quote the relatively recent work, 1703, of Johann Bernoulli (Bernoulli, 1703). He eventually obtained the same equation as that suggested by the editor of Huygens' works (eq. 2.6).

Still in 1713, about the same time as Sauveur, Brook Taylor (1685-1731) published the 'correct' formula for the frequency of vibration of a string and also the shape of the curve representing the transverse

[2] Most likely Sauveur knew the solution to the catenary problem since it appeared in the Acta eruditorum of 1691, due to Leibniz, Huygens, and Johann Bernoulli (Truesdell, 1960, p. 66), but considered its equation too complex to be used in calculations.

displacements, though limited only to the fundamental mode (i.e., higher modes were not recognized. The memoir with which Taylor presented his results is the *De motu nervi tensi* (Taylor, 1713).

5. Conclusions

The measurement of the frequency of sounds became a problem for musicians relatively late, for several reasons: a) it was not known that sound was a periodic phenomenon characterized by a frequency; b) the frequency of notes has very high values, in the order of a hundred Hz, and is therefore impossible to measure directly, for example by observing oscillations; c) there was no pressing need to measure frequency, since the tuning methods used until then were more than sufficient.

However, at the turn of the 17th century, with the expansion of orchestras and the introduction of a wide variety of musical instruments, and with the spread and internationalization of music, there was a need to standardize pitches, i.e. to ensure that a La played in Berlin today would not sound very different from a La played in Paris two years ago. Until then, the pitches of different notes were not the same in different places and in different times because there was no absolute measure. The pitch of a note was determined rather crudely from the characteristics of the human voice, which was not entirely constant, so that a person could have a lower or higher voice, although the variations were not enormous; there were also approximate pitch devices such as organ pipes or whistles. The nature of sound had now been clarified, it was known that it was a periodic phenomenon characterized by a frequency of vibration, and it was also known that the value of the frequency determined the pitch. The problem of the technical difficulty of measurement remained.

The first effective measurements of frequency were made by Sauveur. He proposed two methods: the first was based on the sound phenomenon of beats, which Sauveur helped to understand. It consists of producing two sounds whose ratio can also be determined by ear; the ratio must be small, close to one, in order to produce beats that can be easily measured. By counting the beats per second and knowing that the frequency of the beats is equal to the difference between the frequencies, it is possible to determine the absolute value of the frequency of the sound producing beats. Sauveur looked at two sounds separated by a semitone minor, with a frequency ratio of 25:24, and was able to reproduce a sound of 100 Hz. The second method proposed by Sauveur is to determine analytically the value of the proportionality constant of the Galileo-Mersenne law. Using Huygens' intuition and results on the compound pendulum, Sauveur succeeded in this task, arriving at an expression that gave a value that was essentially correct by modern standards. The present paper provides a justification for Sauveur's approach and demonstrates his formula, which was previously thought to be unfounded. This demonstration is based on a study of the minutes of the Paris Académie des sciences, which contain arguments that Sauveur did not consider rigorous enough to be published, but which provide insight into his thinking.

Bibliografia

Barbieri, P. (1980). "Il corista bolognese secondo il rilevamento di V.F Stancari", *L'Organo*, 18, pp. 15–29.

Baskevitch, F. (2005). *La notion de vibration sonore au XVIIème siècle*. Available at academia.edu. (Accessed July 2024).

Bernoulli, J. (1703). "Extrait d'une lettre de M. Bernoulli contenant l'application de sa regle du centre de balancement à toutes sortes de figures", *Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris*, pp. 68–75.

Bernoulli, D. (1753). “Réfléxions et eclaircissemens sur les nouvelles vibrations des cordes exposée”, *Mémoires de l’Académie Royale des Sciences et Belles Lettres de Berlin,* 9, pp. 147-172.

Bernoulli, D. (1753). “Sur le mélange de plusieurs especes de vibrations simples isochrones, qui peuvent coexister dans un meme système dea corps”, *Mémoires de l’Académie Royale des Sciences et Belles Lettres de Berlin*, 9, pp. 173–195.

Dostrovsky, S. (1975). “Early vibration theory: Physics and music in the seventeenth century”. *Archive for History of Exact Sciences*, 14(3), pp. 169–218.

Ellis, A. (1885). “On the musical scales of various nations”, *Journal of the Society and Arts*, 33, pp. 485–527.

Euler, L. (1748). “De propagatione pulsuum per medium elasticum”, *Novi Commentarii Academiae*, 1, pp. 67-105.

Galilei, G. (1638), “Discorsi e dimostrazioni matematiche sopra due nuove scienze”, in Favaro, A. (ed.) L*e opere di Galileo Galilei (National edition)*, vol. 8. Firenze: Barbera.

Huygens, C. (1673) “Horologium oscillatorium”, in *Societé Hollandaise des Sciences (ed) Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*, vol. 18. The Hague: Nijhoff, pp. 27–438

Huygens, C. (1888-1950). *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*. The Hague: Nijhoff.

Mersenne, M. (1636-1637). *Harmonie universelle*. Paris: Cramoisy.

Sauveur, J. (1697). *Traité de la théorie de musique*. Bibliothèque Nationale de France. Département des Manuscrits. NAF 4674. Available at gallica.bnf.fr. (Accessed 25.01.2024).

Sauveur, J. (1700). *Procés-verbaux de l’Académie des sciences de Paris*. Available at gallica.bnf.fr. (Accessed 25.01.2024).

Sauveur, J. (1701). “Systême general des intervalles des sons, et son application à tous les systêmes & à tous le instrumens de musique”, *Mémoires de l’Académie Royal des Sciences de Paris*, pp. 299–36

Sauveur, J. (1713). “Rapport des sons des cordes d’instruments de musique, aux flêches des cordes; et nouvelle détermination des sons fixes“, *Mémoires de l’Académie Royal des Sciences de Paris*, pp 324–350.

Sauveur, J. (1714). *Procés-verbaux de l’Académie des sciences de Paris*, tome 33, ff. 177v-184r. Available at gallica.bnf.fr. (Accessed 25.01.2024).

Taylor, B. (1713). “De motu nervi tensi”, *Proceedings of the Royal Society of London*, 28(317), pp. 26–32.

Truesdell, C. (1960). *The rational mechanics of flexible or elastic bodies 1638-1788*. Turici: Orell Füssli.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_19, pp. 163–172
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-19

A study on Curie's paper and the many versions of "Curie's principle"

Antonino Drago[1]

[1]University of Naples Federico II, Naples, drago@unina.it.

Abstract: Pierre Curie is credited to have first introduced in 1894 symmetries into theoretical physics.. But for a long time the theoretical contents of Curie's paper remained obscure. In past decades some scholars interpreted them through a crucial proposition called "Curie's principle". But too many versions of it resulted. A previous paper showed that the word "symmetry" is a double negation without a corresponding affirmative word; that means the failure of the double negation law; hence, this word belongs to intuitionist logic and introduces the theoretical organization, the problem-based one, which is alternative to the deductive one. In the light of these novelties, I examine all theoretical propositions of Curie's paper; their contents are elucidated and their logical, mathematical and physical differences are examined in order to establish their relations. Only two of them are recognized as the correct ones for recognizing the symmetry of a phenomenon inside a medium: a mathematical inequality and a group theoretical formula; both belong to intuitionist logic like the word "symmetry". The remaining propositions do not circumscribe the subject. A similar analysis is performed on the interpretative versions of Curie's principle suggested by several scholars. In order to avoid interpretative difficulties, someone bound the theoretical framework of it to be deterministic and temporal. The remaining others chose the same two above propositions as representing Curie's principle, yet without explaining the remaining theoretical propositions. Few of these scholars closely approached a well-defined version of the principle and so put the basis for building a theory of Curie's paper according to a problem-based theory. In conclusion, there exists a theoretical proposition which can be called the "Curie principle" and has to be applied as a heuristic principle within a problem-based theoretical organization.

Keywords: Pierre Curie, Curie's principle, symmetry as a double negation, intuitionist logic, problem-based organization

1. Introduction

Pierre Curie is credited with introducing in 1894 symmetries of finite systems into theoretical physics. He wanted to discover which physical symmetrical phenomena are allowed to happen within a given physical medium (e.g. a crystal) having specified symmetry properties[1] .

[1] To help the reader I quote, as a provisory summary of Curie's paper, what recently three scholars suggested about the conclusions of this paper and its theoretical importance: "a. A phenomenon can exist in a medium possessing its characteristic symmetry or that of one of its subgroups. What is needed for its occurrence (i.e. for something rather than nothing to happen) is not the presence, but rather the absence, of certain symmetries: *Asymmetry is what creates a phenomenon*./ b. The symmetry elements of the causes must be found in their effects, but the converse is not true; that is, the effects can be more symmetric than the causes./ Conclusion (a) clearly indicates that Curie recognized the important function played by the concept of symmetry breaking in physics (he was indeed one of the first to recognize it). Conclusion (b) is what is usually called *Curie's principle* in the literature, although notice that (a) and (b) are not independent of one another./ In order for Curie's principle to be applicable, various conditions need to be satisfied: the causal connection must be valid, the cause and effect must be well-defined, and the symmetries of both the cause and the effect must also be well-defined (this involves both the physical and the geometrical properties of the physical systems considered). / Curie's principle then furnishes a necessary condition for given phenomena to happen: only those phenomena can happen that are compatible with the symmetry conditions established by the principle. Curie's principle has thus an important methodological function: on the one side, it furnishes a kind of selection rule (given an initial situation with a specified symmetry, only certain phenomena are allowed to happen); on the other side, it offers a falsification criterion for physical theories (a violation of Curie's principle may indicate that something is wrong in the physical description)" (Brading *et al.*, 2023, sect. 3).

But after a century and more scholars wanting to qualify accurately the theoretical content of the paper met many difficulties. Indeed, Curie's illustration is a mixture of metaphysics (e.g. references to "causes"), features of a deductive organization, problems, physical principles, and experimental rules. In the last 130 years, only two papers (Radicati, 1987; Castellani & Ismael, 2016) offered sketchy and incomplete summaries of the contents of Curie's paper.

As a premise, I indicate my method of investigation. Previous papers (Drago, 2023; 2024) showed that 1) the word "symmetry" is a double negation without a corresponding affirmative word (i.e. "Two negations do not affirm", DNP); hence, it belongs to intuitionist logic where the double negation law fails. 2) Recently a new theoretical organization which is an alternative to the deductive-axiomatic one (AO) of the Newtonian mechanics has been recognized (Drago, 2007); being based on a basic problem it is called a problem-based organization (PO); 3) The ideal model of a PO develops through four logical steps: *i*) to state a problem; *ii*) to argue through DNPs *iii*) composing *ad absurdum* arguments (AAAs); *iv*) whose general conclusion is translated into an affirmative proposition to be tested with reality in order to prove or not the entire theory. 4) In Curie's paper a metaphysical part represents an unsuccessful effort of philosophical generalization to a general theory. 5) The theoretical organization of his theory is not a deductive-axiomatic theory (AO); rather, it substantially is a PO.

In light of these novelties, I examine all the theoretical propositions of Curie's paper. I elucidate their contents and examine their logical, mathematical, and physical differences to establish their relations. Only two propositions are recognized as the correct versions of the principle: a mathematical inequality and a group theoretical formula; both belong to intuitionist logic, like the word "symmetry". The interpretation of the remaining theoretical propositions leaves some open questions.

Because the interpretation of Curie's paper was very difficult, first of all, scholars tried to extract from its theoretical propositions the most meaningful one(s), called "Curie's principle(s)" (CP). Its many versions are discussed in the following by examining their logical, mathematical, and physical differences. In order to avoid the difficulties someone bounded the theoretical framework of this principle to be a deterministic and temporal one. The remaining scholars recognized as Curie's principle one or more propositions without clarifying the set of the remaining ones. Only a few of them agreed with the intuitionist logic to which the word "symmetry" belongs. No discussion of the remaining theoretical propositions was offered. However, some authors approached a reconstruction of Curie's theory according to a problem-based theoretical organization.

In conclusion, there exists a theoretical proposition that can be called "Curie principle" and that it has to be applied as a heuristic principle within a problem-based theoretical organization.

2. Curie's theoretical propositions

Curie's paper includes 18 theoretical propositions that may be qualified as "principles" or elements of these principles. They all refer to not local, particular situations, but to general theoretical contexts. Almost all are located at the beginning of the paper (pp. 394, 400-401) and at the end (p. 414). In the following, I quote all of them. Among them, Curie emphasized 8 propositions in Italic in order to underline their basic role in his paper.

In order to understand them one has to take into account that the "elements of symmetries" which Curie refers to are e.g. a point, an axe, or a plane of symmetry (Curie, 1894, p. 394-396). Moreover, an asymmetry of a physical being is the lack of an element of symmetry in it. The lack of a symmetry producing symmetry has to be intended as Elena Castellani explains:

"for the occurrence of a phenomenon in a medium, the original symmetry group of the medium must be lowered (broken, in today's terminology) to the symmetry group of the phenomenon (or to a subgroup

of the phenomenon's symmetry group) by the action of some cause (the electric field and the torque in the above example). In this sense symmetry breaking is what *creates the phenomenon*" (Castellani, 2003, p. 324).

To name each Curie's proposition, I preface it with a letter of the Greek alphabet. Some explicative words are inserted between square brackets [ ]. The negative words composing a DNP are underlined to facilitate recognition by the reader; for the same reason, the modal words are point underlined.

> α *Enfin lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les [éléments de symétrie des] effets produits"* (p. 394).
> β *La symétrie caractéristique d'un phénomène est la symétrie maxime compatible avec l'existence du phénomène.*
> γ *Un phénomène* [symétrique] *peut exister dans un milieu qui possède sa* [même] *symétrie caractéristique ou celle d'un des intergroupes* [= sous-groupes] *de sa symétrie caractéristique*.
> δ Autrement dit, certains éléments de symétrie [du milieu] peuvent coexister avec certains [éléments de symétrie des] phénomènes, mais ils ne sont pas nécessaires. ϵ Ce qui est nécessaire, c'est que certains éléments de symétries [du phénomène] n'existent pas [dans le milieu].
> ζ *C'est la dissymétrie* [dans le milieu] *qui crée le* [la symétrie dans le] *phénomène.* (p. 400)
> η On peut encore voir que quand plusieurs phénomènes de natures différentes se superposent dans un même système, les [leurs éléments de] dissymétries s'ajoutent. θ Il ne reste plus alors comme éléments de symétrie dans le système que ceux qui sont communs à chaque phénomène pris séparément.
> ι *Lorsque certaines causes produisent certains effets* [symétriques], *les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les* [éléments de symétrie des] *effets produits.*
> κ *Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance*.
> λ La réciproque de ces deux propositions n'est pas vraie, au moins pratiquement, c'est-à-dire que les effets produits peuvent être plus symétriques [avoir plus éléments de symétrie] que les [éléments des] causes. Certaines causes de dissymétrie [du milieu] peuvent ne pas avoir d'action sur certains phénomènes ou du moins avoir une action trop faible pour être appréciée, ce qui revient pratiquement au même que si l'action [du milieu] n'existait pas (p. 401).
> μ Lorsque deux phénomènes de nature différente se superposent dans un même milieu, les dissymétries s'ajoutent (p. 409)
> ...Au point de vue des applications, nous voyons que les conclusions que nous pouvons tirer des considérations relatives à la symétrie sont de deux sortes: Les premières sont des conclusions fermes mais négatives, elles répondent à la proposition incontestablement vraie: ν *Il n'est pas d'effet* [symétrique] *sans* [dissymétrie des] *causes*. ξ Les effets, ce sont les [éléments de symétrie du] phénomènes qui nécessitent toujours, pour se produire, une certaine dissymétrie [des éléments du milieu]. o Si cette dissymétrie n'existe pas [dans les éléments de symétrie du milieu], le [la corréspondante symétrie du] phénomène est impossible.
> π ...une deuxième sorte de conclusions, celles-ci de nature positive, mais qui n'offrent pas la même certitude dans les résultats que celles de nature négative. Elles répondent à la proposition: *Il n'est pas de* [dissymétrie dans la] *cause sans effets* [symétriques]. ρ Les effets [symétriques], ce sont les phénomènes [possédant symétries] qui peuvent naître dans un milieu possédant une certaine dissymétrie; on a là des indications précieuses pour la découverte de nouveaux phénomènes; mais les prévisions ne sont pas des prévisions précises comme celles de la Thermodynamique. On n'a aucune idée de l'ordre de grandeur des phénomènes prévus : on n'a même qu'une idée imparfaite de leur nature exacte. σ Cette dernière remarque montre qu'il faut se garder de tirer une conclusion absolue [= pas relative] d'une expérience négative (p. 414).

3. Curie's theoretical propositions: explanations and their formalizations

To put a remedy to the obscure Curie's language, in the following I explain each theoretical proposition and translate it into a corresponding mathematical or logical formula, which is added in curly brackets[2].

α is an ambiguous proposition because the metaphysical language ("causes"[3], "produisent") makes not easy the comprehension of its meaning. Notice that the possible case $SE(c) = SE(e)$ is not explicitly considered.

$\{M : \Box(SE(c) < SE(e))\}$.

β is obscure because the modal word ("compatible") does not give an accurate idea of what is declared and because the "existence of a phenomenon" is defined by the next proposition.

$\{M : SE(p) = maxSE(p) : \Diamond\exists SE(p)(= (SE(p) \geq SE(m))\}$

γ clarifies the content of β in terms of groups and subgroups. A good order of the propositions was γ before β.

$\{M : (G(p) \supseteq G(m)) \rightarrow \Diamond\exists S(p)\}$

δ is obscure because it is not clear to what refer the mentioned elements of symmetries. I fix their meanings by means of some words put within square brackets. One may better say that all the elements of symmetry of the medium can be less than that of the phenomenon.

$\{M : \Diamond(SE(p) \geq SE(m))\}$

ϵ is clear once one has referred to the words "symétries" to two physical subjects of the proposition. Oddly enough, instead of explaining the previous one, this proposition enhances it as a necessity: it is necessary that the elements of symmetry of the phenomenon are more than those of the medium. But this is not true, because it excludes the possible case of equality of the two sets of elements of symmetries as in β, δ and γ; otherwise one has to replace "possible" for "nécessaire".

$\{M : \Box(SE(m) < SE(p))\}$

Curie declares both propositions δ and ϵ equivalent ("Autrement dit,..") to the previous proposition γ. Truly, their formal translations make manifest that they are all modal propositions but they are not equivalent; because γ states a relation that is compatible with δ, but not with ϵ which denies the case of equality, allowed by both γ and δ. However, these three propositions become mutually equivalent if one changes ϵ as suggested before. This point manifests a Curie's fault (in the following sect. we will see a different interpretation).

ζ wants to repeat the content of the previous three propositions, in particular ϵ, through the asymmetries (called by him "dissymétries") which are considered as the necessary causes of the phenomenon's symmetry. However, the verb "crée" is emphatic because without any operative support; it qualifies in metaphysical terms of "cause-effect" the relation between the asymmetry of the medium and the existence of the phenomenon. (Notice that in this context the word "dissymétrie" is not a negation; hence this proposition is not a DNP).

$\{M : aSE^{\circ}(m) \rightarrow \Box\exists SE(p)\}$

η adds a rule on asymmetries. Its first part (once one replaces "les" with "leurs") is a clear (affirmative) proposition.

$\{\text{Aff} : aSE(s) = \cup_i aSE(p_i)\}$

---

[2] In the following, s means the system, c the cause, e the effect, m the medium, p the physical phenomenon, $G(m)$ and $G(p)$ the symmetry group of respectively the medium and the phenomenon. $SE(c)$, $SE(e)$, $SE(m)$, $SE(p)$ and $SE(s)$ are the sets of symmetry's elements of respectively cause, effect, medium, phenomenon, and system, The symbol aSE stands for the elements of an asymmetry. The symbol $^{\circ}$ means a single element of (a)symmetry. The symbol c(e) is the function cause-effect, and e(c) is the inverse function. The symbol $\Box$ stands for necessity and $\Diamond$ for possibility. Moreover, Aff stands for an affirmative proposition and M for a modal proposition. The symbol "$\supseteq$" denotes the equality or the inclusion.

[3] Roche (1987, p. 22) remarks that not all symmetries are causal; e.g. "Mariotte argument, which "from a geometrical symmetry of a vibrating string [concludes] its emotional symmetry" deals with correlated properties only."

θ comes back to symmetries. (The following words "communs à chaque phénomène pris séparément" actually mean "communs à tous les phénomènes". The proposition is not a DNP because it is equivalent to the corresponding affirmative proposition).
$\{\text{Aff} : aSE(s) = \cap_i aSE(p_i)\}$
ι *verbatim* reiterates α.
$\{M : \Box(SE(c) < SE(e))\}$
κ again does not explicitly consider the case $aSE(c) = aSE(e)$
$\{M : \Box(aSE^{\circ}(e) < aSE^{\circ}(c)\}$
λ is declared the "réciproque" (counter-nominal) of propositions ι and κ (they are implicitly considered as mutually equivalent). But Curies declares that λ is not true, at least owing to the "pratique" limitation presented by the last proposition. But then, the second part of the first proposition ("c'est-à-dire") does not refer to the previous one, merely reiterates $\iota(= \alpha)$. It is the next proposition ("Certaines causes") that explains Curie's limitation: some asymmetries of the medium (called "causes de dissymétrie" of the phenomenon) are not effective in generating detectable symmetries within the phenomenon. Actually, this practical limitation does not deny ι and α; it merely adds one more reason for the possible inequality between $aSE(e)$ and $aSE(c)$ or their respective asymmetries established by δ and ϵ.
$\{M : \Diamond\exists aSE^{\circ}(c) \wedge \vdash SE^{\circ}(e)\}$
μ reiterates in the case of two asymmetries previous rule η on the addition of the asymmetries of effects.
$\{\text{Aff} : aSE(s) = aSE(p_1) + aSE(p_2)\}$
ν tries a synthesis of the previous theoretical proposition by referring to the metaphysics of causes and effects. (Curie calls "negative" this proposition which actually is a DNP. The following formula reiterates that of the principle of sufficient reason: $\vdash\exists x \vdash f(x)$)
$\{DNP : \vdash\exists SE(e) \vdash c(e) (= aSE(c)\}$
ξ is essentially the same proposition as ζ and ϵ (whose relation medium-phenomena is replaced by that causes-effects)
$\{M : \Box(\exists SE^{\circ}(p) \rightarrow \exists aSE^{\circ}(m))\}$
o is the double negation of ζ and ξ.
$\{M\&DNP : \vdash\exists aS^{\circ}(m) \rightarrow \vdash\Diamond\exists SE(p)\}$
π is the inverse implication of proposition ν.
$\{DNP : \vdash\exists SE(e) \vdash c(e) (= aSE(c)\}$
ρ is a crucial result of Curie's paper: π does not correspond in logical terms to an inversion of ν owing to the practical limitation according to λ of the proposition $aSE(m) \rightarrow SE(p)$
σ is advice on the previous heuristic previsions obtained by the above rule. σ does not give an absolute value to the previous laws
$\{M : \Diamond \vdash (aSE(m) \rightarrow SE(p))\}$

Medium

S	A	A
$\alpha \downarrow$	$\delta \downarrow \epsilon, \lambda \uparrow$	$\kappa \uparrow$
S		A

Phenomenon

Tab. 1: A symmetry. S = symmetry. $\rightarrow$ = implication.

4. Analysis of Curie's theoretical propositions

Curie's paper makes use of metaphysical words, modal words, and DNPs. Their uncommon mixture made difficult the recognition of the scientific contents of the text for scholars preconceived by classical logic. Let us accurately examine its 18 propositions.

The text includes 8 metaphysical propositions: the proposition ζ contains the word "créer" and the propositions $\alpha, \iota, \kappa, \lambda, \nu, \xi, \pi$ and ρ contain the words "cause" and/or "effect". A previous paper (Drago, 2024) showed that Curie's use of a couple of words causes-effects tries to generalize into metaphysics what is a physical relation between medium-phenomenon; but unsuccessfully. Therefore, one can avoid the metaphysics of the text by replacing the former couple of words with the latter one.[4].

As a consequence of these two remarks, one can conclude that owing to the radical differences in metaphysics (and in logic) it is unlikely that the various theoretical propositions of Curie's paper can be summarized by one of his propositions. The search for the wanted unique CP has to accurately interpret the text.

Now let us search for the main content of Curie's paper. First of all, we discard the less relevant propositions. The propositions ρ ("les previsions ne sont pas... précises") and σ ("ne pas tirer une conclusion d'une experience negative") are additions to the scientific text in order to warn the reader on how to manage previous theoretical results. They may be disregarded for our purpose. Each of them includes two negations but we can verify that the contents of these propositions are equal to the corresponding affirmative ones; hence, here Curie applies classical logic.

Propositions η, θ, and μ concern lateral results, i.e. the results of how either asymmetries (η and μ) or symmetries (θ) overlap. Proposition η (concerning asymmetries) implies its negative proposition θ (concerning symmetries), and moreover, as a particular case of overlapping the asymmetries of two phenomena, proposition μ. Notice that these propositions do not leave uncertainties; they are affirmative propositions as those which usually state scientific results, i.e. they belong to classical logic.

The number of the remaining propositions is 13; but some propositions are almost the same: $\alpha = \iota$ and $\epsilon \approx \zeta \approx \xi \approx o$. Hence, we have to investigate the contents of the remaining 9 propositions. Apart δ, ϵ, and λ, they are all highlighted by Curie in Italics, apparently for summarizing the entire theoretical part of his paper.

Let us consider the first 4 propositions of the list of section 2 (α, plus κ (on asymmetries). By including the case $SE(m) = SE(p)$, the propositions β, γ, and δ are the clearest ones. As a fact, these propositions work as methodological principles for developing a great part of his analysis. Among them, the clearest proposition is γ, also because it makes use of the modern language of groups:
$\{G_p \supseteq G_m \rightarrow \Diamond \exists S(p)\}$. Notice that it, as well as δ, includes the case of equality, hence the following propositions of the above list are no longer considered. Apparently, γ is the general principle while the other propositions illustrate some specific consequences. Notice that γ (which is equivalent to a DNP

[4] Rather, it is surprising that (except for 5 propositions: η, θ, μ, ν and π) 13 theoretical propositions are modal. Beyond an affirmation, a modal proposition offers the easiest way to mentally grasp the content of a proposition; it seems to communicate a subjective feeling of it. Just for this subjective aspect a modal word softens or blurs the meaning of its proposition intended by a classical logic-minded reader; therefore, modal words are inappropriate for establishing metaphysical laws concerning "causes"; and even less for establishing experimental laws, both about classical logic. Hence, so many modal words within Curie's scientific paper communicate at first sight a feeling of insecurity. However, it is a remarkable result of mathematical logic that modal logic is equivalent, *via* its S4 model, to intuitionist logic (Hughes & Cresswell, 1996, pp. 224); hence a modal word represents a DNP; but, being its meaning also of a subjective nature, a modality is less accurate than a DNP; for ex. "It is possible" is logically equivalent to "It is not true that it is not" but its meaning is more vague of the latter. Indeed, modal logic is not well-defined (Grason, 2023, preface and Sect. 1) whereas intuitionist logic has been completely formalized by Kolmogorov in 1932 (Drago, 2021). Let us note that sometimes to enhance the meaning of a DNP the common language adds to such proposition a modal word, as in the proposition "It is impossible a motion without an end"; where the appeal to a (im)possibility adds a reinforcement to its meaning. That occurs in the propositions γ and O.

because the group theoretical formula expressing it, $G_p \supseteq G_m$, is not a pure equality) includes also a modal word ("peut"). Hence, all previous propositions are modal. Here Curie applies modal logic.

Previous propositions constitute kinematics; the words "cause" and "effect" merely leave room for imaginary dynamical processes. Instead, from here on, Curie's theory wants to illustrate through 4 propositions the dynamics of the process generating symmetries. This dynamics may be conceived in a parallel way to the introduction into theoretical mechanics of dynamics expressed by the cause-effect relation $F = ma$ between force F and acceleration.

Let us now examine the proposition $\epsilon \approx \zeta \approx \xi \approx o \approx \{\Box SE(m) < SE(p)\}$. This is the more obscure point of the paper because no general mechanism of symmetry production is suggested by Curie, but only verbal propositions which are also metaphysical in nature, without examining if they are mutually compatible or not. Unfortunately, this subject occurs in (two locations of) the middle of the paper; so that the reader cannot understand the contents of the paper without solving this point.

In the previous section the comment to proposition ϵ suggested that this proposition is ambiguous: "possibility" may replace "necessity". However, this ambiguity is solved by the next proposition ζ of the list and then ξ and O; Curie wanted to write the troubling word "necessary". Therefore, it is clear that here Curie considers the process generating a new symmetry phenomenon from an already symmetric situation; his sentence states that this process is necessarily caused by an asymmetry. (Within the paper this subject is treated in p. 407, almost at the end). It is apparent that this proposition is not in agreement with both γ and the propositions of its group, which all do not exclude the equality case $SE(m) = SE(p)$. In particular, λ states a limitation of the process of generating asymmetries. The ideal situation of causes (asymmetries) corresponding one-to-one to effects' symmetries is denied, due to practical considerations about an insufficient detection of a symmetry phenomenon. Therefore, the proposition λ states that not always to an asymmetry of the medium correspond a symmetric phenomenon: $\diamond\vdash(aSE^{\circ}(m) \rightarrow SE^{\circ}(p)$. Hence, the novelty is rather explained by the introduction of a symmetry production or practical considerations (undetectable phenomena of symmetry). So the paper includes two subjects, the recognition of the symmetries of a phenomenon inside a medium and the "creation" of new phenomena of symmetry from previous others. However, the trespassing from kinematics to dynamics remains unresolved also because Curie tried to formulate it in metaphysical terms. Notice that the above propositions are modal; also here Curie applies modal logic.

Through the remaining 2 propositions, ν and π Curie wants to summarize the results of the entire paper; they concern a relationship of ontological metaphysics, cause-effect. But, by making essential use of DNPs he formulates them within henological metaphysics (the search of unity).

Let us now examine Curie's "conclusions"; they may be translated into the following logical formulas:
$\{\vdash\exists e\vdash c(e); \vdash\exists c\vdash c(e)\}$
where c stands for "cause" and e for "effect"[5]. In classical logic both implications, the direct and inverse ones have to hold true. Instead, we see that also in the simpler logical case (i.e. in propositional calculus: $e \rightarrow c$ and $c \rightarrow e$), proposition λ states that sometimes $c \rightarrow e$ fails, i.e. asymmetry of the medium does not always gives a symmetry of phenomenon:
$\{\diamond\vdash(aSE^{\circ}(m)) \rightarrow \exists SE^{\circ}(p))\}$. Only the former implication $\vdash\exists e\vdash c(e)$ is valid; however, it represents the lesser interesting one (effect-cause) from the (ontological) metaphysical viewpoint. Hence, the general relation between c and e cannot be the specific logical relation through which traditional metaphysics represents the connection between cause and effect, i.e. a logical equivalence. Hence the kind of logic of Curie's paper is necessarily the intuitionist one.

[5] The latter "Conclusion" is called by Curie the "reciprocal" of the former one, "converse" by (Castellani & Ismael, 2016, p. 1003) and also by others.

But this relation is intuitionist also because the set of symmetries of the phenomenon may be greater than the set of symmetries of the medium. That can be translated into either the group theoretical formula γ or a mathematical inequality: $S(p) \geq S(m)$. Ultimately, the entire difficulty of expressing Curie's first theoretical proposition in mathematical language boils turns out to writing *an inequality instead of* the equalities = obtained by the translations of usual physical principles into mathematical formulas.

We know that in thermodynamics there exists an inequality translating the principle of the increase of entropy: $\Delta S \geq 0$. Unfortunately, Curie ignored this formula because it was enlightened by Max Planck in 1897, three years after Curie's paper. Do not consider irrelevant Curie's failure. The occurrence of entropy's inequality within theoretical physics led philosopher Émile Meyerson (1908) to see in $\Delta S \geq 0$ the defeat of scientific reason, whose arguing and results have been always expressed through equalities (and hence classical logic)[6].

Here is the core of Curie's theory; it belongs almost entirely to intuitionist logic. All that confirms that being a double negation, the word "symmetry" leads to laws that pertain to intuitionist logic and are expressed by mathematical inequalities.

5. The interpretations of Curie's paper through a "Curie's principle"

Since the interpretation of Curie's paper was difficult, the scholars tried to grasp the main content of the paper by extracting from the above theoretical propositions the most meaningful one(s). Hence, they tried to pick up the most representative proposition(s) and called it (or them) "Curie principle(s)" (from which deriving all consequences according to an AO). But also this task met great difficulties. As a historical result, the scholars offered many versions of it. In the literature, I have found 21 versions (with some repetitions) of CP. Hence, the scholars do not agree on what CP is[7].

Many authors present more than one principle: van Fraassen (1989) 2 principles, Nakamura & Nakahama (2000) 3, Brading *et al.* (2023) 2, Castellani & Ismael (2016) (whose title is exactly "Which Curie principle?") 5. The remaining 17 scholars 1 proposition. Hence, scholars disagree even on the number of the propositions composing Curie's principles.

Furthermore, they differ in their philosophical assumptions (either a deterministic framework or a relation medium-phenomenon, or a relation problems/solutions), in their mathematics (either inequalities or a theoretical group's formula), and in their kind of logic (either classical logic or DNPs of intuitionist logic or modal logic). These great differences manifest the scholars' embarrassment in verbally circumscribing one of Curie's principles, although the original text is a century old.

Moreover, from no version of CP it is possible to derive within an AO all Curie's theoretical propositions as its consequences. To avoid the metaphysics of causes and reduce the theory to the usual framework of theoretical physics like Newtonian mechanics, Chalmers in 1970 and later Roberts and Earman, 2002 immersed Curie's propositions in an a priori mathematical and deterministic framework equipped by a parameter time. Then CP becomes: "A system cannot evolve from a symmetric to an asymmetric state." However, the authors do not specify what of Curie's original thoughts they leave outside and whether they make violence to the text.

All that confirms the conclusion of (Drago, 2024): CP, as a single principle-axiom, cannot start a re-construction of Curie's theory as an AO because Curie's theory represents a mixture of an AO and a PO.

---

[6] Also this philosophical difficulty in the next decades led many theoretical physicists to resist to the introduction into theoretical physics of symmetries which actually implied inequalities (Drago, 2023).

[7] Most authors preserve Curie's modalities or add new modalities.

Without examining the results of all scholars, let us now analyze an example of a definition of CP given by the authoritative *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, already quoted in footnote no. 1. This definition is merely a collection of Curie's propositions; its propositions (a) is essentially γ and ϵ; the proposition (b) is essentially ζ, α and λ. The authors (and also Castellani & Ismael, 2016, p. 1003) state that "propositions a and b" are not independent of one another". But since only $\epsilon \approx \zeta$, the equivalence of (a) and (b) concerns only two of the four propositions. At last, these authors consider as CP only the proposition α: "[It] Is what has become known as Curie's principle (CP)". But this definition misses some facts stated by Curie: the effects can have the same symmetries of the causes, the translation of γ (which is a DNP) into group theoretical language and the practical limitation illustrated by λ. However, to be faithful to the text's contents, one must add at least the propositions $\zeta, \iota, \kappa, \lambda, \nu, o, \pi$, and ρ. As a fact, not all scholars agree on this interpretation.

It is important to note that according to a suggestion by (Birkhoff, 1950, p. 30 and 45), van Fraassen and Castellani change the original words "causes" and "effects" into respectively the words "problems" and "solutions". This rewording removes Curie's metaphysics. Then the new text implicitly raises a *problem* (Which solutions-symmetries?) and its theory has to be intended as a search for discovering a new method for *solving* it. Moreover, Castellani & Ismael (2016, p. 1006) suggested that CP is not an axiom but a methodological or heuristic principle, exactly as it has to be within a PO. Therefore, this interpretation of Curie's paper implicitly conforms to the theoretical organization PO; it puts the basis for reconstructing Curie's paper as a PO theory of the first group of the 18 Curie's propositions[8].

In conclusion, once the PO is chosen, CP receives a plain expression in DNPs: either the group theoretical formula of the proposition γ or the inequality repeating Curie's main proposition α ("Lorsque") without its metaphysics of causes and its modal word "doivent": "The number of symmetries of the problem is lesser than or equal the number of symmetries of the solutions".

Bibliography

Birkhoff, G.D. (1941). "The principle of sufficient Reason", in *Three Public Lectures on Scientific Subjects*. Huston: Rice Institute, pp. 24-53.

Brading, K., Castellani, E., Ismael, J. & Teh, N. (2023). "Symmetry and Symmetry breaking", in Zalta, E.N. (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at stanford.edu, accessed on 23 November 2024.

Castellani, E. (2000). *Simmetria e Natura*, Bari: Laterza.

Castellani, E. (2003). "On the meaning of symmetry breaking", in Brading, K. & Castellani, E. (eds.), *Symmetry in Physics. Philosophical Reflections*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 321-334.

Castellani, E. & Ismael, J. (2016). "Which Curie Principle?", *Philosophy of Science*, 83(5), pp. 1002-1013.

Curie, P. (1894). "Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique", *Journal de Physique Théorique et Appliquée*, 3(1), pp. 393-415.

Drago, A. (2007). "There exist two models of organization of a scientific theory", *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 62(6), pp. 839-856.

Drago, A. (2021). "An Intuitionist Reasoning Upon Formal Intuitionist Logic: Logical Analysis of Kolmogorov's 1932 Paper", *Logica Universalis*, 15(4), pp. 537-552.

Drago, A. (2023). "The other side of the history of symmetries. Their link with intuitionist logic", in Bussotti, P., Capecchi, D. & Tucci, P. (eds.), *Proceedings of the SISFA 42nd Annual Conference*, held in Perugia 26-29 September 2022, pp. 239-246.

[8] Whereas the question of which is the dynamics of symmetry's generation is avoided. How to obtain a complete PO theory from these first elements of this theoretical organization? This question will be met in a successive paper.

Drago, A. (2024). “Logical Interpretation of 1894 Pierre Curie’s Paper about Symmetries in Theoretical Physics”, in Di Mauro, M., Romano, L. & Zanini, V. (eds.), *Proceedings of the 43rd Annual Conference Sisfa*, held in Padova 5-8 September 2023. Napoli: Fedoa Press, pp. 337-346.

Earman, J. (2002). “Curie Principle and spontaneous symmetry breaking”, *International Studies in the Philosophy of Science*, 18(2-3), pp. 173-198.

Garson, J. (2023). “Modal Logic”, in Zalta, E.N. (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at stanford.edu, accessed on 23 November 2024

Ismael, J. (1977). “Curie Principle”, *Synthese*, 110, pp. 167-190.

Hughes, G.E. & Cresswell, M.J. (1996). *A New Introduction to Modal Logic*. London: Routledge, pp. 244 ff.

Meyerson, E. (1908). *Identité et Réalité*, Paris: Alcan.

Nakamura, N. & Nagahama, H. (2000). “Curie Symmetrie Principle: Does it constrain the analysis of structural geology?”, *Forma*, 15, 87-94.

Radicati, A. (1987). “Remarks on the early notion of symmetry breaking”, in Doncel M. *et al.* (eds.), *Symmetry in Physics* (1600-1980), Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona, pp. 195-207.

Roche, J.J. (1987). “Symmetry form Galileo to Newton”, in Doncel, M.G. *et al.* (eds.) Symmetry in Physics (1600-1980), Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona, pp. 1-28.

Van Fraassen, B. (1989). *Laws and Symmetry*, Cambridge: Claredon.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_20, pp. 173–180
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-20

Insegnamento scientifico nel Seminario Vescovile di Bergamo tra XVIII e XIX Secolo

Laura Serra[1]

[1]Ateneo di Scienze Lettere Arti di Bergamo, Bergamo, lauraserra247@gmail.com.

Abstract: The Seminary of Bergamo, founded in 1567, preserves a collection of around 200 instruments generally in a good state of conservation, most of which date back to the nineteenth century. The instruments were used for teaching physics in the Seminary school, whose system in the 18th and 19th centuries was divided into Gymnasium, Philosophical and Theological studies, all taught within the same seminary. Physics, in particular, was a curricular subject in the philosophical course and, throughout the nineteenth century, it made use of the experimental method, as demonstrated by the many documents preserved in the historical archive of the seminary and by the collection of instruments still present today. In addition to physics, mathematics and natural sciences were teaching subjects for future priests, a sign of particular attention to the scientific education of seculars. But does this attention to scientific studies in the Bergamo Seminary have more ancient origins? To hypothesize an answer to the question, let's consider that among the bishops who succeeded one another at the helm of the diocese of Bergamo, mention should be made of San Gregorio Barbarigo (1625-1697), bishop of Bergamo from 1657 to 1664. The numerous studies that see him as a protagonist especially in relation to his subsequent episcopate in Padua they also highlighted his scientific training and his relationships with eminent personalities in the scientific field of the time. An education which, according to researchers, influenced the determination of the *Cursus studiorum* of the Paduan Seminary; can we also say this for the Bergamo seminary?

Keywords: Physics, Seminary School, Physics Instruments

Lo studio qui presentato approfondisce il tema dell'insegnamento scientifico nel Seminario Vescovile di Bergamo, con particolare riguardo all'insegnamento della fisica nei secoli XVIII e XIX. Lo spunto ad approfondire il tema nasce dal fatto che il Seminario conserva una collezione di circa 200 strumenti in generale in buono stato di conservazione, la maggior parte dei quali risalenti all'Ottocento. L'intento è duplice: da un lato offrire un contributo alla conoscenza dell'istituzione bergamasca, dall'altro creare le premesse per la valorizzazione di un patrimonio scientifico didattico appartenente ad una istituzione non votata all'insegnamento scientifico. Il fatto che nel Seminario di Bergamo si insegnasse la fisica sperimentale è particolarmente interessante in quanto nella maggior parte dei Seminari il *cursus studiorum* era prevalentemente umanistico, volto alla preparazione dei chierici allo studio della teologia; tuttavia, accanto a materie quali l'italiano, il latino e il greco, la storia universale, la filosofia, in alcuni casi, e a partire dal XVIII secolo, trovava posto anche l'insegnamento della fisica e della matematica, e, nel XIX secolo, anche delle scienze naturali, segno tangibile dell'importanza data a tali insegnamenti "scientifici" per la formazione del clero secolare.

Il Seminario Giovanni XXIII di Bergamo fu fondato nel 1567 per l'istruzione dei chierici secolari secondo i dettami del Concilio di Trento; fin dal suo esordio prevedeva che si impartissero al suo interno le lezioni, prassi che restò valida nei secoli successivi. Le materie, i programmi, gli ordinamenti e la durata dei corsi mutarono nel tempo in relazione alla temperie culturale del momento, ma anche in relazione

alla personalità dei Vescovi succedutisi nel tempo alla guida del Seminario bergamasco[1] (Zanchi, 1988, p. 190; Cont, 2008, p. 32, 44, 52).

Alla fine del Settecento, all'interno del Seminario vi era un corso ginnasiale, in cui si impartivano lezioni di grammatica infima, media e superiore, di umanità e prosodia, di retorica; un corso denominato filosofico della durata dei due anni, in cui erano previste lezioni di logica, metafisica e fisica; un corso teologico con le scuole di teologia dogmatica e morale. I corsi ginnasiali e filosofici erano aperti anche a chierici non convittori, e ad alunni esterni. All'epoca, infatti, le scuole cittadine deputate all'istruzione dei giovani erano il Seminario, alcune accademie private e soprattutto il prestigioso Collegio Mariano, retto dalla congregazione caritatevole Misericordia Maggiore. Scuole caratterizzate da differenti storie e differenti destini, ma legate da numerosi intrecci. Alcuni insegnanti del Collegio Mariano, ad esempio, membri della comunità scientifica bergamasca, si formarono nel seminario di Bergamo: Lorenzo Mascheroni (1750-1800), Giovanni Albrici (1743-1816), Gianantonio Tadini (1754-1830), Giuseppe Mangili (1767-1829), per citarne solo alcuni.

Lorenzo Mascheroni, ad esempio, sostenne presso il seminario, come laico, nel 1767 gli esami di Logica (*Liber examinum ...*, 1767); nel 1768, conferitogli l'ordine minore di esorcista, sostenne l'esame di Physica (*Liber examinum ...*, 1768) e l'anno successivo quello di Theologia (*Liber examinum ...*, 1769).

Giovanni Albrici nel 1766 prese l'ordine minore di Acolitus e superò l'esame di Logica (*Liber examinum ...*, 1766), come Suddiacono nel 1767 l'esame di Physica, e nel 1769, ordinato sacerdote, l'esame di Theologia.

Sicuramente la fisica, o meglio la filosofia naturale del corso filosofico dell'epoca, pur essendo di impianto aristotelico e puramente speculativa, dovette gettare le basi dei futuri interessi di entrambi gli scienziati che portarono l'uno alla cattedra di matematica all'università di Pavia e l'altro alla carica di macchinista del Gabinetto di fisica del Collegio Mariano.

Le vicende storiche degli anni a cavallo fra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento, le idee illuministe che sempre più pervasero la società bergamasca apportarono un notevole mutamento nell'approccio alla scienza e Mascheroni, insegnante di Filosofia naturale al Collegio Mariano, poté ottenere dalla Deputazione del Collegio Mariano il permesso di istituire nel 1784 l'insegnamento di Fisica sperimentale, affermando: "La Fisica si appoggerà tutta a dimostrazioni ed esperienze. Si ometteranno tutte le questioni inutili, e di puro esercizio di discorso. Non si lascerà discorrere agli scolari sopra una materia, se non previa una quantità sufficiente di idee nate dai fatti, che sono in ogni cosa il fondamento delle nostre cognizioni" (*Collegio Mariano...*, sd). Poté quindi nascere il Gabinetto di fisica con le sue macchine adatte alla didattica.

Nel Seminario, lo spirito conservatore che pervadeva la gerarchia ecclesiastica, fece sì che le novità dell'insegnamento scientifico non fossero attuate negli ultimi anni del Settecento. Il vescovo Paolo Dolfin (1777-1819), pur nell'autonomia sancita dal Concilio di Trento riguardo al Seminario, alle sue regole e ai suoi ordinamenti, dovette comunque tenere relazioni con il governo dominante, rappresentato allora dalla Repubblica Veneta, ai cui domini di terra apparteneva il territorio bergamasco da circa 400 anni. Il Vescovo, rispondendo in data 16 febbraio 1782 ad una sovrana ducale, ribadisce l'ordinamento del Seminario in conformità alle regole stabilite a suo tempo dal Beato Gregorio Barbarigo, Vescovo di Bergamo dal 1657 al 1663, e specifica la composizione dei corsi impartiti: il "solito" corso filosofico di due anni, conducente al corso di teologia scolastica (*Libro delle Terminazioni*, 1782). Nulla di nuovo nemmeno nel 1795, come si deduce dalle nomine dei professori che si avvicendano nei vari insegnamenti: tutti appartenenti al clero secolare, e per lo più non specialisti di una singola disciplina, dato che la prassi

[1] Nel 1650 i corsi interni al seminario erano: Lettere, Catechismo, Canto; Gregorio Barbarigo (1657-1664) introdusse i corsi di Grammatica e Retorica; Alvise Ruzzini (1697-1703) quelli di Filosofia e Teologia dogmatica; Pietro Priuli (1708-1728) i corsi di Diritto civile e canonico, Liturgia e Teologia morale.

prevedeva l'avvicendamento di uno stesso insegnante su cattedre diverse: ad esempio Prosodia e Umanità durante un anno scolastico e Fisica durante l'anno successivo (*Libro delle Terminazioni*, 1795). E però, fra gli strumenti ottocenteschi conservati nel Seminario, ve ne sono alcuni di epoca precedente: un globo celeste datato 1613 di fattura fiamminga; un orologio solare, racchiuso in una scatola quadrata di legno sul fondo della quale è disegnata la rosa dei venti, mentre sul coperchio è rappresentata una meridiana; un microscopio composto tipo Norimberga. Oltre a questi, il Seminario di Bergamo conserva un oggetto particolarmente prezioso per il suo grande valore storico: la lente obiettiva di diametro 80 mm e spessore 4 mm, appartenente a un cannocchiale astronomico (scomparso), datata e firmata *Gemininus Montanarius I.U.D. Bononie Anno 1665 Palmi Rom 24 1/2*[2] . Altre due lenti firmate da Geminiano Montanari (1633-1687), astronomo e matematico, sono conservate l'una al Museo della Specola di Bologna e l'altra al Museo Poleni di Padova, ma, rispetto a queste, la lente del seminario vescovile di Bergamo è precedente: quella di Bologna è datata 1666, quella di Padova 1676.

L'attività di Geminiano Montanari come abile costruttore di strumenti scientifici, fra i quali lenti e strumenti astronomici, si colloca in particolare fra gli anni 60 e 70 del Seicento, anni in cui Montanari ricopriva a Bologna la cattedra di Matematica (Bònoli, 2017; Zanini, 2017). Geminiano Montanari fu interessato alla filosofia naturale della scuola galileiana e dell'Accademia del Cimento, fu in contatto con Vincenzo Viviani, discepolo di Galileo Galilei; ammiratore di Robert Boyle e dell'attività della Royal Society; scienziato eclettico, svolse numerose ricerche sperimentali in vari campi della scienza: ricerche sul vuoto, sulla dinamica dei fluidi, sulla circolazione del sangue, ma soprattutto si dedicò all'astronomia, redigendo un'accurata mappa lunare, scoprendo l'esistenza di stelle a luminosità variabile e compiendo osservazioni e studi sulle comete (Zanini, 2017, p.22). Dal 1662 Montanari ricoprì a Bologna l'insegnamento di matematica, fino al 1678, anno del suo trasferimento a Padova per dedicarsi all'insegnamento di astronomia e meteore. Durante gli anni padovani fu incaricato dal vescovo Cardinale Gregorio Barbarigo della costruzione dell'osservatorio astronomico e della meridiana nel Seminario vescovile di Padova (Zanini, 2017, p.21).

Riguardo alla lente conservata a Bergamo, per ora non sono emersi documenti che facciano luce sulla sua presenza nella collezione di strumenti, ma l'ipotesi è che sia collegata proprio alla figura di Gregorio Barbarigo, vescovo di Bergamo dal 1657 al 1664, anno del suo trasferimento alla cattedra vescovile di Padova. I moltissimi studi che hanno riguardato la figura del Cardinale, Beato e Santo Gregorio Barbarigo lo indicano come uomo di grande cultura, dotato di una formazione scientifica e appassionato cultore della matematica e della fisica (Baldini, 1999); giovane rampollo di una facoltosa famiglia veneziana, intraprese la carriera diplomatica al seguito dell'ambasciatore veneziano Alvise Contarini a Münster, dove frequentò varie personalità scientifiche, incontrate anche nel gruppo che gravitava intorno al nunzio apostolico Fabio Chigi, futuro papa Alessandro VII. La decisione di dedicarsi al sacerdozio, sorretta da una profonda motivazione spirituale, e le relazioni importanti nell'ambiente curiale condussero Barbarigo nel 1657 alla cattedra vescovile di Bergamo dove si occupò principalmente di pastorale, visitando la diocesi per conoscerne a fondo i problemi e cercando di risolverli indicendo sinodi diocesani; cercò di migliorare il livello culturale del clero secolare attraverso il miglioramento dei corsi in seminario, dove introdusse l'insegnamento di Retorica e di Grammatica. Alla matematica in questo periodo poté dedicarsi solo al pari di uno svago, ma mantenne vivo il suo interesse assumendo quale segretario Cosimo Galilei, nipote di Galileo Galilei, per leggere e commentare con lui opere matematiche (Baldini, 1999, p. 172). Sono documentate relazioni con Vincenzo Viviani, matematico, al quale Barbarigo, tramite il suo segretario, chiese un telescopio (Baldini, 1999, p. 210). Fra le relazioni intessute con le personalità dell'epoca, ricordiamo quella con il principe Leopoldo de' Medici, dal quale ricevette in omaggio testi

[2] Nel momento in cui scrivo è in corso uno studio approfondito sulla lente, sia dal punto di vista dei documenti, sia dal punto di vista ottico.

di Apollonio freschi di stampa (de' Medici, 1661a, 1661b, 1675), e quella con Geminiano Montanari, al quale Barbarigo, diventato vescovo di Padova, affidò, come citato in precedenza, la costruzione dell'osservatorio e della meridiana nel Seminario padovano (Baldini, 1999, p. 185).

L'opera di rinnovamento del Seminario iniziata da Barbarigo a Bergamo proseguì nella diocesi di Padova, che guidò fino alla morte avvenuta nel 1697. A Padova fu un vero innovatore, attuando in Seminario una riforma che istituiva corsi filosofici in cui si dava grande importanza alle scienze, riforma che costituì nel secolo successivo un modello di riferimento per i Seminari.

La ricerca in corso da parte mia dei documenti riguardanti la lente di Geminiano Montanari ha l'obiettivo di superare il campo delle ipotesi per giungere a dati certi sulla provenienza della lente nel Seminario di Bergamo.

Le vicende storiche del territorio bergamasco influirono anche sul Seminario. Caduta la dominazione veneta nel 1797, con l'arrivo dei francesi delle armate napoleoniche, il Seminario fu chiuso nel 1798, i suoi beni confiscati nel 1801 e restituiti in parte nel 1806 (*Libro delle Terminazioni*, 1808). Il territorio bergamasco divenne Dipartimento del Serio appartenente alla Repubblica cisalpina e dal 1805 al Regno d'Italia. Il Vescovo, di conseguenza, dovette ottemperare alle richieste provenienti dalla Prefettura del Dipartimento volte ad ottenere informazioni riguardanti il Seminario, se vi fossero impartiti solo gli studi sacri o anche quelli filosofici e letterari; se, a tali scuole, accedessero alunni esterni non chierici e in quale numero (*La Prefettura...*, 1805). La risposta puntuale del Vescovo Dolfin, riportata nello stesso documento, inizia elencando le materie insegnate, specificando che la scuola è pubblica, aperta cioè anche ad alunni esterni; gli insegnamenti sono: lingua italiana e latina, storia moderna e storia antica romana, prosodia, umane e belle lettere, eloquenza sacra e profana, matematica, logica, metafisica, fisica, teologia morale e dogmatica, diritto canonico; scrittura sacra.

In apparenza nessuna novità, se non che, in un altro documento presumibilmente del 1808[3] riportante l'elenco dei docenti, si cita la fisica sperimentale, affidata a Don Matteo Consoli (*Risposta alla circolare*, 1808), il quale sottoscrive una dettagliata relazione riguardo al programma svolto nell'insegnamento della fisica. Il programma distingue fra fisica generale, comprendente le proprietà generali dei corpi e l'attrazione fra di essi, il calorico e la fisica particolare. Quest'ultima prende in esame i solidi, la statica e la meccanica, l'equilibrio dei fluidi, l'elettricità con la presentazione della "prodigiosa" pila di Volta, il magnetismo delle calamite, fenomeno che "sarà forse sempre inspiegabile", l'ottica con la rifrazione, la riflessione e la dispersione della luce definita "il leggiadro spettacolo dell'iride". Il programma si conclude con la spiegazione del sistema del mondo dapprima come appare dalla Terra, ma poi spiegato come avviene nella realtà specificando " la complicazione, l'insufficienza, l'insussistenza del sistema tolemaico e la semplicità, la naturalezza la solidità di quello copernicano... mostrando al tempo stesso che non c'è niente di contrario alla religione che professiamo" (Consoli, 1811).

Un programma completo, al passo con le teorie fisiche dell'epoca, in cui presumibilmente il docente si avvaleva di alcuni apparecchi per mostrare più chiaramente i fenomeni che andava presentando. Negli anni successivi il Seminario si trasferì dalla sede di San Matteo nella città alta di Bergamo, che presentava problemi sia di capienza che di salubrità, al colle di San Giovanni, dominante sulla città, che offriva spazi molto più ampi. Nel nuovo Seminario, fra le aule dei corsi filosofici, ve n'era una dedicata alla fisica accanto ai "gabinetti di fisica e chimica". La dotazione del gabinetto di fisica dai documenti risulta cosiderevole per in Istituto privato" (*Prospetto delle collezioni scientifiche*, 1850).

Insegnante di fisica nel 1811 è Giuseppe Bravi (*Pagamento...*, 1811), artefice nel 1806 della verifica della meridiana costruita da Giovanni Albrici nel 1798 sotto i portici del Palazzo della Ragione. In virtù delle sue competenze fisiche e matematiche fu nominato socio dell'Ateneo di Scienze Lettere Arti di

[3] La data, non presente sul documento, è deducibile dal confronto con altri documenti conservati nell'archivio del Seminario, in cui sono indicate le nomine dei professori.

Bergamo[4].

L'amministrazione del Seminario in genere deliberò le somme necessarie per sopperire alle necessità del gabinetto di fisica soddisfacendo, pur con parsimonia le richieste dal docente dell'epoca (*Ordini di pagamento*, 1824; 1829; 1831). Don Vincenzo Bonicelli, insegnante dal 1820 al 1855 (*Prospetto stato personale*, 1820) e convinto sostenitore dell'insegnamento della fisica sperimentale, in particolare, sollecitò l'amministrazione a rifondere le spese relative alla riparazione di alcune macchine, richiedendo anche che "il canone per la Fisica sia riportato a 200 Lire come era prima d'ora; poiché senza spesa non si possono fare esperienze, e senza esperienze è assolutamente impossibile fare convenientemente e rendere profittevole la scuola di Fisica" (Bonicelli, 1839). Dispensato dal governo austriaco (dal 1814 Bergamo fa parte del Regno Lombardo Veneto) (Commissione Aulica..., 1829) a sostenere l'esame di abilitazione all'insegnamento, che il nuovo governo imponeva a tutti i docenti, in quanto autore egli stesso di testi utilizzati dagli alunni del Seminario, tuttora conservati nella biblioteca del seminario (Bonicelli, 1825; 1831). Si era cimentato anche nella traduzione dal francese del "Cours élémentaire de Pysique Expérimentale" di Joseph Mollet, che aveva completato con le scoperte più recenti (*Curriculum...*, 1828)[5]. L'edizione francese, appartenente allo stesso Bonicelli, è conservata nella biblioteca del Seminario, insieme all'edizione italiana; quest'ultima riporta commenti, annotazioni, e, nelle pagine bianche intervallate ai paragrafi, indicazioni sulle esperienze relative ad alcuni argomenti.

I rapporti fra il Seminario e gli organi governativi durante la dominazione asburgica si fecero pressanti. Il linguaggio dei dispacci e, conseguentemente, delle risposte divenne estremamente formale. Il Ministero per il Culto chiedeva ogni anno resoconti e relazioni, imponeva norme e programmi scolastici, l'adozione di libri di testo specifici, soprattutto nel caso in cui, come per il Seminario di Bergamo, i corsi interni frequentati dai chierici fossero aperti anche a studenti esterni. L'intento era quello di uniformare l'insegnamento, almeno per quanto riguarda le materie non attinenti all'istruzione sacra, a quello impartito nelle scuole pubbliche.

Il governo stabilì le materie libere e quelle obbligatorie dei corsi ginnasiali e filosofici; nel primo anno del corso filosofico ad esempio, la matematica pura elementare era obbligatoria e prevedeva 7 oresettimanali, mentre la storia naturale era libera con 4 ore; nel secondo anno la fisica era obbligatoria con 8 ore settimanali ed era congiunta con la matematica applicata e con gli elementi della chimica generale (*Nuovo piano*, 1824). Il governo austriaco dimostrò l'intenzione di mantenere attivi i corsi filosofici nei Seminari anche nelle città dove era presente un Liceo pubblico o una Università

> affinché i candidati di Teologia restino allontanati dai molti pericoli di seduzione... Ma affinché con questa cautela con la coltura della buona indole e della pietà non resti negletta la cultura scientifica tanto necessaria per un sacerdote, gli studi filosofici nei Seminari vescovili dovranno tenere passo possibilmente uguale con quelli negli istituti pubblici. (*Organizzazione degli studi...*, 1824a)

E ancora la Commissione Aulica degli Studi si compiace di constatare l'osservanza dei dettami governativi:

> specialmente in quelle materie le quali come la matematica e la fisica benché non servano di base all'istruzione delle scienze teologiche, sono però sempre di grande importanza per la cultura dell'ingegno e per l'intento di quello scopo benefico che il clero nella cultura scientifica tenga ugual passo cogli altri stati. (*Organizzazione degli studi...*, 1824b)

Gli auspici per un corso filosofico che desse importanza agli studi scientifici non era tuttavia accompagnato da contributi economici che supportassero il Seminario nel sostenere le spese che, almeno

[4] L'Ateneo di Scienze Lettere Arti di Bergamo nasce nel 1810 dalla fusione delle antiche Accademie degli Eccitati, fondata nel 1642 e degli Arvali, fondata nel 1769. Giuseppe Bravi fu aggregato come socio attivo nella seduta del 20 aprile 1817, per i suoi meriti scientifici.

[5] Nel fascicolo citato nelle fonti d'archivio è conservato il curriculum di V. Bonicelli, l'elenco delle sue opere, copia dell'articolo pubblicato da "La Biblioteca italiana" con la recensione della traduzione di Bonicelli della "Fisica sperimentale" di Mollet.

(a) **(b)** **(c)**

(d)

Fig. 1

per quanto riguarda le dotazioni scientifiche, furono sempre contenute. Dai programmi del Seminario conservati nell'Archivio, che si riferiscono a tutto l'Ottocento, si conferma l'insegnamento della fisica sperimentale e si cita la dotazione "piuttosto ricca" del gabinetto di fisica (*Programmi...*, 1851).

Nella collezione sono presenti gli strumenti che esemplificano le principali leggi della meccanica sia dei solidi che dei liquidi; strumenti relativi al calore e alla temperatura; strumenti relativi all'elettrostatica e all'elettromagnetismo. Molti sono di fattura artigianale, pochissimi firmati dal costruttore. Fra questi un polariscopio di Nörremberg, firmato dal francese Deleuil (Fig. 1a), un cannocchiale terrestre dell'inglese Dollond (Fig. 1b), una sfera armillare di fattura italiana, firmata Gallabresi G. e datata 1840 (Fig. 1c), una macchina magneto elettrica di Ettingshausen[6], firmata C. Dell'Acqua (Fig. 1d).

La catalogazione in atto degli strumenti della collezione, la ricerca dei documenti sono la premessa per il percorso di valorizzazione intrapreso dal Seminario vescovile di Bergamo di un patrimonio storico scientifico poco conosciuto, ma di fondamentale importanza per approfondire le caratteristiche e la valenza, anche dal punto di vista scientifico, dell'insegnamento impartito nella antica Istituzione bergamasca.

[6] Ringrazio il Prof. Roberto Mantovani per il suggerimento sull'esatta denominazione dello strumento.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare, in particolare, il direttore della Biblioteca e degli Archivi Diocesani Don Mattia Tomasoni, il bibliotecario e archivista dell'Archivio del Seminario dott. Andrea Capelli per la disponibilità e l'aiuto, Mons. Goffredo Zanchi per i preziosi suggerimenti.

Bibliografia

Baldini, U. (1999), "Gregorio Barbarigo "matematico"; fondamento e aspetti di una reputazione", in Billanovich, L. & Gios, P. (eds.), *Gregorio Barbarigo patrizio veneto vescovo e cardinale nella tarda controriforma*, atti del Convegno di studi, Padova, 7-10 novembre 1996. Padova: Istituto per la storia ecclesiastica padovana, vol. I, pp. 149-229.

Bonicelli, V. (1825), *Alcune nozioni di meccanica e di Astronomia*. Bergamo: dalla tipografia Sonzogni.

Bonicelli, V. (1831), *Principi di meccanica*. Bergamo: Tip. Sonzogni.

Bònoli, F. (2017), "Perché si tratta di Riforma Romana e come i preti ci pongono le mani addio lettori", in Zanini, V. & Satta, A. (eds.), *L'astrologia convinta di falso col mezzo di nuove esperienze, e ragioni fisico-astronomiche, o' sia La caccia del frugnuolo di Geminiano Montanari*, ristampa anastatica. Padova: INAF – Osservatorio Astronomico di Padova, pp. 5-18

Cont, A. (2008), *Il capitolo della cattedrale di Bergamo, 1708-1773*. Bergamo: Litostampa istituto grafico.

Gios, P. (ed.) (1996). *L'Itinerario biografico di Gregorio Barbarigo: dal contesto familiare all'episcopato. Lettere ai familiari (1655–1657)*, vol.II. Padova: Istituto per la storia ecclesiastica padovana.

Mollet, G. (1824-1826). *Corso elementare di fisica sperimentale di Giuseppe Mollet*. A Roveta in provincia di Bergamo.

Zanchi, G. (1988). "L'età post tridentina e il consolidarsi della tradizione bergamasca", in Caprioli, A., Rimoldi, A. & Vaccaro., L. (eds.), *Storia religiosa della Lombardia. Diocesi di Bergamo*, Brescia: La Scuola, pp. 181-199.

Zanini, V. (2017). "Geminiano Montanari: un astronomo di fronte all'astrologia", in Zanini, V. & Satta, A. (eds.), *L'astrologia convinta di falso col mezzo di nuove esperienze, e ragioni fisico-astronomiche, o' sia La caccia del frugnuolo di Geminiano Montanari*, ristampa anastatica. Padova: INAF – Osservatorio Astronomico di Padova, pp. 19-26

Fonti d'archivio

Bonicelli, V. (1839), *Richiesta alla Reverendissima Deputazione del Seminario*, 2 maggio, Archivio Seminario Vescovile di Bergamo (di seguito ASVBg), *Carteggio, Giustificativi amministrativi, Mandati di pagamento*, b. 2 f. 4.

Collegio Mariano. Materie che si studiano, (s.d.). Biblioteca civica Angelo Mai di Bergamo (di seguito BCBg), MIA 2854.

Commissione Aulica, Dispensa 1 settembre 1829, (1829). ASVBg, *Carteggio, Scuola, Norme e disposizioni, Regolamento per lo studio filosofico*, b. 3 f. 2, p. 108

Consoli, M., (1811). *Lezioni di Fisica*. Archivio di Stato di Milano (di seguito ASMi), *Studi parte moderna*, b. 1087

Curriculum 14 ottobre 1828, (1828). Archivio Curia Vescovile di Bergamo (di seguito ACVBg), Serie 7 *Seminario - 28 Atti governativi relativi all'istruzione nel Seminario*, *D Intorno agli studi filosofici 1822 - 1835*

de' Medici, L. (1661a). Lettera a Gregorio Barbarigo, 20 agosto, Biblioteca nazionale centrale di Firenze (di seguito BNCF), *Collezione galileiana*, *Accademia del Cimento. Lettere scientifiche*, Gal. 282 - V, Posteriori. 23, 52r.

de' Medici, L. (1661b). Lettera a Cosimo Galilei, 20 agosto, BNCF, *Collezione galileiana*, *Accademia del Cimento. Lettere scientifiche*, Gal. 282 - V, Posteriori. 23, 53r.

de' Medici, L. (1675). Lettera a Geminiano Montanari, 20 luglio, BNCF, *Collezione galileiana*, *Accademia del Cimento. Lettere scientifiche*, Gal. 282 - V, Posteriori. 23, 194r.

La Prefettura del Dipartimento del Serio, (1805). Lettera a Mons. Vescovo, 2 settembre, ACVBg, Serie *7 Seminario - 28 Atti governativi relativi all'istruzione nel Seminario, A Atti e disposizioni del Governo Italico. 1805-1811*.

Liber examinum pro scientiis 1766, (1766). ASVBg, *Registri, Registri scolastici* (di seguito RRS), C/57

Liber examinum pro scientiis 1767, (1767). ASVBg, *RRS*, C/58.

Liber examinum pro scientiis 1768, (1768). ASVBg, *RRS*, C/60.

Liber examinum pro scientiis 1769, (1769). ASVBg, *RRS*, C/62.

Libro delle Terminazioni dal 1730 al 1823, (1807). 21 agosto, ASVBg, *Registri, Registri amministrativi* (di seguito RRA), B/66, p. 8 (parte in fogli).

Libro delle Terminazioni dal 1730 al 1823, (1782). 16 febbraio, ASVBg, *RRA*, B/66, p. 181.

Libro delle Terminazioni dal 1730 al 1823, (1795). 25 luglio, ASVBg, *RRA*, B/66, p. 235.

Nuovo piano per gli studi filosofici per il Regno Lombardo Veneto, (1824). 2 ottobre, ACVBg, Serie 7 *Seminario - 28 Atti governativi relativi all'istruzione nel Seminario*, *D Intorno agli studi filosofici 1822 - 1835*

Ordini di pagamento, (1824). ASVBg, *RRA*, *Libro delle Parti dal 1824 al 1853*, B/68, p. 6.

Ordini di pagamento, (1829). ASVBg, *RRA*, *Libro delle Parti dal 1824 al 1853*, B/68, p. 23.

Ordini di pagamento, (1831). ASVBg, *RRA*, *Libro delle Parti dal 1824 al 1853*, B/68, p. 31.

Organizzazione degli studi filosofici nei Seminari Vescovili del Regno Lombardo Veneto, (1824a). ASVBg, *Carteggio, Scuola, Norme e disposizioni, Regolamento per lo studio filosofico*, b. 3 f. 2, p. 65

Organizzazione degli studi filosofici nei Seminari Vescovili del Regno Lombardo Veneto, (1824b). ASVBg, *Carteggio, Scuola, Norme e disposizioni*, b. 3 f. 2, p. 102

Pagamento 15 luglio 1811, (1811). *Giornale di cassa 1809–27 agosto 1811*, ASVBg, *RRA*, B/272, p.28

Programmi del Ginnasio Vescovile di Bergamo 1851–1854, (1851). ASVBg, *Carteggio, Scuola, Materiali didattici*, b. 4 f. 2

Prospetto stato personale del Ginnasio Vescovile di Bergamo 1820–1821, (1820). ASMi, *Studi parte moderna*, b. 1092

Prospetto delle collezioni scientifiche, (1850). ASVBg, *Carteggio. Scuola. Relazioni e rapporti informativi*, *Prospetti diversi 1850–1853*, b. 4, f. 3.1.

Risposta alla circolare 20 marzo 1808 del Ministero per il Culto, (1808). ACVBg, Serie *7 Seminario -28 Atti governativi relativi all'istruzione nel Seminario, A Atti e disposizioni del Governo Italico 1805–1811*.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_21, pp. 181–188
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-21

The two transits of Venus of 1874 and 1882 or, "the greatest astronomical events of the nineteenth century"

Luisa Lovisetti[1]

[1]University of Milan, Department of Physics "Aldo Pontremoli", Milan, luisa.lovisetti@unimi.it.

Abstract: In 2004 and 2012, with the last pair of Venus transits across the Sun, there was a renewed interest in the history of this rare astronomical phenomenon. However, not enough attention was paid to the transits of 1874 and 1882, even though, in 1869, they had been described as "the greatest astronomical event of the century". Indeed, the two transits of the nineteenth century represent one of the milestones in the history of astronomy. They not only made it possible to obtain a value for the Earth-Sun distance with an uncertainty of less than 1% (as already requested by Halley in 1716), but also provided an extraordinary opportunity for testing new technologies (such as photographic plates), stimulated the development of new astronomical devices (including Houzeau's heliometer with unequal focal lengths), and facilitated collaboration among European powers and emerging nations such as Brazil, Argentina, and Mexico. With old challenges such as the black-drop effect, renewed searches for an alleged satellite, and journeys to distant lands from Cape Horn to Hawaii (through meticulously organized expeditions where nothing was left to chance), the transits of 1874 and 1882 constituted not only a fundamental scientific venture but also a popular event, managing to capture the interest of the general public, and thus contributing in heightening widespread awareness of astronomy. 150 years after the 1874 event, here is their story.

Keywords: Venus Transits, Popular Event, Nineteenth-Century Astronomy, Solar Parallax

1. Introduction

As astronomers generally know, the transits of Venus are an extremely rare astronomical phenomenon, occurring approximately every 120 years in pairs of events. First predicted by Johannes Kepler (1571-1630) in 1627 and first observed in 1639 by the amateur astronomer Jeremiah Horrocks (1618-1641), the transits of Venus allow for the determination of the Earth-Sun distance through the measurement of solar parallax, a fact that immediately made this phenomenon particularly significant for the astronomical community. Specifically, the two transits of 1874 and 1882 were even described by *Scientific American* as "the greatest astronomical events of the century" (The transit..., 1869, p. 281), underscoring the uniqueness and importance of this phenomenon, which had already captured the attention of the scientific community in the previous century.

The story of the two transits of Venus of the nineteenth century is so complex, lengthy, and multifaceted that it would be impossible to condense all its characteristics and peculiarities into just a few pages. Therefore, in this work, we will focus on three specific aspects of this extraordinary astronomical venture. First, we will outline the differences between the transits of 1874 and 1882 and those of 1761 and 1769. Then, we will highlight the astronomical and technological significance of the two nineteenth-century transits, along with their broader impact beyond the realm of science, attempting to place them within the social and cultural context of the time. Finally, we will attempt to understand what this historical and astronomical story can still teach or tell us today, 150 years after the 1874 transit.

2. Eighteenth century vs nineteenth-century transits: two ventures compared

Regarding the differences, in the last quarter of the nineteenth century, Europe was relatively peaceful, with the long reign of Queen Victoria (1819-1901) in Great Britain, the formation of the German Empire and the unification of Italy between 1860 and 1870, and the restoration of the Republic in France in 1870. This was a markedly different climate from the tumultuous period of the Seven Years' War, which had ravaged Europe from 1756 to 1763, with its aftermath lingering for decades due to ongoing struggles for colonial dominance. In addition, while, in the eighteenth century, astronomical expeditions to observe the transits had been funded by enlightened monarchs, scientific academies, and generous patrons, the two nineteenth-century transits became matters of state. National governments invested significant sums and often involved the navy to provide support to the observation teams. For example,

> By 1874, eight countries were, all together, planning about seventy-five observation stations at a total estimated cost of $1 million. *Scribner's Monthly* argued: "It may seem to some that the results to be arrived at are not worth so great an outlay, but the general voice of the non-scientific world as well as of the scientific world has contradicted this". The frontispiece to *Punch*'s bound volume for 1874 (Fig. 1) takes as its subject the multinational spectacle that the 1874 transit of Venus would be. In the illustration, transit of Venus observers are portrayed as caricatures of national personifications (Britannia and Uncle Sam are most recognizable), crowded together, peering towards the sun with various instruments, elbow-to-elbow, jostling for a view. (Ratcliff, 2008, p. 56)

Fig. 1: Frontispiece of volume 67 of *Punch*, 1874.

To give an even clearer idea, the United States Government appropriated $177,000 for the 1874 event, and more than $75,000 for 1882, to send out eight well-equipped expeditions for each transit. Similarly, for the 1874 event, the newly formed Italian government allocated a generous funding of Lit. 50,000 for the expedition to Muddapur, in eastern India, led by Pietro Tacchini (1838-1905), a generosity that, unfortunately, was not renewed for the subsequent 1882 transit.

Moreover, it was not only the major powers of the old continent (such as France, Great Britain, and Russia), or the United States, that organized expeditions to observe this rare astronomical phenomenon. The two nineteenth-century transits also saw the participation and the significant contribution of numerous nations, many of which were newly unified (such as Belgium, Italy and Germany) or emerging countries located in former European colonial territories (such as Mexico, Argentina, and Brazil). In particular, the latter were favoured by their fortunate geographical positions: the 1874 transit was fully visible from much of Asia and the southern Indian and Pacific Oceans, while the 1882 transit could be seen in its entirety from the Americas and much of the Pacific Ocean. Indeed, many expeditions were concentrated in these regions. Expeditions that were numerous (almost 80 organized in 1874, and more than 90 in 1882) and well-equipped, located not in makeshift observatories, but in perfectly organized stations where nothing was left to chance. For example, in preparation for the 1882 transit expeditions, the United States Naval Observatory published a comprehensive 70 page guide that outlined in detail,

step by step, the responsibilities of each expedition member (Commission..., 1882). This was in addition to the numerous essays, volumes, and articles written by astronomers and experts before each transit, which described all the technical and astronomical details necessary to ensure that the observation process was nearly flawless. Additionally, while in the eighteenth century it took months to circumnavigate Africa, by 1874 and 1882, thanks to the Suez Canal (inaugurated in 1869), steamships, and trains (the first transcontinental railroad in America was completed in 1869, while the linking of the Indian railways across the sub-continent in 1870), travel had become faster and more secure and, therefore, less subject to the whims of the weather. Furthermore, the establishment of a dense telegraph network (notably, the first transatlantic telegraph cable was laid in 1858) made communication instantaneous, eliminating the risk of valuable letters or documents getting lost, as often happened a century earlier.

In a world that was thus becoming increasingly smaller, traversable even in just 80 days, at least according to what was written in 1872 by Jules Verne (1828-1905) in his famous book *Around the World in Eighty Days*, there was, however, a growing human desire to push further and discover the true dimensions of the solar system. A desire that made the two nineteenth-century transits a phenomenon eagerly embraced by both the scientific community and the general public.

3. Astronomical results and advancements

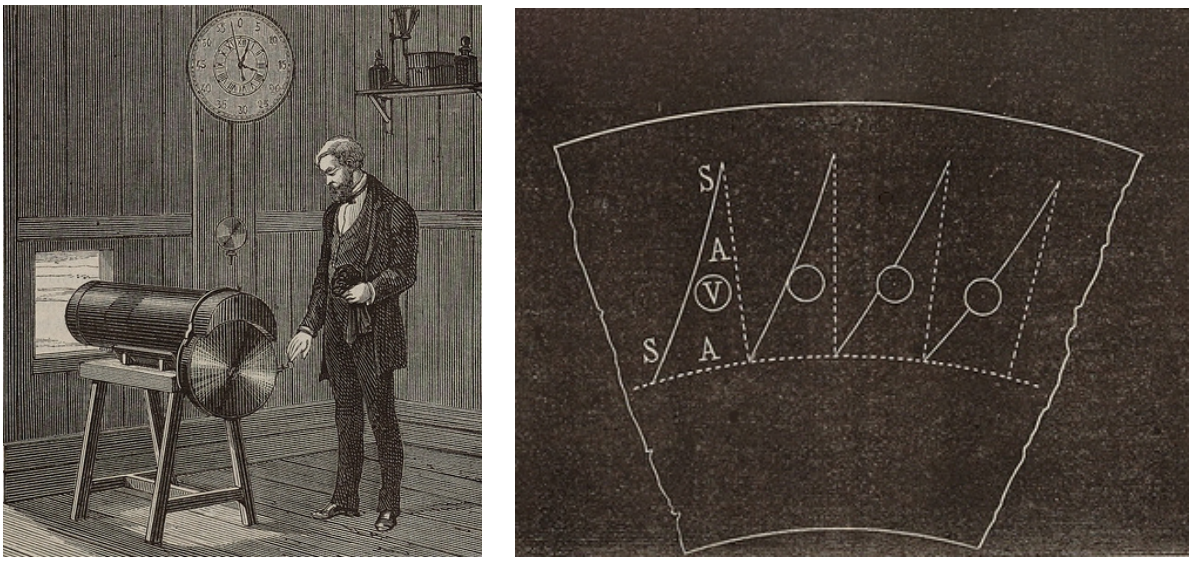
From an astronomical perspective, the two transits of the nineteenth century obviously played a fundamental role because, after nearly 250 years since the first observation of this phenomenon, they allowed for the determination of the solar parallax π (and, consequently, the Earth-Sun distance) with an uncertainty of less than 1%. This was the level of precision that Edmond Halley (1656-1742) had requested, or at least hoped for, in 1716.

Indeed, by gathering and synthesizing the data obtained from both the eighteenth-century and nineteenth-century transits, and after long and fatiguing calculations, the Naval Observatory astronomer William Harkness (1837-1903) derived a final result of π = 8.809” ± 0.0057” (Harkness, 1895, p. 34), while his more well-known colleague Simon Newcomb (1835-1909) obtained a value of π = 8.800” ± 0.0038” (Newcomb, 1895, p. 158), with the two reported errors considered as the probable errors. Both values represented a significant improvement over previous estimates. Moreover, considering the probable errors, Newcomb’s and Harkness’s results were in agreement, partly overlapping in their values for solar parallax, but Newcomb came closest (and incredibly close) to the modern (exact) value of the astronomical unit (historically conceived as the average Earth-Sun distance) of 8.794143”.

4. The best available technology and new scientific devices

The two transits of the nineteenth century also provided the perfect opportunity for systematic and planned use of photography. The French inventor and astronomer Pierre Jules César Janssen (1824-1907) conceived the idea of a “photographic revolver” (Fig. 2), inspired by the rotating cylinder of the revolver invented by Samuel Colt (1814-1862) in the 1830s. When operational, this device was capable of capturing forty-eight images in just seventy-two seconds.

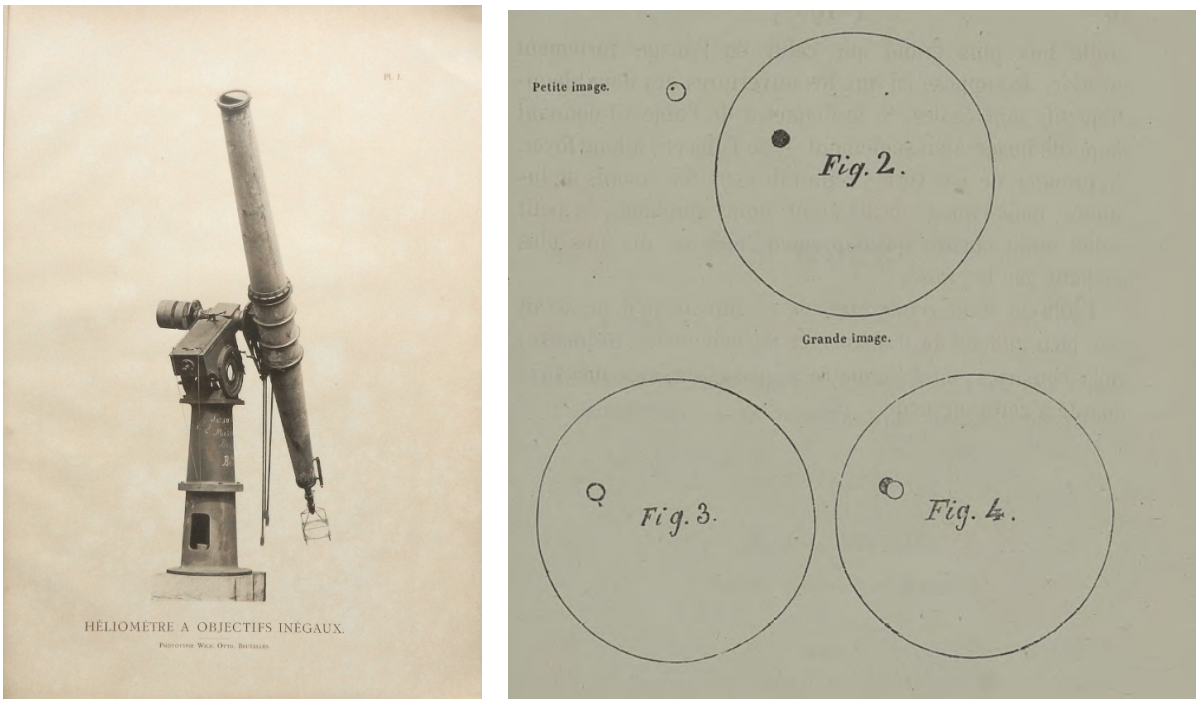
> On a common axis are mounted: 1. a copper disc C..., which is itself fixed onto a wheel that engages with the pinion of a clockwork mechanism M; 2. a large wheel R that holds a daguerreotype plate P or a silvered copper plate, intended to receive the images. The disc C has twelve openings or shutters F, evenly spaced around it. This disc completes one full rotation in eighteen seconds, while the daguerreotype plate wheel P, which also receives its circular motion from the same clockwork mechanism, rotates four times slower; that is, it completes a full rotation in seventy-two seconds. (Flammarion, 1875, p. 357)



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) View of the apparatus during the 1874 transit of Venus. (b) Diagram of the photographic record of the transit of Venus. (Flammarion, 1875, p. 357).

Thanks to the photographic revolver, Janssen created a unique and invaluable object: the first film sequence of an astronomical event in history. To be fair, the French scientist was not the only one to use it during the 1874 transit; several British missions employed a similar device known as the "Janssen slide". However, the quality of the images captured with the photographic revolver in 1874 was deemed insufficient for improving the calculation of the Earth-Sun distance, particularly by European astronomers, who generally opted not to use the device in 1882. In contrast, American expeditions refined



(a) **(b)**

Fig. 3: (a) Photograph of the heliometer with unequal focal lengths (Houzeau 1884b, Plate I). (b) Schema of the images produced by the heliometer (Houzeau 1871, p. 164).

the instrument, substantially by changing the photographic plate material, replacing wet bromo-iodide plates with dry collodion emulsion plates, which provided greater convenience, faster exposure times, and superior light sensitivity, and they took over 1,700 photographs, more than 1,300 of which proved useful for measurements. Moreover, new instruments were specifically developed and built for this event, such as the heliometer with unequal focal lengths (Houzeau, 1871; 1884a) designed by the Belgian astronomer Jean-Charles Houzeau (1820-1888). This instrument (Fig. 3a) featured two objectives with distinctly different focal lengths and diameters. The eyepiece (with the long-focus objective) projected the image of the sun onto a screen. The image of the sun (Fig. 3b) had a diameter of 160 mm, while that of Venus was about 5 mm. The short-focus objective produced a second solar image that was slightly smaller than that of Venus. The relative positioning of both objectives can be adjusted using a graduated micrometer screw. By adjusting the relative position of the two objectives, the small image of the sun could be aligned with that of Venus. The difference in the micrometer reading between the positions of "small sun centred on the crosshairs (thus at the centre of the large sun)" and "small sun centred on large Venus", when properly calibrated, provided a measure of the distance between the centres of the objects during the transit (Flammarion, 1875, p. 357).

In addition, the two transits of the nineteenth century also provided the perfect opportunity to supplement traditional observational methods, based on the use of equatorial reflecting or refracting telescopes equipped with micrometers, and heliometers, with the spectroscopic method. This method was tentatively utilized in 1874, primarily by the Italian expedition in Muddapur, India, and the one led by George Lyon Tupman (1838-1922) in Honolulu, Hawaii, but was employed on a larger scale in 1882. With regard to Italy,

> the spectroscope... was intended by her men of science to be their chief weapon of attack, and as in no country is there such a skilled body of spectroscopists as in Italy, this determination was probably not arrived at on insufficient grounds. (The Times..., 1874, p. 103)

5. From celestial rarity to public spectacle: how astronomy captivated the masses

Furthermore, while the two transits of the eighteenth century had primarily involved the scientific community and a few educated and curious nobles, those of the nineteenth century became a cultural and global event that managed to capture the interest and curiosity of the general public. From 1874 to 1883, the American newspaper *San Francisco Chronicle* published nearly 100 articles focused on the transits of Venus. *The New York Times* featured more than 180 articles, and a similar number appeared in the *Chicago Tribune*. Readers were informed about relevant lectures and made aware of publications aimed at a general audience, and there was widespread interest in articles covering the various expeditions from different countries around the world. Such articles likely contributed to the sustained interest and support of the public for subsequent astronomical endeavours.

On 7 December 1882, the day after the transit, *The New York Times* wrote:

> The slow transit of the planet Venus across the disk of the sun was observed in this City yesterday by thousands of amateur astronomers, and, judging by the comments of the gazers, the observations were remarkably satisfactory to them, whatever may be the result of the experiments of the scientists. The day broke dark and cloudy, and the predictions that the day was to be characterized by a storm of rain or snow seemed likely to be verified. But before the time set for the opening of the celestial panorama the clouds cleared away, and by 9 o'clock the sun was shining from a comparatively clear sky. From the time Venus made her first contact with the rim of the sun until she passed completely from the disk a fine view of the transit was presented to observers in this City... A very satisfactory view was obtained through smoked glasses, but the speck which was made on the disk of the sun by the planet was 80 small that it required some time of close application to the glass before it was recognizable, The dark spot appeared no larger than a small sized dried pea. It was very dark and stood out in bold relief against the red disk of the sun.

> Enterprising proprietors of telescopes of all sized and powers stationed themselves in favorable places all over the City, and reaped a large harvest by exhibiting the planet on its tourney across the sun at the rate of 10 cents a sight. In the City Hall Park a telescope was erected, and so great was the rush of people to take a look through it that the services of a Park policeman were required to keep them in line awaiting their turn. Once at the telescope a view of a few seconds only, was allowed, and by actual count 20 men peered through the glass in 5 minutes... Broad and Wall streets were filled with bulls and bears[1], each with a piece of smoke glass in his hand, and when not engaged in scientifically examining the transit, they amused themselves by blaking each other's noses and faces... The 120 boys of the Berkeley School, at No. 252 Madison-avenue, and over 2,000 other people viewed the transit through a new telescope with a 4-inch glass. The pupils of five of the young ladies' schools were also invited... to take a look at Venus. Scores of Columbia College students wearing mortar board caps climbed to the top of the new law school building of the college yesterday to catch a glimpse of the transit of Venus. (Across..., 1882, p. 1)

And, once again, reading this time from the Italian newspaper *La Stampa*,

> The phenomenon could be conveniently observed with a pair of opera glasses, taking care that smoked glass was interposed. Many amateur astronomers were eager to satisfy their curiosity, and telescopes and spyglasses could be seen pointed from balconies and windows. (Il passaggio..., 1882, p. 3)

The spectators' comments were, in some cases, quite peculiar and even amusing. For example, a reporter from the Roman newspaper *Il Bersagliere* wrote, "I also looked at the phenomenon through the smoked glass, and it seemed to me that I saw an omelette with a fly in the middle!" (Roma, 1882, p. 2). This description is certainly not particularly refined from a scientific standpoint. . . but it perfectly conveys the impression that the reporter had of what he observed. The involvement of the general public was remarkable. In fact, on 7 December 1874, the journal *Chicago Tribune* even reported on a sermon delivered by Reverend Smith Bartlett Goodenow (1817-1897), the pastor of the Congregational Church of Benton Harbor, Michigan. In the sermon, which spanned three columns, in simple yet precise language, the phenomenon, its history, and provided numerous details about the expeditions were described (Goodenow, 1874). Moreover, on 18 January 1883, *The New York Times* published a brief article describing a dinner of the so-called "Sheriff's Jury"[2] at Delmonico's restaurant, in which

> There was a handsome display of flowers, the most notable of which was a design representing the transit of Venus, resting where the eye of the presiding officer might fall upon it. In different parts of a floral globe stood the representative heads of nations and empires, Brother Jonathan viewed the transit through a straw, the Czar of Russia took his bearings on the sun by a compass, John Bull had a spyglass levelled at the planet, Napoleon Bonaparte saw the sight through a bottle of Cliquot, and Kaiser William employed a double-barreled pretzel, in the absence of a field glass, to observe the spectacle. (The Sheriff's..., 1883, p. 5)

Additionally, around the time of the two transits, many advertisements appeared in various newspapers promoting the sale of both large and small telescopes and binoculars for amateur observers and the curious. Finally, to celebrate the transit of 1882, the American composer John Philip Sousa (1854-1952) composed a special military march. Unperformed for many years and long believed to be lost, the score was rediscovered in 2003 by an employee of the Library of Congress, just in time for the transit of 2004.

[1] In the jargon of stock-market traders, bulls are people who buy securities or commodities in the expectation of a price rise, while bears are people who sell securities or commodities in expectation of a price decline.

[2] The Sheriff's Jury was an extravagant semi-official group and social club in Manhattan composed by wealthy businessman of New York, who periodically convened to address non-criminal issues, primarily related to inheritance or libel, that the Sheriff of New York referred to them. They gained notoriety for their extravagant annual banquets, which were always well-documented in *The New York Times*.

6. Past problems back in the spotlight

However, the story of the two transits of the nineteenth century also saw the resurgence of old problems and questions that had previously emerged. For example, the issue of a possible satellite of Venus (or some celestial object in its vicinity) gained renewed attention, with Houzeau among the primary supporters. Drawing on sightings documented in the seventeenth and eighteenth centuries by astronomers such as Francesco Fontana (1585-1656), Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), and James Short (1710-1768), Houzeau believed that the observed object was a small celestial body, initially considered a satellite and later thought to be a planet, that had a regular period and periodically came into conjunction with Venus (Houzeau, 1884a). The sighting in 1884 of a bright spot near Venus appeared to provide the long-sought confirmation of this celestial object's existence; however, the scientific community quickly dampened his enthusiasm, dismissing Houzeau's hypotheses as mere speculation.

Moreover, astronomers, such as those involved in the British expedition sent to Suez or the one located at Ohakrata in the Himalaya Mountains, had to contend once again with the troublesome phenomenon known as the "black drop". This phenomenon caused the planet to appear as if it was "stretched" or "connected" (through a thin ligament) to the edge of the Sun, creating the impression that the shape of the planet resembles that of a black drop, and thus rendering measurements during the two internal contacts between the edge of Venus and that of the Sun particularly difficult and imprecise. Long believed to be caused by Venus' dense atmosphere and initially considered, in 1761 by Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765), the first real evidence of the existence of an atmosphere on the planet, it would later be understood that the phenomenon was actually primarily due to an issue of astigmatism, as noted by Guido Horn d'Arturo (1879-1967), in 1922 (Horn d'Arturo, 1922).

7. Multi-messengers echoes and reflections: lessons from Venus transits of 1874 and 1882

At this point, there remains only one final question to address, that is, what can the venture of the two transits of Venus of the nineteenth century teach us still today?

Firstly, it provides a clear example of how scientific knowledge is a lengthy process characterized by successive refinements (in this case, five transits, from that of 1639 to that of 1882), in a process that is anything but linear, often marked by errors, failures, and also unexpected developments. Moreover, it helps us understand that the scale and significance of a scientific endeavour should never be judged solely by the results obtained. Indeed, from a purely numerical perspective, from the observation of Mars's opposition in 1877, David Gill (1843-1914) obtained a parallax value of 8.78" ± 0.012" (Gill, 1881, p. 323), a value which is not significantly different, for example, from Tupman's result 8.813" ± 0.033", proposed in 1878 (Tupman 1878, p. 334). Yet, the two astronomical ventures in question do not hold the same relevance and extent, having a completely different impact in terms of organization and involvement of the astronomical community as well as the general public. Indeed, Each scientific event should always be analysed in light of the context (scientific, of course, but also social, economic, political, and cultural) in which it develops. And from this perspective, the story of the two transits of the nineteenth century is far more intricate, complex, and expansive than that of Mars' opposition of 1877 and also than that of any other astronomical observation conducted throughout the nineteenth century. Therefore, based on what has been said so far, I hope that readers, and especially astronomers, will not cast judgment upon me if I dare to explicitly state that I wholeheartedly agree with *Scientific American* in stating that the two transits of Venus of 1874 and 1882 were (and have thus truly and fully deserved the title of) "the greatest astronomical events of the century".

Bibliography

"Across the Sun's face. Good observations of the transit of Venus. Crowds viewing the rare phenomenon – Smoked glass and telescopes in demand – Observations taken at Columbia College and elsewhere" (1882), *The New York Times*, 7 December, pp. 1-2.

Commission on the Transit of Venus (1882). *Instructions for observing the transit of Venus, December 6, 1882*. Washington: Government Printing Office.

Flammarion, C. (1875). "Le Passage de Vénus. Résultats Des Expéditions Françaises", *La Nature*, 8 May, pp. 356-358.

Gill, D. (1881). "On the Solar Parallax derived from Observations of Mars at Ascension in 1877", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 41(6), pp. 317-324.

Goodenow, S.B. (1874). "The morning star. A sermon on the transit of Venus", *Chicago Tribune*, 7 December, pp. 2,5.

Harkness, W. (1895) "On the Magnitude of the Solar System", *Science*, 1(2), pp. 29-34.

Horn d'Arturo, G. (1922). "Il fenomeno della 'goccia nera' e l'astigmatismo", *Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico della R. Università di Bologna*, 1(3).

Houzeau, J.C. (1871). "D'un moyen de mesurer directement la distance des centres du soleil et de Vénus, pendant les passages de cette planète", *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 32(9-10), pp. 158-164.

Houzeau, J.C. (1884a). "Le Satellite Problematique de Venus", *Ciel et Terre*, 5, pp. 283-289.

Houzeau, J.C. (1884b). "Passage de Vénus du 6 Décembre 1882. Première partie. Exposé des résultats faites aux stations belges, à l'aide d'héliometres à foyers inegaux", *Annales de l'Observatoire Royal de Bruxelles*, 5(1), pp. 1-35.

"Il passaggio di Venere sul Sole" (1882), *La Stampa*, 7 December, p. 3.

Newcomb, S. (1895). *The Elements of the Four Inner Planets and the Fundamental Constants of Astronomy*. Washington: Government Printing Office.

Punch, or the London Charivari (1874), 67(July-December).

Ratcliff, J. (2008). *The Transit of Venus Enterprise in Victorian Britain*, London: Pickering & Chatto.

"Roma" (1882), *Il Bersagliere*, 7 December, p. 2.

"The Sheriff's Jury. How the first panel enjoyed itself at Delmonico's last night" (1883), *The New York Times*, 18 January, p. 5.

"The 'Times' on the Importance of Scientific Research" (1874), *Nature*, 11(267), pp. 102-104.

"The Transits of Venus in 1874 and 1882" (1869), *Scientific American*, 20(18), pp. 281-282.

Tupman, G.L. (1878). "Note on the Mean Solar Parallax as derived from the Observations of the recent Transit of Venus", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 38(5), p. 334.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_22, pp. 189–198
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-22

La corrispondenza Lorenzoni-Abetti: scienza e amicizia nelle lettere di due astronomi dell'Italia post-unitaria

Valeria Zanini[1] and Antonella Gasperini[2]

[1]INAF - Osservatorio Astronomico di Padova, Padova, valeria.zanini@inaf.it.
[2]INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze, antonella.gasperini@inaf.it.

Abstract: The friendship between Giuseppe Lorenzoni (1843-1914) and Antonio Abetti (1846-1928) represents one of the most important and enduring relationships in Italian astronomy of the late 19th century. Although they were almost the same age, Abetti always regarded Lorenzoni as his Master, a respect that did not prevent the development of a fruitful scientific collaboration between them. The emotional bond they formed, which extended to their wives and Abetti's children, makes their correspondence one of the most valuable sources for understanding not only Italian astronomy in the period after the unification of Italy, but also the social context of its development. This talk will explore the relationship between the two astronomers, with a focus on the previously unseen aspects that emerge from the reading of their correspondence.

Keywords: Giuseppe Lorenzoni, Antonio Abetti, Italian Astronomy, Astronomical Correspondence

1. Introduzione

L'amicizia tra Giuseppe Lorenzoni (1843-1914) e Antonio Abetti (1846-1928) nacque tra le stanze della Specola di Padova e restò salda a lungo, fino alla morte di Lorenzoni, colui che per tutta la vita Abetti considerò suo Maestro, di vita e di scienza.

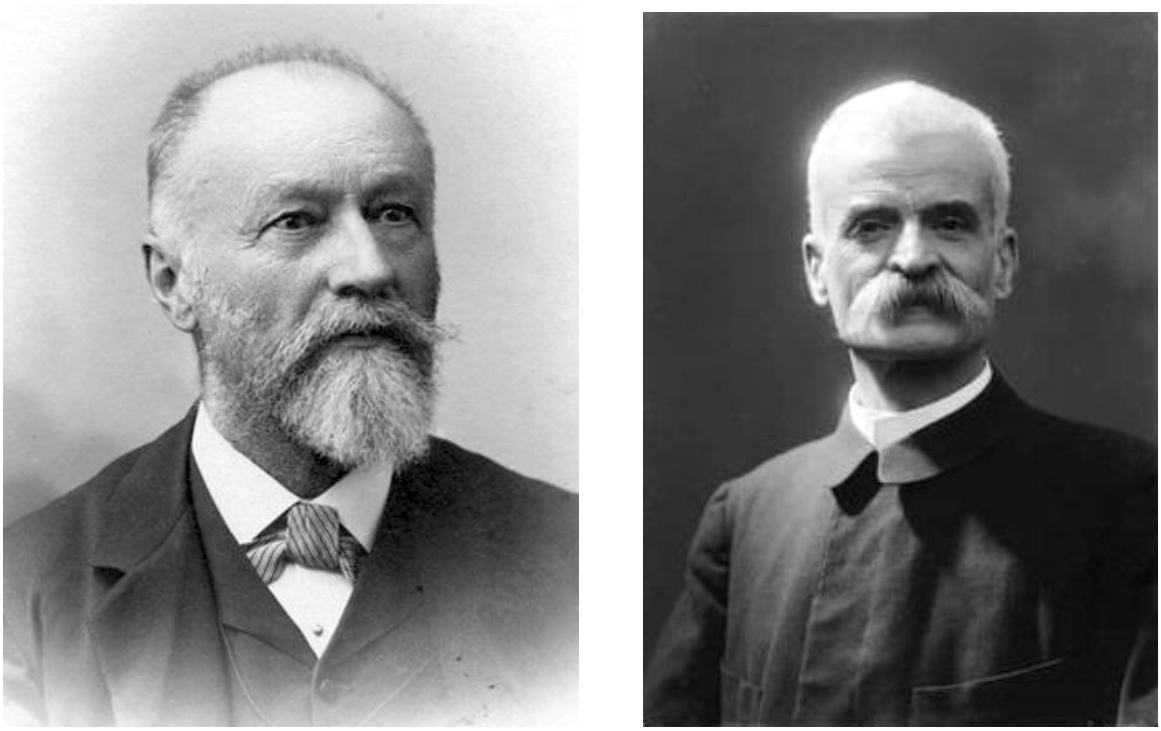
1.1. Giuseppe Lorenzoni

Figlio di un maestro di scuola elementare, Giuseppe Lorenzoni[1] nacque il 10 luglio 1843 a Rolle di Cison di Valmarino, in provincia di Treviso. Dopo aver conseguito il diploma presso l'I.R. Scuola Superiore di Venezia, nel 1860 si iscrisse all'Università di Padova per studiare ingegneria civile, con l'obiettivo di lavorare nel settore ferroviario. Nel 1863, ancora studente, fu nominato assistente alla cattedra di Astronomia, retta dal settantaseienne Giovanni Santini (1787-1877), il quale era stato costretto a riprendere l'incarico delle lezioni a seguito della prematura scomparsa di Virgilio Trettenero (1822-1863), astronomo aggiunto dell'Osservatorio padovano, che avrebbe dovuto essere il successore designato dello stesso Santini. Il 26 aprile 1864 Lorenzoni conseguì la laurea in 'Ingegneria Civile e Architettura' e nel 1867, ormai mutate le sue aspirazioni professionali, fu confermato nel ruolo di assistente e gli fu affidato il regolare incarico delle lezioni di Astronomia.

La sua carriera accademica proseguì con la promozione ad astronomo aggiunto nel 1872 e la nomina a professore straordinario l'anno successivo. Nell'anno accademico 1877-78, in seguito alla morte di Santini, ottenne la posizione di professore ordinario e direttore dell'Osservatorio Astronomico, ruolo che mantenne fino al suo ritiro volontario nel 1913. Dal 1869 al 1885 fu inoltre titolare della cattedra di Geodesia. Nel periodo 1891-94 ricoprì la carica di preside della Facoltà di Scienze dell'Università di

[1] Per un approfondimento sulla figura di Giuseppe Lorenzoni si rimanda a: Zanini, 2015.

Padova, ma "rifiutò la carica di rettore dell'Università malgrado i voti unanimi e le unanimi insistenze del collegio accademico" (Abetti, 1914).



(a) **(b)**

Fig. 1: (a) Giuseppe Lorenzoni (1843-1914). (b) Antonio Abetti (1846-1928).

1.2. Antonio Abetti

Antonio Abetti, nato il 19 giugno 1846 a San Pietro di Gorizia (oggi in Slovenia) da genitori padovani, conseguì la laurea in Ingegneria a Padova nel 1867. Entrò all'Osservatorio Astronomico di Padova in qualità di assistente nel 1868, pochi anni dopo Lorenzoni, del quale era più giovane di soli tre anni. Qui Abetti fu incaricato delle osservazioni meteorologiche e al contempo acquisì esperienza nell'uso del circolo meridiano[2] e dell'equatoriale di Starke[3]. Nel 1874 prese parte alla missione italiana in India per l'osservazione del transito di Venere; nel biennio 1876-77 si recò a Berlino dove perfezionò la conoscenza della lingua tedesca e familiarizzò con i più moderni metodi di calcolo delle orbite planetarie. In questo periodo tedesco imparò anche a utilizzare della nuova e moderna strumentazione, tra cui il cronografo di Fuess, che successivamente introdusse anche a Padova e che, implementato nella locale officina, divenne uno dei capisaldi della strumentazione prodotta dal meccanico Giuseppe Cavignato (1851-1915) e dai suoi praticanti. Antonio Abetti ebbe inoltre un ruolo significativo nell'accordo stipulato tra l'Osservatorio Astronomico di Padova e la Società Veneta per Imprese e Costruzioni dell'imprenditore Vincenzo Stefano Breda (1825-1903), che portò l'Officina meccanica della Specola padovana a essere il più importante centro di costruzione delle parti meccaniche della strumentazione astronomica nell'Italia di fine Ottocento.

Nel 1877, con la nomina di Lorenzoni a direttore effettivo, Abetti fu promosso astronomo aggiunto, affiancandolo nelle osservazioni geodetiche. Nel 1887 conseguì la libera docenza in Astronomia pratica

[2] Il circolo meridiano di Padova è ampiamente descritto in: Zanini & Zaggia, 2016.

[3] Si veda: www.beniculturali.inaf.it

e nel 1891, pur vincendo la cattedra di Astronomia a Torino, preferì non allontanarsi da Padova, per restare ancora sotto la guida del suo Maestro.

Seguendo i consigli di Lorenzoni, Abetti lasciò Padova solamente nel 1893 per assumere la direzione dell'Osservatorio di Firenze; una delle sue prime operazioni portate a compimento nella nuova sede in qualità di direttore fu la messa in opera di una nuova montatura per l'equatoriale di Amici[4], rimasto da tempo inutilizzato, commissionandone la realizzazione presso l'Officina meccanica di Padova.

2. La corrispondenza tra Giuseppe Lorenzoni e Antonio Abetti

La corrispondenza tra Lorenzoni e Abetti, che si custodisce presso gli archivi storici degli Osservatori di Padova e Arcetri, è testimone dell'evoluzione e del consolidamento del loro rapporto professionale nel corso degli anni. L'archivio di Arcetri conserva un considerevole *Fondo Lorenzoni*, contenente circa 6000 lettere provenienti da 480 mittenti diversi, che rappresenta la quasi totalità della corrispondenza scientifica dell'astronomo padovano. Questa documentazione, dopo una complessa peregrinazione, giunse ad Arcetri grazie alla donazione che ne fece Alessandro Trotter (1874-1967) nel 1955 (Bianchi & Gasperini, 2017). All'interno di questo fondo si trova un'ampia collezione di lettere scambiate tra i due astronomi nell'arco di oltre quattro decenni.

L'Osservatorio di Padova conserva invece solo una piccola parte della corrispondenza, limitata per lo più alle lettere che i due si scambiarono nel periodo in cui Antonio Abetti fu impegnato nella missione in India per l'osservazione del transito di Venere del 1874. Questa documentazione, che era conservata a Faenza presso l'ingegner Giorgio Ricci Curbastro, figlio del celebre matematico Gregorio (1853-1925), fu consegnata a Giovanni Silva, quinto direttore della Specola padovana, nel 1949 insieme al poderoso plico di lettere della corrispondenza 'Tacchini-Lorenzoni' (Pigatto, Salmaso & Zanini, 2004). Silva ipotizzò che gli allievi di Lorenzoni avessero progettato di scrivere una dettagliata biografia del loro Maestro e che per questo si fossero divisi la lettura e la trascrizione delle lettere. Il progetto fu probabilmente interrotto bruscamente a causa dello scoppio della Prima Guerra Mondiale. Al termine del conflitto, le lettere ancora conservate dalla vedova Lorenzoni, raccolte con la stessa meticolosità che caratterizzava la gestione della contabilità, dei registri delle osservazioni e delle carte amministrative dell'Osservatorio, furono così recuperate dalla famiglia Trotter, mentre quelle in mano alla famiglia Ricci-Curbastro tornarono nella loro sede naturale, ossia l'archivio padovano, trent'anni più tardi.

Complessivamente, il carteggio tra i due astronomi consta di circa 550 lettere, di cui una ventina conservate nel *Fondo Lorenzoni* a Padova e le rimanenti ad Arcetri, distribuite tra il *Fondo Lorenzoni* e il *Fondo Abetti*.

3. I contenuti scientifici e umani che emergono dal carteggio

> Lorenzoni è quello che dicono gl'inglesi un self made man uomo fatto da sé, senza di lui io non avrei saputo far nulla, anzi avrei battuto un'altra strada; con lui è stato possibile piantare per me la dipendenza Dembowski a Padova, l'Osservatorio di Arcetri. (Abetti, 1913)

Queste lettere ci raccontano senz'altro di una lunga amicizia, ma anche delle vicende scientifiche e politiche che interessarono l'astronomia italiana a cavallo tra XIX e XX secolo. Importanti sono anche gli aspetti personali, quelli che riguardano la vita quotidiana degli astronomi dell'epoca, i loro legami famigliari, ma anche i rapporti interpersonali, che allora come oggi non sempre sono facili, e spesso richiedono tanta azione diplomatica. Il lavoro di studio e analisi di questa corposa corrispondenza è iniziato da poco; nel presente contributo focalizzeremo l'attenzione solo su alcuni periodi, quelli che

[4] Si veda: www.beniculturali.inaf.it.

abbiamo studiato fino ad adesso.

3.1. *I primi anni (1869-1873)*

Come detto, l'amicizia tra Lorenzoni e Abetti ebbe inizio nei corridoi della Specola, dove Abetti era entrato nel 1868, all'indomani dell'annessione del Veneto al Regno d'Italia e dove Lorenzoni si trovava già da cinque anni. Sebbene Lorenzoni non fosse stato direttamente docente di Abetti (che aveva seguito invece le lezioni di Astronomia dell'anziano Santini, tornato alla docenza dopo la morte di Trettenero), fu proprio sotto la sua guida esperta che Antonio Abetti apprese non solo l'astronomia, ma anche il modo di essere astronomo. Questi primi anni, in cui fu assistente alla Specola padovana, furono cruciali per la sua formazione.

La corrispondenza di questo periodo iniziale, limitata ai brevi intervalli in cui Lorenzoni si recava in villeggiatura dalla famiglia a Follina alla fine dell'estate, rivela come Abetti facesse completo affidamento sul suo Maestro, consultandolo su ogni minimo dettaglio. Le sue richieste riguardavano questioni apparentemente minute, ma fondamentali per eseguire correttamente osservazioni e calcoli in assenza di una guida esperta:

> Alle 4.35 all'albeggiare volli fare delle osservazioni sopra una stella per determinare l'azimut di S. Giustina dal pergolo della S.M. [Sala Meridiana]. Le osservazioni le feci io, ma stordito come spesso ho osservata una bella e comoda stella (Rigel) senza riflettere che si trovava presso al meridiano, perciò è proprio il caso di pestar l'acqua (o la mia testa) nel mortajo, e le osservazioni le confidai al vento. Ciò ad altra volta, e sarei contento s'Ella si compiacerà di additarmi un astro il più opportuno, che sia sull'orizzonte a quell'ora.
> Meglio ancora in terrazza, osserverò una circumpolare per l'azimut di S. Benedetto. P.e. quale? Per avere la massima digressione basta togliere od aggiungere 6^h al tempo delle culminazioni?
> Continuo le osservazioni magnetiche perché ogni giorno trovo un risultato differente e la massima diff.a [differenza] sale a 20'. Che sia bene che continui? (Abetti, 1870)

Se questo era il tono delle richieste che Antonio Abetti si permetteva di inoltrare al Maestro durante i suoi periodi di meritato riposo, è ragionevole supporre che molto più insistenti e pressanti fossero quelle che gli rivolgeva a voce durante i mesi in cui, fianco a fianco, i due portavano avanti l'ordinaria attività di lavoro in Osservatorio.

3.2. *La missione in India (1874)*

Le lettere che si conservano nell'archivio di Padova sono quelle che Abetti scrisse a Lorenzoni nel corso della missione in India del 1874, organizzata per l'osservazione del raro fenomeno del transito di Venere sul disco solare. In questa occasione gli astronomi italiani si distinsero per essere gli unici al mondo ad applicare una innovativa metodologia osservativa di tipo spettroscopico, sviluppata solo in Italia. Questa tecnica doveva essere testata in vista di un suo più ampio utilizzo durante il successivo transito del 1882, prospettiva che tuttavia non si realizzò. Tralasciando gli aspetti scientifici della missione, per i quali si rimanda a Pigatto & Zanini, 2001, ci concentreremo sulla spedizione stessa, che aveva come destinazione Muddapur (l'odierna Madhupur), vicino a Calcutta.

L'organizzazione della missione fu curata congiuntamente da Pietro Tacchini (1838-1905), all'epoca astronomo aggiunto presso l'Osservatorio di Palermo, e Giuseppe Lorenzoni. L'amicizia tra i due era nata durante la prima missione scientifica del Regno d'Italia, che si era svolta in Sicilia nel 1870 per l'osservazione dell'eclissi solare del 22 dicembre (Pigatto, 1998). Lorenzoni, impossibilitato a partecipare personalmente al viaggio a causa dei suoi impegni alla Specola padovana, supervisionò comunque tutte le fasi preparatorie, dalla selezione degli strumenti necessari alla costruzione delle montature, fino al loro imballaggio e spedizione, per un totale di circa cinquanta casse. Con Tacchini partirono invece

Antonio Abetti, addestrato da Lorenzoni alle osservazioni spettroscopiche, Alessandro Dorna (1825-1886), direttore dell'Osservatorio Astronomico di Torino, e il giovane meccanico Antonio Cagnato, formatosi sotto la guida del capo meccanico dell'Officina padovana Giuseppe Cavignato e chiamato amichevolmente 'Toni', il cui compito era quello di prendersi cura di tutta la strumentazione.

Il viaggio per giungere a destinazione, con i mezzi dell'epoca, fu lungo e travagliato e richiese un intero mese. La spedizione partì da Venezia il 16 ottobre 1874 sul piroscafo inglese *Sumatra*; lo stesso Lorenzoni si recò a Venezia per supervisionare l'imbarco dell'attrezzatura scientifica e congedarsi dai colleghi. Il 18 ottobre, durante uno scalo a Brindisi, si unì alla spedizione Carlo Morso, astronomo amatore palermitano che partecipava al viaggio a proprie spese. Il tragitto fino a Brindisi fu particolarmente difficoltoso a causa delle condizioni meteorologiche avverse, come testimonia la lettera che Abetti scrisse a Lorenzoni:

> *Sunday morning* 18 ottobre 74, *on board of the 'Sumatra'*
>
> Poco dopo che Voi ci lasciaste l'elica si mosse, e con esse anche il bastimento, ma sul ponte piovendo a catinelle dovemmo riparare in cabina. Là ci sedemmo sul letto più a mano, attaccammo i cronometri sotto i letti e fecimo pigliar posto a Toni in terra. Attraverso il vetro della nostra prigione demmo l'addio a Venezia; così passò qualche ora, fra il caldo, l'odore del catrame, la noja del brutto tempo e la fame. Ad 1^h ci recammo al Lunch. Era imbandita una bella tavola, per noi italiani sarebbe stata un pranzo, non così per gl'inglesi che mangiano cinque volte il giorno. L'appetito non mancava per saggiare un po' di tutto, sardine, prosciutto, pollo freddo, umidi, salse, formaggi, dolci e frutta e via dicendo; ma a questo punto il bastimento cominciò ad oscillare alquanto di traverso; ciò produsse in me, in Tacchini ed anche nel meccanico un po' di capogiro. Ci ritirammo in cabina dormimmo magnificamente tutto il resto del giorno e della notte mentre tutti gli altri passeggeri sottoponevano a dure prove le membrane del loro stomaco.
> Dorna fu sempre saldo, andò anche a pranzo sulle 5^h coi pochi superstiti al generale eccidio, fra cui gli ufficiali di bordo.
> Dorna ignaro dell'inglese e dell'indiano, con 24 *yes* saggiò di tutto, perfino una stupenda mistura di riso freddo ben bollito, senape, cantaridi, intingolo di *mouton*, *moutarde*, e rabarbaro. Egli se ne stava ancora a tavola trionfante di aver tenuto testa a questi lupi, quandoché ode suonare a distesa il campanello avviso dei pasti, e allora perduta la pazienza mandò gl'inglesi di tutto cuore sul tridente di Nettuno e venne a trovarci per farci ridere un poco.
> Da questo punto (circa 8^h) ballando a rompicollo torniamo a dormire noi in cabina, Dorna su di una seggiola sul ponte insieme a qualche *Miss* e *Mistress* e cerberi imbacuccati fra coperte cuscini e scialli.
> A mezzanotte il mare mugghiava terribilmente, i cavalloni arrivavano a mezzo l'altezza del *Sumatra* per cui s'erano avvitati tutti i buchi; io salii barcollando sul ponte a trovar Dorna e viddi uno spettacolo alquanto nuovo, poi tornai con Dorna in cabina. Là tutti pigliamo sonno (onore alla Commissione italiana) ci svegliammo a due ore fermi nel porto di Ancona.
> Il mare era tranquillo, il cielo sereno, per cui tornatoci il buon umore, vestitici, godemmo il mattino sul ponte aspettando che cominciasse la via crucis dei pasti.
> A 7^h c'è il tea, a 8½ il breakfast, ad 1^h il lunch, a 5 il dinner a 7^h il coffee, però noi mangiamo a 8½ ed a 5^h per non morire d'indigestione. La giornata di jeri è stata stupenda, si mangiò si passeggiò si fumò, si scrisse e finalmente si andò a letto ove si dormì saporitamente fino a 5^h circa ora in cui si scatena l'inferno a pulire il bastimento. (Abetti, 1874a)

Il 22 ottobre giunsero poi al porto di Alessandria d'Egitto, dove avrebbero dovuto trasferire i bagagli sul *Surat*, un altro battello inglese che, giungendo dall'Inghilterra, avrebbe dovuto attraversato il recentissimo Canale di Suez, inaugurato solo cinque anni prima. Mentre le casse avrebbero viaggiato via mare, i passeggeri dovevano proseguire il loro viaggio in treno, fino a Suez. Purtroppo, però, il *Surat* ebbe dei guasti tecnici e i tempi previsti per le necessarie riparazioni rischiavano di compromettere l'intera missione, così faticosamente organizzata. Rapidamente gli astronomi italiani decisero quindi di modificare il proprio programma di viaggio: scaricarono tutte le casse dell'equipaggiamento più i loro bagagli, e li caricarono sul treno diretto a Suez, dove giunsero il 23 ottobre, dopo un viaggio di 10 ore.

A Suez, dove avrebbero dovuto attendere l'arrivo del *Surat* riparato per proseguire verso Calcutta,

ma i ritardi nella riparazione del battello rischiavano di compromettere ulteriormente la missione. Alla fine, grazie alla pervicacia di Tacchini e in virtù della risonanza mondiale che stavano avendo tutte le spedizioni scientifiche organizzate per l'osservazione del raro fenomeno astronomico, il capitano del piroscafo *Ceylon*, che da Suez era in partenza per Bombay, accettò di imbarcare sulla sua nave l'intera spedizione italiana. Le difficoltà di questa fase del viaggio sono ben documentate nella lettera che Abetti spedì a Lorenzoni il 25 ottobre:

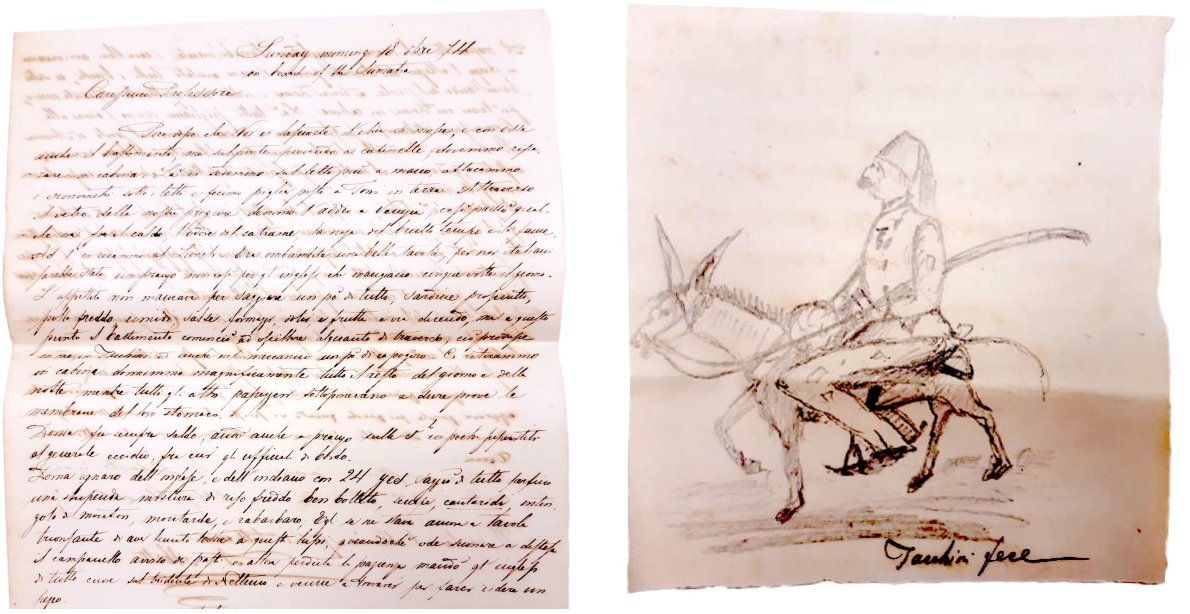
> Arrivato giovedì (a mezzogiorno) sul ponte del vascello si scorgeva Alessandria, ed in due ore fummo in quel stupendo porto pieno di legni grossi e piccoli, vapori, velieri, barche barchette etc.; venuto a bordo un agente della Peninsulare si sparge la notizia che il 'Surat'... sarebbe a Suez forse domenica, e nient'altro, nessun provvedimento, nessun ordine, nessun consiglio, il capitano un vero balordo e gli altri tutti poco meno (eccettuato l'ingegnere), che non è inglese ma scozzese.
> Il buon senso fortunatamente ci guidò col carico del vapore che va a Bombay (il 'Ceylon' fermo a Suez) e coi passeggeri diretti per quella via io esigei l'imbarco delle nostre casse, mentre Tacchini pensava al bagaglio ed ai compagni, così a 6^h in una barca c'erano le merci celeri (e le nostre casse) dirette a Bombay, in un altra tutti i passeggeri che avevano passaggio per Bombay e Calcutta. Queste due barche ci portarono in grande confusione veramente inglese alla stazione di Alessandria, là si montò nei vagoni tutti assieme ma senza sapere dove si va...
> All'alba fummo da 3 o 4 chilometri più a sud di Suez nel porto ove è ancorato il 'Ceylon', e fino al quale arriva la ferrovia. [...] salimmo a bordo per mezzo di un breve e comodo ponte, disponemmo in trincea le nostre valigie, i cronometri, la famosa borsetta avviluppata con corda e ponemmo il Toni di guardia con lo schioppo di Fortin in spalla...
> Il momento del consiglio era venuto, si fece sull'arena giù del bastimento davanti al treno già vuoto ma con alcuni carri chiusi in cui speravamo che ci fossero gl'istrumenti ed il bagaglio. Il consiglio giudicò di esporre la cosa al capitano, e di pregarlo di cambiare il passaggio di Calcutta per Bombay intendendo noi di andare a Muddapour da Bombay colla ferrovia; per tal modo, aspettando anche cinque giorni qua, non si perderebbero, anzi se ne guadagnerebbero altri cinque o più, essendo il giro dell'India più lungo della traversata in ferrovia di 10 o 12 giorni circa.
> Dopo qualche ora il capitano ci diede delle speranze, intanto aperti i vagoni vedemmo con gioja che tutto era con noi ed il tutto fu depositato sulla sabbia con molta malagrazia...
> Il capitano di una gentilezza straordinaria (eccezione nella sua razza) ci tornò a dare delle speranze dicendogli che ben comprendeva la nostra posizione e che il passaggio di Venere meritava qualche riguardo...
> Ieri dopo mezzogiorno allegri e contenti che tutto era a posto, che il passaggio per Bombay era assicurato, che si guadagna del tempo e via dicendo, andammo a Suez a cavallo del boricco[5]. (Abetti, 1874b)

La spedizione italiana riuscì dunque a partire da Suez il 30 di ottobre, raggiungendo Aden il 3 novembre e Bombay l'11 dello stesso mese. Da qui i membri della spedizione, con tutto il loro equipaggiamento, intrapresero un ulteriore viaggio in treno, di 58 ore consecutive, attraverso il subcontinente indiano da ovest a est, raggiungendo la stazione di Muddapur il 15 novembre, in tempo per effettuare tutti gli allestimenti necessari in vista delle osservazioni programmate.

Solo una volta giunto a Muddapur Abetti poté ricevere la lettera che Lorenzoni gli aveva scritto il 23 ottobre, indirizzandola a Calcutta. La missiva conteneva sia un'ulteriore serie di raccomandazioni osservative, a complemento di quelle certamente già molte volte discusse a voce nelle stanze della Specola padovana, sia evidenti manifestazioni di preoccupazione per il viaggio, le condizioni di salute del collaboratore e amico, e la buona riuscita della missione:

> Carissimo Amico,
> spero che questa mia lettera giungerà costì in tempo per darLe il ben arrivato...
> E la salute come va, come è andata? Come avete trovato il clima all'Ottavo grado di latitudine? Che? Non mi rispondete? Ah, Avete ragione! la vostra parola non mi può giungere che da qui a quaranta giorni

[5] Il boricco è il termine derivato dallo spagnolo per indicare l'asino. Si veda la Fig. 2b.



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) l'incipit della lettera scritta da Abetti il 18 ottobre 1874, a bordo del Sumatra. (b) Una guardia di Suez ritratta da Tacchini a cavallo del boricco. Lo schizzo è allegato alla lettera scritta da Abetti per Lorenzoni il 25 ottobre 1874.

> almeno! Oh dura legge, *sed lex*! Io, vedete, penso sempre a voi altri, nelle cui mani in questo momento sta una gran parte del decoro dell'Astronomia Italiana, e vorrei esser costà non per fare osservazioni, ma solo per veder come vanno le facende, per prendere parte alle vostre fatiche, e magari tenervi salda la scala mentre voi altri osservate; per contarvi le battute del cronometro o che so io! Io però non voglio andar troppo lungi con le mie ciancie: io credo che voi avete da fare e molto. Fate pure; ma se Lei trovasse un briciolo di tempo mi scriva qualche cosa non dei paesi, (ché di questi avremo tempo a discorrere) ma dei preparativi e dello stato del vostro animo. Mi dica delle condizioni atmosferiche, e come le apparisce la cromosfera solare. Si ricordi che fra il primo ed il secondo contatto bisognerà girare un momentino lo spettroscopio in angolo di posizione, e così pure fra il terzo e il quarto, si ricordi di tenere sempre la cromosfera nella fessura [6]. (Lorenzoni, 1874)

Nonostante le condizioni meteorologiche sfavorevoli, i risultati scientifici furono sufficienti a validare l'efficacia del metodo osservativo spettroscopico, sebbene questo non venne più applicato nei transiti successivi.

Terminata la missione, gli italiani si prepararono per affrontare il lungo viaggio di ritorno, con l'eccezione di Tacchini che, su invito della Royal Astronomical Society, rimase in India tenendo con sé il giovane Toni, per prendere parte alla spedizione inglese nelle Isole Nicobar, finalizzata all'osservazione dell'eclisse solare del 6 aprile successivo. Prima della separazione, i membri della spedizione italiana sostarono brevemente a Calcutta, dove furono accolti con tutti gli onori dall'Ambasciata. Questo soggiorno fornì ad Abetti un'importante opportunità di osservazione diretta del colonialismo imperiale inglese in India, che lo lasciò molto turbato, come documenta la seguente lettera:

> Dal primo dì dell'anno siamo a Calcutta all'Hotel France. Se potessimo vivere incogniti in quattro dì ci saremmo sbrigati nel visitare questa città che si può definire per una Dogana ed in qualche parte per un Ghetto, ma siccome ora rappresentiamo il Governo, non possiamo dispensarci da visite, pranzi e "evening Party", pertanto il soggiorno durerà otto o dieci giorni...
> Finora non s'è visto che il Museo dove vi sono cose molte e rare, ma in stato deplorevole: manca il buon gusto e l'arte. Qui la vita non è che impostura raggiro e guadagno. Gl'Inglesi detestano i nativi, e noi li amiamo; li definiscono per ladri impostori assassini e noi per due mesi abbiamo dormito a porte aperte;

[6] Nel seguito della lettera Lorenzoni raffigurò graficamente i diversi istanti dei contatti, così come Abetti avrebbe dovuto vederli durante il transito.

> v'è insomma una lotta schifosa che noi amiamo ardentemente di non gustare più a lungo.
> La condizione dell'India non è nota in Europa altro che per pitture inglesi le quali, Le assicuro, sono completamente false.
> Le racconterò molte cose al mio ritorno; intanto bisogna che si accontenti di sapermi e saperci sani e contenti. (Abetti, 1875)

La corrispondenza che Antonio Abetti tenne con il Maestro si intreccia con il fitto rapporto epistolare che egli ebbe anche con la sorella Maria, fornendo ulteriori dettagli sul lungo viaggio in India e completando le informazioni. Le sue lettere alla sorella, interamente trascritte ma non pubblicate, sono conservate attualmente presso l'archivio storico dell'Osservatorio di Arcetri.

3.3. La nomina alla direzione di Arcetri (1893)

Nel 1893, all'età di 47 anni, Abetti ottenne la direzione dell'Osservatorio di Arcetri. La nomina non rappresentava un obiettivo perseguito con ambizione, perché egli da lunghi anni aveva fatto di Padova la sua dimora scientifica e familiare; qui aveva avviato la sua carriera di astronomo, si era sposato, aveva visto nascere e crescere i figli Mario e Giorgio, aveva affrontato la perdita della moglie, avvenuta il 15 giugno 1891, e qui era ormai convinto che avrebbe terminato la sua carriera.

Nel 1891, nello stesso anno in cui era mancata la moglie Giovanna, Abetti aveva vinto il concorso per la direzione e la cattedra a Torino, opportunità di carriera che però declinò; probabilmente era ancora troppo forte il dolore per la perdita dell'adorata compagna di vita e troppo grave il peso delle preoccupazioni verso i figli ancora piccoli. Due anni più tardi, concorrendo alla direzione dell'Osservatorio fiorentino, si classificò secondo, alle spalle di Giovanni Celoria (1842-1920), e ciò gli offrì la possibilità di essere chiamato alla cattedra di Palermo. Anche in questa occasione, tuttavia, decise di rinunciare, motivando la sua scelta con il desiderio di proseguire ancora la collaborazione con il suo Maestro, come attestano le sue stesse parole: "lavorare con chi ne sapeva e poteva esser Maestro e Duce, il lasciarlo era un suicidio astronomico almeno fino al punto di una preparazione compiuta" (Abetti, 1913).

La situazione mutò nel momento in cui Celoria rinunciò alla direzione di Arcetri, circostanza che indusse infine Abetti ad accettare il trasferimento a Firenze. L'ampio carteggio del periodo 1894-1904 testimonia come Abetti mantenne uno stretto rapporto di collaborazione con Lorenzoni ancora per molti anni, sia per la riorganizzazione dell'Osservatorio fiorentino - rimasto in stato di rovina dopo la morte di Giovan Battista Donati (1826-1873) - e l'acquisizione della strumentazione necessaria (inclusa la montatura dell'equatoriale di Amici realizzata nelle officine padovane, i cronografi di Cavignato e il piccolo meridiano che fu "visto e corretto dal Maestro"), sia per continuare ad avere suggerimenti e consigli nell'attività scientifica. Come egli stesso affermò: "Dovendo venire in Arcetri feci grande assegnamento sulle spalle del Maestro" (Abetti, 1913).

4. Conclusioni

Il legame di amicizia tra Lorenzoni e Abetti trascese la dimensione professionale, estendendosi anche alla sfera personale e agli affetti familiari; in particolare Giorgio, il figlio di Antonio che seguì le orme del padre e gli succedette nella direzione di Arcetri, creò uno stretto legame con Lorenzoni il quale, non avendo avuto figli, gli si affezionò come un secondo padre.

La presente ricerca rappresenta una fase preliminare di un più ampio progetto di studio. Il *corpus* epistolare fino ad ora esaminato costituisce solo una piccola parte rispetto a tutto il materiale disponibile. Tuttavia, lo studio condotto fino ad ora ci conferma che molto possiamo imparare da una lettura e un'analisi più approfondite, sia riguardo alle fatiche scientifiche che hanno caratterizzato la scienza astronomica di quegli anni, sia per ciò che compete alla sfera più prettamente sociale e culturale dell'epoca.

Bibliografia

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

Pigatto, L. (1998). "L'eclisse totale di Sole del 22 dicembre 1870. La prima spedizione scientifica del nuovo Regno d'Italia", *Coelum*, 10, pp. 32-36 e 11, pp. 32-34.

Pigatto, L., Salmaso, M. & Zanini V. (2004). "The Lorenzoni-Tacchini Correspondence at Padova Observatory Archives: the «True» History of Italian Astronomy of the Second Half of the Nineteenth Century", *Journal of Astronomical Data*, 10, pp. 79-92.

Pigatto, L. & Zanini, V. (2001). "Spectroscopic observations of the 1874 transit of Venus: The Italian party at Muddapur, east India", *Journal of Astronomical History and Heritage*, 4(1), pp. 43-58.

Zanini, V. (2015). "Giuseppe Lorenzoni: l'uomo, l'astronomo e il maestro", *Atti e Memorie dell'Accademia Galileiana di Scienze, Lettere ed Arti in Padova. Parte II. Memorie della classe di scienze matematiche e naturali*, pp. 73-103.

Zanini, V. & Zaggia, S. (2016). "Giovanni Santini, the Meridian Circle and the *Paduan Catalogues*: the top of classical astronomy in the XIX century in Italy", in Esposito, S. (ed.) *Atti del XVIII Congresso nazionale SISFA*, Napoli, 4-7 ottobre 2016. Pavia: Pavia University Press, pp. 233-241.

Fonti d'archivio

Abetti, A. (1870). Lettera a Giuseppe Lorenzoni, Padova, 25 settembre. Archivio Storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (di seguito ASOA), *Fondo Giuseppe Lorenzoni, Corrispondenza con Antonio Abetti*, B. 2, f. 1.

Abetti, A. (1874a). Lettera a Giuseppe Lorenzoni, a bordo del Sumatra, 18 ottobre. Archivio Storico dell'Osservatorio Astronomico di Padova, *Fondo Lorenzoni* (di seguito AOPD, *FL*), B. 4, f. 2.

Abetti, A. (1874b). Lettera a Giuseppe Lorenzoni, Suez, 25 ottobre. AOPD, *FL*, B. 4, f. 2.

Abetti, A. (1875). Lettera a Giuseppe Lorenzoni, Calcutta, 5 gennaio. AOPD, *FL*, B. 4, f. 2.

Abetti, A. (1913). *Ricordi di Padova dal 1863 al 1894*. ASOA, *Fondo Antonio Abetti. Attività scientifica. Giuseppe Lorenzoni*. Trascrizione di Simone Bianchi.

Abetti, A. (1914). *Stesura in italiano del necrologio in tedesco: Giuseppe Lorenzoni, von A. Abetti, "Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft", 49. Jahrgang, Volume 3 e 4, 1914*. ASOA, *Fondo Antonio Abetti*, *Attività scientifica. Giuseppe Lorenzoni*. Trascrizione di Simone Bianchi.

Lorenzoni, G. (1874). Lettera ad Antonio Abetti, Padova, 23 ottobre (minuta). AOPD, *FL*, B. 4, f. 2.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_23, pp. 199–206
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-23

Friendly Stilbon, fraudful Hermes. Schiaparelli and the rotation of Mercury

Lorenzo De Piccoli[1] and Mario Carpino[2]

[1]University of Pisa, Pisa & University of Florence, Florence, lorenzo.depiccoli@phd.unipi.it.
[2]INAF - Astronomical Observatory of Brera, Milan, mario.carpino@inaf.it.

Abstract: Starting in 1881, Giovanni Virginio Schiaparelli dedicated himself to observing the planet Mercury. Contradicting the results of previous astronomers, who had assigned Mercury a rotation period similar to that of Earth, Schiaparelli concluded that the planet's rotation period coincided with the period of its revolution around the Sun; in other words, Schiaparelli became convinced that the planet Mercury was in synchronous rotation, as the Moon is concerning the Earth. Today, we know this conclusion is incorrect, but Schiaparelli's error persisted for decades, being definitively disproved only in the mid-20th century thanks to new observational techniques. In this contribution, we will consider the explanations offered by scholarly literature regarding what might have misled Schiaparelli. While some authors emphasise the difficulties inherent in the observation itself, others stress different extrinsic factors (for example, Schiaparelli entertained the idea that Mercury could have an atmosphere and perhaps even living beings dwelling on its surface). Furthermore, an attempt will be made to compare the drawings from Schiaparelli's diaries, preserved in the Historical Archives of the Brera Astronomical Observatory, with the maps obtained in recent years by the Messenger probe.

Keywords: Mercury, Schiaparelli, History of Astronomy

1. Introduction

> What the length of [Mercury's] Days are... is not yet discover'd, because we have not yet bin able to observe... what time he spends in his diurnal Revolution upon himself.
>
> Ch. Huygens, *Cosmotheoros*, 1698

In every contemporary astronomy textbook or fact sheet about the planets of the Solar System, one may read that the rotation period of Mercury is equal to 58.65 terrestrial days. Rather uniquely in the Solar System, this value is a relatively recent discovery; while already in the 17th century, Cassini was able to calculate with a good degree of accuracy the rotation periods of Jupiter and Mars, Mercury's rotation proved to be a much more difficult challenge. It was only in the mid-1960s that the currently agreed-upon value was reached, and notably, it was not due to optical astronomy, but to the efforts of radio astronomers and astrophysicists working with the data gathered by the Arecibo radio telescope in Puerto Rico (Pettengill & Dyce, 1965; Colombo, 1965).

An early attempt dates back to the year 1800, when J. H. Schröter's observations of features on the surface of the planet led him to deduce a rotation period of approximately 24 hours; this figure became widely accepted by the astronomical community (Sheehan & Baum, 1995; Prockter & Bedini, 2010). Schröter's observations and calculations were further developed by F. W. Bessel in 1813, and this figure became widely accepted for most of the 19th century (Colombo, & Shapiro 1966). It was only in the

1880s that another astronomer, G. V. Schiaparelli, felt confident enough in the technical evolution of telescopes to attempt another measurement.

2. Schiaparelli's observations

Schiaparelli himself, who at the time was in his fifties and director of the Brera astronomical observatory in Milan, nicely summarizes the difficulties faced by anyone attempting to observe Mercury:

> Indeed, a telescopic examination of this planet is extremely difficult. Describing a very narrow orbit around the Sun, Mercury never appears in the sky at much distance from the great light and is therefore impossible to see in the full darkness of the night, at least near our latitudes. Observations carried out during twilight are likewise, with rare exceptions, destined to failure; [the planet is so low on the horizon that it has] that uncertain and blazing appearance, which to the naked eye is perceived as a strong scintillation; for this reason, the ancients already called it *Stilbon*, or the scintillating one. (Schiaparelli, 1889a, p. 284; English translation by the authors)

The solution adopted by Schiaparelli was simple: the planet was to be observed during the day. Starting in 1881, Schiaparelli's observations immediately led him to the conclusion that Schröter's and Bessel's conclusion of a 24-hour period was erroneous; the planet had the same appearance when observed at different times of the same day. Soon, Schiaparelli concluded that Mercury's rotation period was approximately 88 days, i.e. equal to its revolution period around the Sun; in other words, according to Schiaparelli, Mercury was in synchronous rotation concerning the Sun. While Schiaparelli waited until 1889 to publish his conclusions, he had already anticipated his ideas in a letter to his Belgian colleague François Joseph Terby dated 20 October 1882. Despite having started observing Mercury in the previous year, Schiaparelli had already come to the conclusion that the planet was tidally locked to the Sun and communicated this idea to Terby in the traditional manner European astronomers announced their discoveries: with a Latin poem.

> Je crois que mes recherches sur ☿ sont assez avancées pour Vous donner une première idées du résultat. Si je devais mourir avant de publier moi même, je Vous prierai de le faire, afin que ce résultat ne soit pas perdu pour la science. Les voici, couché en mauvais vers latins, suivant l'usage de nos pères:
>
> Cynthiae ad exemplum versus Cyllenius axe
> Aeternam noctem sustinet, atque diem:
> Altera perpetuo facies comburitur aestu
> Abdita pars tenebris altera Sole caret.
> Non tibi Tabropane amplius admiretur adusta,
> Urget quam Titan ignipotens radiis,
> Nec tibi Rhiphaei constricti frigore montes,
> Nec Thyle arctoi obrute nocte poli.
> Magnis Luna quidem vicibus torretur et alget,
> Nam quos tu menses, nuncupat illa dies:
> Sidus et infelix, quod primo volvitur orbe,
> Majori flamma stringitur atque gelu.[1]
>
> En voilà assez faire fuir les neuf Muses, y compris notre docte Uranie. Cura ut valeas. (Schiaparelli, 1963, p. 104)

Schiaparelli's intentions were further recorded in an 1883 letter to the British astronomer William Frederick Denning: "I have been able to see its spots many times, but not always with the necessary distinctness... for a rigorous investigation... I believe that by instrumental means, such as our 8½-inch refractor at Milan gives, it is possible to prove the rotation-period of Mercury" (Denning, 1891, pp.

[1] An English translation of Schiaparelli's poem is provided in the Appendix.

141-142). In the subsequent years, Schiaparelli tenaciously kept at it, carrying out more observations of Mercury and dutifully recording them in his notebooks, accompanying them with numerous drawings of the planet's surface as it appeared when seen through his telescope - first an 8½-inch Merz refractor, and later (after 1886) the large 49 Merz-Repsold refractor, which had been installed following a large investment by the Italian royal government, in its bid to turn Brera into an observatory of global prestige after the recent unification of Italy.

Schiaparelli's results and methodology were published in a paper in *Astronomische Nachrichten* in 1889. The method adopted by the astronomer was in essence analogous to the one adopted by his predecessors in determining the rotation period of planets: the identification of visible features on the surface, the locations of which could be used to calculate the speed at which the surface was moving, as anticipated in his aforementioned letter to Denning. Schiaparelli identified several "macchie" on the surface, and one (christened q) specifically caught his attention, as he believed he could always clearly identify it (unlike the other spots, which always remained much more confused and uncertain) (Schiaparelli, 1889b).

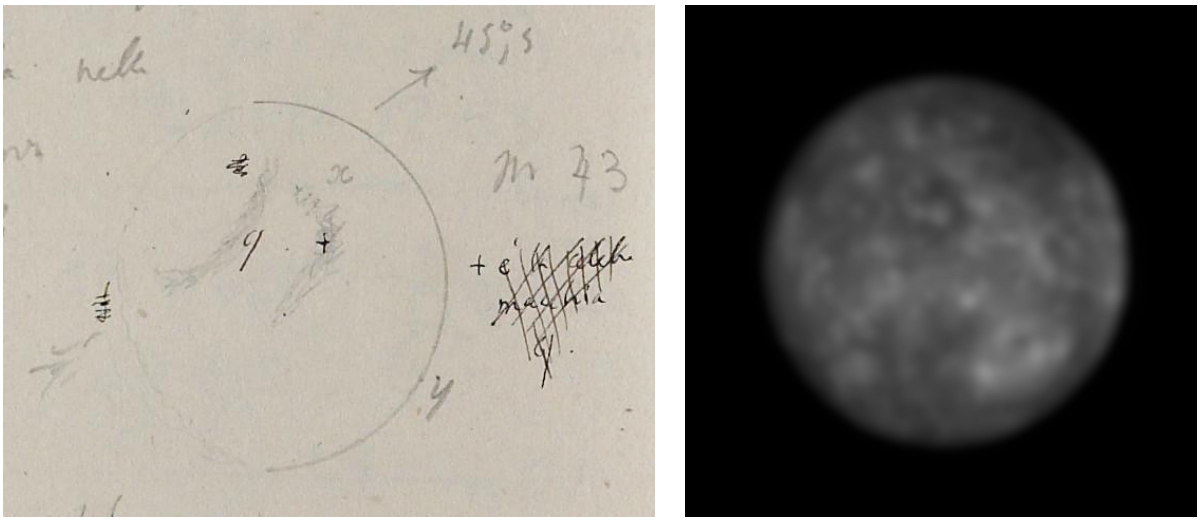
Schiaparelli was a skilled planetary observer, working with state-of-the-art telescopes; moreover, his 88-day result was widely accepted by the astronomical community for the entire first half of the 20th century. Eugène Michel Antoniadi went so far as to call Schiaparelli's conclusions about the rotation period of Mercury "la plus belle découverte télescopique du grand astronome italien" (Antoniadi, 1934, p. 23). Therefore, it is no wonder that subsequent authors occasionally wondered how exactly Schiaparelli concluded what we now know to be erroneous and why it took so long for the astronomical community to arrive at new results. Regarding the first question, Crowe (1986) suggests that Schiaparelli may have been influenced by the idea that a Mercury in synchronous rotation could be compatible with it being inhabited by living beings. Indeed, Schiaparelli announced his discovery at a public conference held by the Accademia dei Lincei, with King Umberto I and the queen consort, Margherita, in attendance; in this conference, Schiaparelli described the possibility that Mercury could possess an atmosphere and "something analogous to our seas" (Schiaparelli, 1889a, pp. 287-289). The atmospheric circulation in the form of strong winds, Schiaparelli hypothesised, might lead to the planet's temperature being more or less balanced between the diurnal half of the planet's surface and the nocturnal half. Defrancesco (1988) convincingly argues that Crowe's interpretation places too much emphasis on the issue of life on Mercury, and instead observes that Schiaparelli may have been influenced by recent developments in the theory of gravitation and of tidal forces; in other words, it is very plausible that Schiaparelli saw a direct analogy between the behaviour of Mercury regarding the Sun and the behaviour of the Moon in regarding the Earth (or in fact, any large natural satellite in regards to its planet). Adding to this discussion, a paper by Sheehan, Boudreau and Manara (2011) compares Schiaparelli's observations to contemporary images taken by CCD cameras; the authors emphasise that Mercury's surface presents numerous features that are very difficult to distinguish from each other by optical observation, being therefore comparable to a sort of "optical illusion" in which the brain is tricked into seeing spurious patterns and identifications.

Further developing this idea, the present contribution is an attempt to evaluate Schiaparelli's observations with the aid of digitally generated images of Mercury's surface.

3. Comparison with present-day observations

The task undertaken by Schiaparelli of identifying reliable reference points on the surface of Mercury to measure its rotation period is particularly difficult, not only for the reasons explained by Schiaparelli himself (1889a, pp. 283-284) but also because, as we know today, the surface of the planet is lacking any large, distinctive feature (as, for instance, the maria of the Moon) but is covered with several impact

craters surrounded by complex ray structures which can be easily mistaken for one another. To assess these difficulties, we have tried to compare Schiaparelli's drawings with images taken with present-day methods, specifically with the maps obtained by the Nasa Messenger space probe, which provide a global coverage of the surface of Mercury. Among the different available renderings of Messenger's data, we have chosen the monochrome morphology mosaic (John Hopkins..., 2016) as the one providing images more directly comparable with Schiaparelli's drawings, although the correspondence cannot be exact, given the differences between the instruments used and the point of view of the observer.



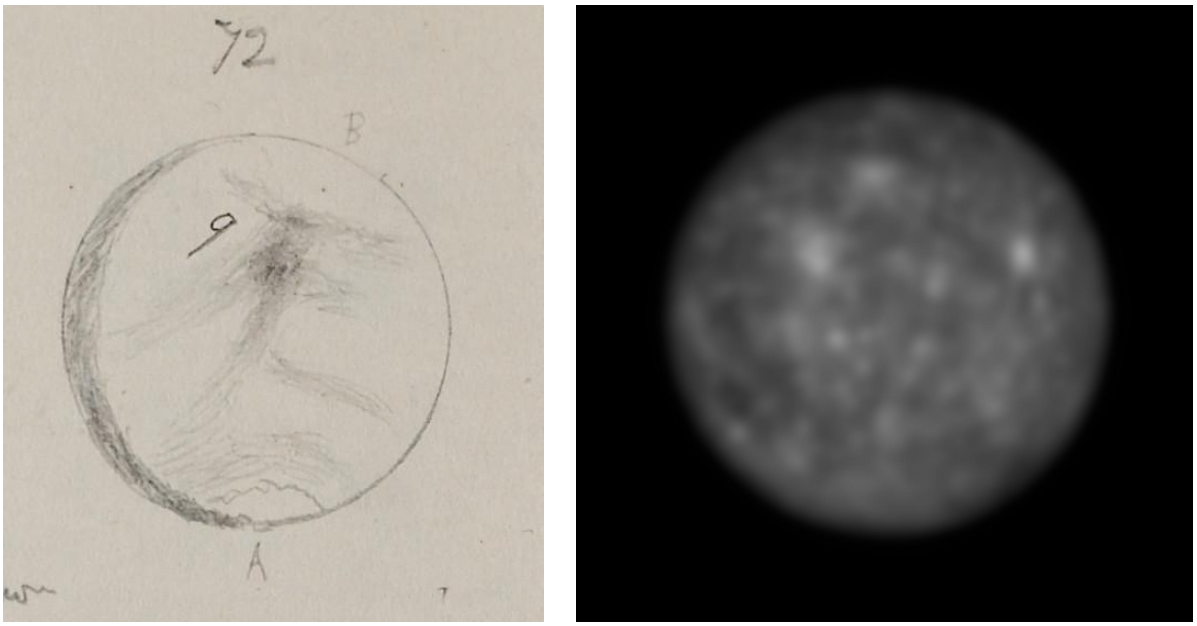
(a) **(b)**

Fig. 1: (a) Comparison between Schiaparelli's drawing of his observation of Mercury on 27.9 April 1882 (Schiaparelli, 1882). (b) The corresponding image obtained from Messenger's map.

In order to produce the comparison images, we have computed the geometrical parameters describing the relative positions of the Sun, Earth and Mercury and the rotational phase of Mercury, and in particular, the observer's sub-point (namely the apparent planetodetic longitude and latitude of the centre of the disc of the planet as seen by the observer) at the time of each observation, using NASA JPL's Horizons online ephemeris service (ssd.jpl.nasa.gov); then we have used these data to transform Messenger's map from its original equirectangular projection to an orthographic projection centred around the observer's sub-point, which mimics the appearance of the planet from the point of view of an observer on Earth, also taking into account the position of the Sun to darken the shadowed areas of the surface. These maps were subsequently blurred using an image manipulation program applying a Gaussian filter, to downgrade the resolution to a level more easily comparable to that of Schiaparelli's drawings; by trial and error the most suitable value for the radius of the filter was selected at 1/60 of the apparent diameter of the planet; then the contrast of the image was slightly enhanced to compensate for the decrease in contrast produced by filtering.

An initial interesting fact comes from the inspection of the orientation parameters themselves. In his paper published in *Astronomische Nachrichten* (1889b, p. 243) Schiaparelli attaches great relevance to the observation of a great system of spots (labeled *w*, *a, b, k, i* in Fig. 4), approximately in the same apparent position, during six eastern elongations in the period 1882-83.

Of course, these observations strongly support Schiaparelli's conclusion that the planet is corotating because, in such a case during homologous (western or eastern) elongations, the same region of its surface would point toward the Earth, except for small fluctuations caused by libration in longitude. However, suppose we compute (with JPL's ephemerides) the longitude of the observer's subpoint during



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) Comparison between Schiaparelli's drawing of his observation of Mercury on 11.8 August 1882 (Schiaparelli, 1882). (b) The corresponding image obtained from Messenger's map.

Period	**Observer's sub point longitude (deg)**
February 4-10, 1882	73-104
May 24-31, 1882	271-305
September 19-30, 1882	159 -214
May 3-11, 1883	247-284
September 4-8, 1883	161-181
December 20, 1883	4

Tab. 1: Computed values of observer's sub point longitude during six eastern elongations observed by Schiaparelli (1889b, p. 243)

those periods (Tab. 1), we see that in reality, he was observing very different regions (in some instances, opposite faces) of the planet. This fact is confirmed by comparing Schiaparelli's drawings and the corresponding images obtained from Messenger's map. As an example, we include here the images related to two of the observations listed in the table published in the AN paper (Schiaparelli, 1889b, p. 246): observation no. 8 of April 27.9, 1882 (Fig. 1) and no. 16 of August 11.8, 1882 (Fig. 2); in Fig. 3 we position them on Messenger's global map of the surface of the planet; it is clear that the same label *q* has been assigned to two different (and quite far apart) features of the surface of the planet.

4. Conclusions

Schiaparelli, in his attempt to measure the rotation period of Mercury, embarked on a very difficult task at the very edge of what was possible for the observational instruments of his time, both because of the planet's tiny size and his perpetual closeness to the Sun. Working systemically, observing Mercury not only during dawn or dusk but also in the diurnal light, he managed to identify some discernible spots on the surface, thereby proving that the rotation period was not equal to approximately 24 hours (as was believed until that point) but instead much longer. However, when he tried to measure the period

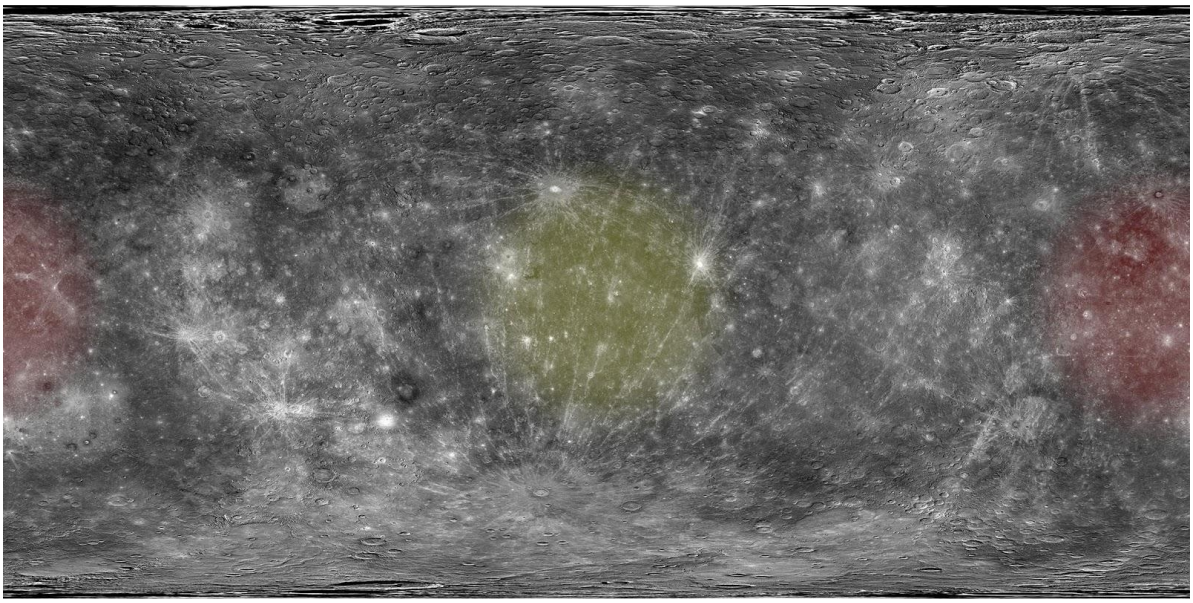


Fig. 3: Identification on Messenger's global map of Mercury of the locations of the observations depicted in Fig. 1 (red shading) and Fig. 2 (yellow shading).

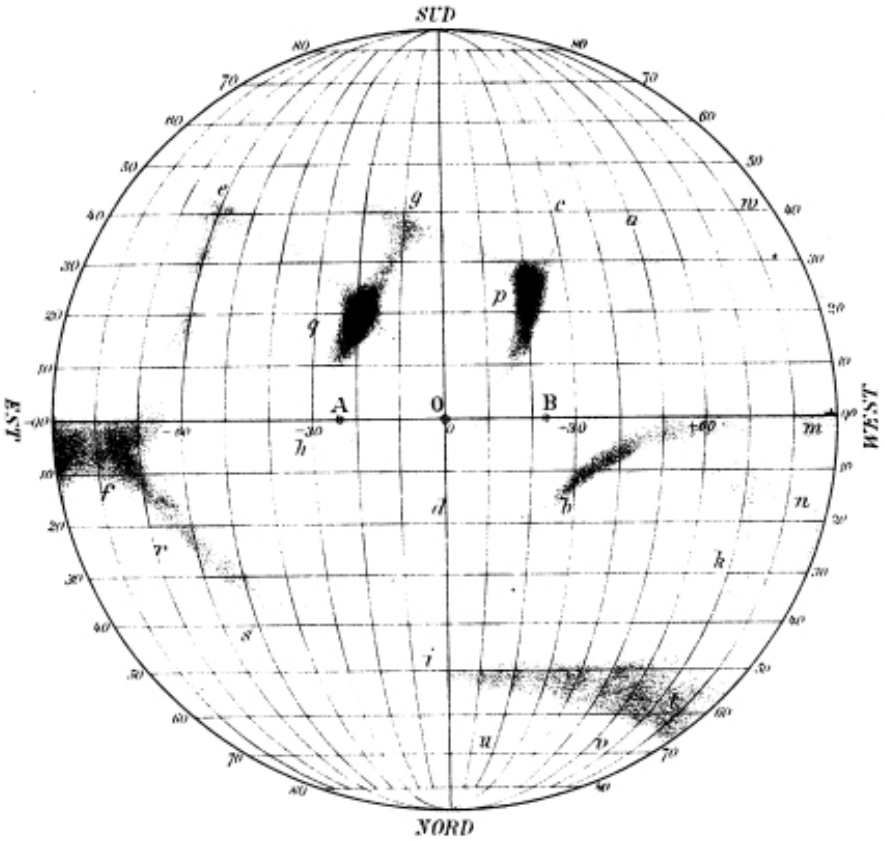


Fig. 4: Planisphere map of Mercury in Schiaparelli, 1889b.

exactly (which would require identifying the same spots from in successive elongations, after some time in which the planet isn't observable) he believed he could identify as a single spot what are in

fact different structures on the planet's surface, sometimes greatly distant from one another, but with a similar appearance. From this, he deduced that the rotation period of Mercury is equal to its revolution period, after being perhaps influenced by George Howard Darwin, who had shown how this condition was reached by natural satellites orbiting very close to their main planet. It is rather significant that the astronomers who observed Mercury after Schiaparelli have all confirmed his conclusions, at least until they were corrected in the 1960s by completely different techniques (radar measurements from Earth and space probes); this came as a great surprise to those in the field of celestial mechanics, who had never encountered a similar case.

Appendix 1. Schiaparelli's poem

Contrary to Cynthia's[2] example, the Cyllenian[3] axis
Maintains an eternal night and an eternal day;
One of the sides is perennially burnt by heat,
The other, hidden in darkness, wants the Sun.

You will no longer be so amazed by torrid Tabropane[4],
Which is tormented by the blazing Titan[5] with his rays,
Nor the frostbitten Riphean mountains[6],
Nor Thule[7], oppressed by the night of the North pole.

A moon which with great contrast indeed burns and freezes,
For what you call months are days for her;
A much unhappy star, that which revolves in the first orbit,
Trapped by a great flame and a great frost.

Bibliography

Antoniadi, E.M. (1934). *La Planète Mercure et la Rotation des Satellites*, Paris: Gauthier-Villars.

Colombo, G. (1965). "Rotational Period of the Planet Mercury", *Nature*, 208, p. 575.

Colombo, G. & Shapiro, I. (1966). "The Rotation of the Planet Mercury", *Astrophysical Journal*, 145, pp. 296-307.

Crowe, M.J. (1986). *The Extraterrestrial Life Debate 1750-1900*, Cambridge: Cambridge University Press.

Defrancesco, S. (1988). Schiaparelli's Determination of the Rotation Period of Mercury: A Reexamination", *Journal of the British Astronomical Association*, 98(3), pp.146-150.

Denning, W.F. (1891). *Telescopic Work for Starlight Evenings*, London: Taylor and Francis.

Holden, E.S. (1890). "Announcement of the Discovery of the Rotation Period of Mercury by M. Schiaparelli", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2(72), pp. 79-82.

[2] Another name for Venus.

[3] "Of Mercury"; the god Hermes was, in Greek mythology, said to be born on Mount Cyllene, in the Peloponnese.

[4] A semi-mythical tropical island described by ancient Greek authors, often identified with Sri Lanka.

[5] Helios, the divine personification of the Sun in Greek mythology, was one of the gods known as Titans.

[6] A mythical mountain range located near Hyperborea, in the very far north of the world according to ancient Greek geographical notions.

[7] A mythical island located in the far north of the world according to ancient Greek geography.

Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory LLC (2016). *Images from Messenger. Highlights Collection*. Available at: messenger.jhuapl.edu (Accessed: August 2024).

Pettengill, G.H. & Dyce R.B. (1965). "A Radar Determination of the Rotation of the Planet Mercury", *Nature*, 206, p. 1240.

Prockter, L.M. & Bedini, P.D. (2010). "The Study of Mercury", in Barbieri, C. *et al.* (ads.) *Galileo's Medicean Moons: their impact on 400 years of discovery*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 141-154.

Schiaparelli, G.V. (1889a). "Sulla rotazione e sulla costituzione fisica del pianeta Mercurio", *Atti della Reale Accademia dei Lincei. Rendiconti*, serie 4, 5, pp. 283-289.

Schiaparelli, G.V. (1889b). "Sulla rotazione di Mercurio", *Astronomische Nachrichten*, 2944, pp. 241-250

Schiaparelli, G.V. (1963). "1: (1877-1889)", in Osservatorio Astronomico di Brera (ed.) *Corrispondenza su Marte*. Pisa: Domus Galilæana.

Sheehan, W. & Baum, R. (1995). "Observations and inference: Johann Hieronymous Schroeter, 1745-1816", *Journal of the British Astronomical Association*, 105(4), pp. 171-175.

Sheehan, W., Boudreau, J. & Manara A. (2011). "A figure in the carpet: Giovanni Schiaparelli's classic observations of Mercury reconsidered in the light of modern CCD images", *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 82, pp. 358-367.

Archival sources

Schiaparelli, G.V. (1882). *Diari osservativi*. Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera, *Fondo G. V. Schiaparelli*, Cart. 493, fasc. 1.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_24, pp. 207–214
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-24

Tempeste solari che incantano e spaventano: viaggio storico-artistico tra le aurore boreali osservate a Napoli

Clementina Sasso[1], Mauro Gargano[2] and Emilia Olostro Cirella[3]

[1]INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, clementina.sasso@inaf.it.
[2]INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, mauro.gargano@inaf.it.
[3]INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, emilia.olostro@inaf.it.

Abstract: The *aurora borealis*, a name Galileo used for the first time to describe the spectacular luminous phenomenon caused by the collision of electrically charged particles from the Sun and gaseous particles in the Earth's atmosphere, has always fascinated scientists for their multiple shapes and colors. Generally, the auroras are visible in the circumpolar areas at high latitudes, but when solar activity is very intense, the aurora can become visible as far away as Italy. In this paper, we report observations made from Naples and its surroundings of the aurora borealis of the last centuries, starting from the one observed in 1737 by Francesco Serao, in his unpublished report, passing through the aurora of 1848 observed and portrayed from the Capodimonte Observatory by Salvatore Fergola and described by Patrelli, the director of the Royal Navy Observatory.

Keywords: History of Astronomy, Solar Physics, Naples, Aurora Borealis

1. Introduzione

Le aurore boreali, o luci polari, hanno da sempre suscitato meraviglia e timore, stimolando curiosità e riflessioni. Sebbene siano più comuni nelle regioni polari, esistono documenti storici che attestano la loro visibilità in aree più a sud, come Napoli, durante periodi di intensa attività solare. La loro osservazione in questa città, documentata tra il XVI e il XX secolo, offre un esempio affascinante di come tali fenomeni abbiano attratto l'attenzione e stimolato la curiosità di scienziati, artisti e della società in generale. Questo lavoro esplora le testimonianze storiche sulle aurore boreali osservate a Napoli e nel Regno delle Due Sicilie, con un'attenzione alle testimonianze di scienziati e artisti dell'epoca, come Salvatore Fergola (1796-1874). Viene discussa l'evoluzione delle spiegazioni scientifiche e la percezione culturale di questi eventi, mettendo in luce l'interazione tra scienza e arte nella comprensione dell'attività solare e dei fenomeni atmosferici ad essa legati.

Le aurore boreali sono fenomeni legati all'attività magnetica del Sole e sono frutto dell'interazione tra le particelle cariche emesse dal Sole, in particolare gli elettroni, e le particelle dell'atmosfera terrestre. L'attività solare ha un ciclo undecennale durante il quale raggiunge un massimo ed un minimo caratterizzati, rispettivamente, da un aumento ed una diminuzione della forza del campo magnetico e quindi degli eventi eruttivi di cui è responsabile. Quando il campo magnetico solare è al suo massimo, infatti, c'è molta più probabilità che si verifichi un'esplusione di massa coronale (o CME, dall'inglese Coronal Mass Ejection) attraverso la quale il Sole manda nello spazio circostante particelle di plasma solare ad altissima velocità, fino a migliaia di km/s. Se la CME è diretta verso Terra ed è particolarmente veloce, le particelle cariche possono penetrare nelle linee del campo magnetico terrestre e approdare ai poli, dove eccitano per collisione gli atomi e le molecole presenti nella parte più alta della nostra atmosfera, in particolare l'ossigeno e l'azoto, dando vita ai fasci di luce colorati delle aurore polari tra gli 80 e i 500 km sopra la superficie terrestre. Alle latitudini più basse, come quella di Napoli, affinché si osservi

un'aurora boreale, la tempesta solare deve essere di grande portata eccitando uno strato molto esteso, in larghezza e in altezza, dell'atmosfera terrestre sulle regioni nordiche. Così da Napoli, guardando il cielo verso nord, è possibile scorgere la parte più alta dell'aurora boreale caratterizzata dal colore rosso, dovuto alla diseccitazione dell'ossigeno.

2. Descrizioni storiche delle aurore boreali

Le Aurore boreali sono fenomeni rari alle latitudini meridionali, ma non meno spettacolari dell'apparizione di una cometa, e fonte di paure ancestrali e di interesse sia scientifico, sia artistico e letterario, al pari delle fugaci visitatrici celesti. Sebbene la causa e la spiegazione della fisica solare e terrestre che ne provoca la formazione sia molto recente, nel 1778, con l'articolo "Aurora Borealis, Suppositions and Conjectures towards forming an Hypothesis for its Explanation" Benjamin Franklin (1706-1790) teorizzò che la causa di un'aurora era nella concentrazione di cariche elettriche nelle regioni polari intensificata dalla neve e dall'umidità nell'aria:

> May not then the great quantity of electricity brought into the polar regions by the clouds... break thro' that low atmosphere and run along in the vacuum over the air towards the equator, diverging as the degrees of longitude enlarge, strongly visible where densest, and becoming less visible as it more diverges; till it finds a passage to the earth in more temperate climates, or is mingled with the upper air?[1] (Goodman, 2021, p. 3)

A Uppsala, Anders Celsius (1701-1744) e Olof Hiorter (1696-1750), nel 1741, associarono le variazioni degli aghi della bussola all'influenza di un'aurora boreale, contribuendo a definire la teoria secondo la quale le "tempeste magnetiche" sono responsabili delle fluttuazioni della bussola. Nell'Ottocento, Angelo Secchi (1818-1878), astronomo del Collegio romano, era convinto dell'esistenza di influenze magnetoelettriche continue del Sole sulla Terra, oggi note come "Sun-Earth Connection", e, come scrisse nel volume *Le Soleil*, che tanto successo ebbe nel mondo, il legame tra la variazione dell'attività solare e del magnetismo terrestre potrebbe essere spiegato attraverso la radiazione termica, o attraverso qualche altro mezzo ancora sconosciuto, ad esempio, l'induzione elettrodinamica, producendo alcuni fenomeni meteorologici ed elettrici sul nostro globo. Sebbene le cause fisiche di queste connessioni fossero ancora poco chiare, la comparsa simultanea di aurore boreali e perturbazioni geomagnetiche, spesso osservate durante il massimo dell'attività solare, ha ulteriormente confermato questo collegamento. La propagazione delle onde elettromagnetiche attraverso l'etere teorizzata da James Maxwell (1831-1879) nel 1864 fu richiamata anche da Secchi nei suoi trattati pur avendo verso questa ipotesi scientifica un atteggiamento prudente (Chinnici, 2018).

2.1. Eventi del XVI e XVII secolo

La prima descrizione scientifica dell'aurora boreale, di nostra conoscenza, risale al 1580, quando Marcello Squarcialupi (1538-1592ca.), medico italiano alla corte del principe di Transilvania, documentò nell'opera *De coeli ardore* un'aurora osservata il 10 settembre di quell'anno:

> Certissimum est omnia fuisse maiora, & creuisse puniceas maculas, quo longius ab Orizonte Sol ad medium coeli sub altero orbe rapiebantur. In tantum, ut media nocte, hora XI. & XII. punicei coloris, & pulcherrimi plane cruoris formae texerint dimidiam fere coeli partem. [2] (Squarcialupi, 1581)

[1] Tradotto: Non potrebbe allora la grande quantità di elettricità portata nelle regioni polari dalle nuvole... rompere quella bassa atmosfera e scorrere nel vuoto sopra l'aria verso l'equatore, divergendo man mano che aumentano i gradi di longitudine, fortemente visibile dove è più densa e diventando meno visibile man mano che diverge; finché non trova un passaggio verso la terra nei climi più temperati o non si mescola con l'aria superiore?

[2] Tradotto: È certo che più il Sole si avvicinava al tramonto verso la parte opposta della Terra, più il fenomeno cresceva e le macchie scarlatte apparivano chiaramente. Tanto che a metà della notte, intorno alle ore 11-12, il color cremisi e le bellissime forme rosso sangue coprivano quasi metà del cielo.

Squarcialupi non era nuovo a osservazioni di eventi astronomici e a discussioni sulla natura dei fenomeni. Nel 1577 aveva osservato la cometa che avrebbe permesso a Tycho Brahe (1546-1601), Michael Maestlin (1550-1631), professore di Keplero (1571-1630) a Tubinga, e a Christoph Rothmann (1560-1601), matematico del langravio di Kassel Guglielmo IV d'Assia, di dimostrare come quella cometa non rispondesse alla fisica aristotelica, avendo un'orbita ultra lunare.

Fig. 1: Bartholomäus Käppeler & Johann Jakob Wic,. Ein groß vn sehr erschröcklichs Wunderzeychen/ so man im Jar 1580. den 10. September/ in der Keyserlichen Reichsstatt Augspurg/ nach vndergang der Sonnen/ an dem Himel/ gar eygentlich gesehen hat. Zü Augspurg: bey Bartholme Käppeler, 1580 (Zentralbibliothek Zürich, *Graphische Sammlung*, PAS II 17/13)

Per il volume *De Cometis dissertationes novae...* (ex officina L. Ostenij, sumptibus P. Pernae, 1580), il medico del principe Stefano Báthory (1533-1586) scrisse il *De cometa in universum opinio* in cui criticò la dottrina peripatetica della natura sublunare delle comete, secondo la quale le comete erano generate dalla condensazione di vapori, e la pratica divinatoria, posizione insolita rispetto all'opinione prevalente del tempo, bollando come superstiziosa ogni credenza che collegasse l'apparizione delle comete a segni profetici e disastri (Omodeo, 2013). Con analogo interesse e attenzione, Squarcialupi descrisse nel *De coeli ardore* dettagliatamente il fenomeno dell'aurora, fornendo dati esatti tratti dalle sue personali osservazioni su tempo, direzione, forma, colore e variabilità dell'aurora. Sebbene i naturalisti chiamassero l'evento astronomico "fuoco celeste", per Squarcialupi il fenomeno non aveva nulla a che fare con i cieli o le stelle: il cielo non può bruciare. Seguendo una visione aristotelica, lo considerò un fenomeno meteorologico dovuto a esalazioni di vapori che bruciavano insieme all'aria circostante, finché era disponibile materiale che alimentava il fuoco (Kázmér & Timár, 2016). Anche in questo caso, sottolineando quanto il fenomeno fosse naturale, al pari delle nuvole e delle piogge, confutò qualsiasi relazione tra il "fuoco celeste" e i miracoli divini.

Quarant'anni dopo, collaborando alla stesura del testo *Discorso delle comete* di Mario Guiducci (1583-1646), suo discepolo e amico, per difendere la validità del modello copernicano, Galileo Galilei (1564-1642) utilizzò per la prima volta il termine "aurora" per descrivere un fenomeno luminoso osservato verso nord:

> Anzi di simil sublimazioni di fumi, vapori, esalazioni, o di qualsisieno altre sottili, e leggier materie elementari, parmi, che spesse volte ne abbiamo ancora degli altri rincontri, e so, Accademici, che molti di voi auranno più d'una volta veduto 'l Cielo nell'ore notturne, nelle parti verso Settentrione, illuminato... [l'aria vaporosa] sublimandosi assai più del suo consueto, abbia sormontato il cono dell'ombra terrestre, sì che essendo la sua parte superiore ferita dal Sole abbia potuto rifletterci il suo splendore, e formarci questa boreale aurora. (Guiducci, 1619, p. 39)

Galileo ritiene, quindi, che il fenomeno sia dovuto alla riflessione del Sole sull'aria, carica di vapore acqueo, che è salita fino all'atmosfera più alta.

Se per Aristotele erano "strappi del cielo notturno dietro i quali si vedono delle fiamme" e per Seneca "voragini attraverso le quali il cielo socchiuso sembra vomitare fiamme", l'astronomo e teologo francese Pierre Gassendi (1592-1655) fornì una descrizione dell'aurora boreale vista ad Aix-en-Provence

nell'agosto 1621. Nella biografia di Nicolas-Claude Fabri de Peiresc, Gassendi scrive che "nella notte tra il 12 e il 13, vi era un notevole chiarore che occupava la parte settentrionale del cielo al punto da imitare, per molte ore, l'alba più brillante" (Gassendi, 1641, p. 185). Nel 1637 René Descartes (1596-1650) pubblicò un'opera intitolata *Les Météores* in cui descriveva le aurore come nuvole o vapori illuminati dalla luce solare. Nel 1731, Jean-Jacques Dortous de Mairan (1678-1771) evoca nel *Traité physique et historique de l'aurore boréale* le aurore australi, non ancora scoperte, e, constatando che questi fenomeni riguardano soprattutto i poli, le generalizza in "aurore polari" (Cirou *et al.*, 2021). Queste prime testimonianze, che dimostrano l'attenzione della comunità scientifica verso questi fenomeni astronomici, segnano un cambio di paradigma rispetto alle spiegazioni puramente soprannaturali o mitologiche.

2.2. *Eventi del XVIII secolo*

Tuttavia, le spiegazioni di Squarcialupi, Galilei e Gassendi restano comunque le prime isolate voci di scienziati rispetto alle spiegazioni fantasiose del fenomeno dell'aurora che troviamo ancora nel Secolo dei Lumi. Ad esempio, nei componimenti di Francesco Antonio Zianni per le celebrazioni delle nozze di Carlo di Borbone con Maria Amalia di Sassonia del 1738, oltre alla meraviglia suscitata da questi fenomeni, la comparsa dell'aurora boreale di quell'anno venne associata a un presagio favorevole per le nozze, visto che la sposa proveniva dalle regioni del nord come le aurore.

> Ravvisai, che il Cielo medesimo, in cui degli Uomini e delle Donne i nodi si stringono, avea dato a Noi il presagio delle faustissime Nozze con far comparire a mezo Dicembre da Settentrione. . . una smisurata misteriosa irradiazione, la quale *Aurora Boreale* chiamiamo. . . m'internai più nella contemplazione delle Lettere, le quali sopravanzavano, e trovai felicemente, che la Boreale notturna Aurora, prenunzia delle Reali Nozze (Zianni, 1738, p. 5)

Il testo è anche ricco di sonetti dedicati alle nozze reali con diretti riferimenti augurali all'aurora boreale:

Era la notte allor, che venne fuora
Dal Polo boreal novella luce.
Si fa d'argento il Cielo, indi s'indora,
Si tigne poi di sangue, e orrore adduce.
Pensa ciascuno e dice: Ahi giunta è l'ora
Che si risolva il Mondo. Allor riluce
Un nuovo spirto in me: Questa è l'Aurora,
Dissi, del giorno Messaggiera, e Duce.
... (Zianni, 1738, p. 10)

Si tratta dell'apparizione dell'aurora boreale nel cielo di Napoli del 16 dicembre 1737. Il fenomeno fu osservato in molte città italiane, a Venezia da Eusebio Sguario[3] con le sue dissertazioni sul cielo "ripieno di molta luce, e di colonne che sembravano ardere di vivo fuoco!" (Sguario, 1738, p. 5), a Padova da Giovanni Poleni e da Francesco Bosellini, a Bologna da Eustachio Zanotti, a Verona da Domenico Vallarsi e a Roma da Gianfrancesco Baldini (Poleni, 1738).

A Napoli l'apparizione dell'aurora fu documentata da Francesco Serao (1702-1783), professore di anatomia e di medicina all'Università, segretario dell'Accademia delle Scienze fondata nel 1732 da Celestino Galiani (1681-1753), di cui il suo maestro Niccolò Cirillo (1671-1735) era stato il primo presidente. In una lettera inedita inviata a Galiani, Serao descrisse il fenomeno con grande precisione, evidenziando l'interesse che questi spettacoli naturali suscitavano nella società e tra i membri dell'Accademia stessa:

> al far della notte cominciò a vedersi un chiarore indistinto verso settentrione che dall'orizzonte si diffondeva per quella parte di Cielo... [che] rappresentava un'Aurora chiarissima: ma distendevasi poi in arco concentrico a quel dell'Aurora un altro genere di Lume infocato, che parea giungere allora forse a' 30 gradi del Cielo... Verso le tre e mezzo, restando Lume chiaro... [e] quelle striscie di luce più chiara, di un color latteo lucente erano più spesse, e convergenti. (Serao, 1737)

[3] Il testo di Sguario riporta anche una *Tabella delle Aurore boreali del sig. Mairan* comparse dal 1500 al 1731con la distrubuzione delle osservazioni nei vari mesi, per un totale di 234 aurore boreali.

La lettera di Serao preannunciava a Galiani una comunicazione più completa ed esaustiva di Pietro di Martino (1707-1746), professore di Astronomia all'Università e membro della stessa Accademia, comunicazione che però non vide mai la luce forse perché all'Accademia se ne perse traccia, non usando pubblicare i rendiconti o gli atti delle sedute. Un'altra manifestazione aurorale, quella del 6 ottobre 1771, viene riportata dal giornale *Notizie dal mondo* e descritta in questo modo: "dopo una breve minuta pioggia si accese l'Atmosfera tra Oriente, e Mezzogiorno, e rendeva una luce che pareva che fosse giorno chiaro. Qualche baleno che di quando in quando si faceva vedere, ne raddoppiava il lume, e il Popolo poco, o nulla conoscitore di tali Fenomeni naturali si mise in qualche spavento" (*Napoli...*, 1771). Interessante anche l'esperienza fatta da Saverio Poli (1746-1825) a Londra che, scrivendo a Giovanni Vivenzio (1737-1819), dice di averne osservate molte "rimarchevoli nella vivacità dello splendore... [con] vibranti raggi lanciati in su" che gli osservatori italiani non possono avere "un'adeguata idea di aurore cosiffatte" (Poli, 1779). Ulteriori fenomeni boreali furono descritti da Manovel Maria Poeta, professore di filosofia e medicina a Napoli e figlio di Gioacchino, in una lettera a Felice Fontana (1730-1805), il 13 maggio e poi il 13 luglio 1787 quando "comparve nuovamente più grande, più luminosa di maggiore estensione, e di più lunga durata... [e poi] dilatossi ampiamente, e si caricò di sanguigno colore" (Poeta, 1788).

2.3. Eventi del XIX secolo

Le Osservazioni tra il 17 e il 18 novembre 1848 di Mario Patrelli e le rappresentazioni artistiche di Salvatore Fergola completano il quadro storico sul fenomeno visto da Napoli. Il 1848 era stato un anno difficile in Italia, vissuto tra speranze di nuove libertà civili e politiche e implacabili repressioni che colpirono intellettuali e scienziati napoletani, tra i quali Ernesto Capocci (1798-1864), destituito dal ruolo di direttore dell'Osservatorio di Capodimonte. L'apparizione dello spettacolo aurorale rappresentò forse un segno di un possibile "clima" nuovo; come scrisse Salvatore Di Giacomo (1860-1934): "Era una calda sera e il fuoco d'un sanguigno tramonto riverberava sulle colline e sulle case... fantastico simulacro d'un'idea respinta, combattuta e soffocata - un'idea che forse avea voluto esser grande" (Di Giacomo, 1903, p. 52).

Il capitano di Fregata Patrelli, direttore del Real Osservatorio di Marina, osservò l'aurora registrando lo stato meteorologico del cielo, descritto come illuminato da un leggero vapore rossastro che si diffondeva fin dietro le colline di Napoli:

> Il cielo era nitidissimo, ed in piena quiete era l'atmosfera... [alle 22:09] fu uno splendore purpureo nella regione settentrionale del cielo, paragonabile al riverbero che tramanda una densa atmosfera, rischiarata dalla luce di un vasto incendio ... ben presto acquistò una movenza, ed una variabilità continua, mostrando in diversi punti, ora il cielo nel suo naturale colore, ma di una limpidezza vaghissima, ora addensamento del purpureo vapore, talvolta era strisciata di fasce verticali, o rosse a diversa gradazione di densità, o di luce gialla e bianca frammischiata di strisce rossastre, le quali fasce avevano tutte una direzione perpendicolare all'orizzonte... a $0^h.25^m$ della mattina si è dileguata affatto. (Patrelli, 1848)

Questa descrizione scientifica del fenomeno fu seguita da due dipinti di Fergola, tra i massimi esponenti della "scuola di Posillipo", che catturò l'atmosfera dell'evento con straordinaria accuratezza. Nei due dipinti si può notare come il secondo sia caratterizzato da un colore rosso più acceso che potrebbe significare l'arrivo di una sotto tempesta geomagnetica che abbia "acceso" l'aurora (Chinnici & Gargano, 2018). Anche i giornali umoristici napoletani dell'epoca diedero una originale spiegazione dello straodinario fenomeno:

> tutto l'orizzonte era in fiamme, il cielo pareva una fornace, e le stelle tremavano per la paura. Scommetto che se nelle stelle ci sono botteghe; tutti i botteghieri le chiusero di fretta, come si fa da noi... Ma per buona fortuna il rosso cominciò ad arrestarsi ne' limiti regolari, e coll'avanzar dell'ora, si schiarò il cielo, si vide l'azzurro ed il bianco dell'aurora, e si capì ch'era un principio d'intervento francese, il quale come sapete, non è che una meteora, e tanto dura. (*Il Cielo*, 1848)

Il 1 settembre 1859 Richard Carrington (1826-1875), osservando e studiando un gruppo particolarmente attivo di macchie solari e un forte brillamento sulla superficie del Sole, ipotizzò una correlazione con la formazione di spettacolari aurore anche a basse latitudini, accompagnate da guasti e incendi improvvisi delle linee del telegrafo in tutto il mondo. Angelo Secchi a Roma osservò il fenomeno, mentre non ci sono riscontri di osservazioni del Sole e racconti di un'aurora a Napoli. Infatti, solo un mese dopo, Patrelli osservò, dalle 18:47 per 43 minuti, che "verso Borea si è mostrata la volta celeste invasa da una leggiera tinta purpurea che occupava sull'orizzonte... un arco di circa 12.°... successivamente questa tinta è divenuta risplendente ed ha acquistata una certa movenza, dilatandosi come fluttuante, maggiormente verso Occidente su di un arco di orizzonte di 20.° circa" (Patrelli, 1859).

Tra le altre aurore boreali viste a Napoli, si annovera anche quella "bellissima" del 5 febbraio 1872 che "determina un gran panico nel popolino". Anche Secchi a Roma fece un'accurata osservazione scientifica che "è così straordinaria, per i nostri climi, che merita di esser tramandata ai posteri colle particolarità tutte che vennero possibilmente segnalate durante la sua apparizione" (Berrilli & Giovannelli, 2022).

(a) **(b)**

Fig. 2: L'aurora boreale osservata "il 17 novembre 1848 dall'Osservatorio Reale di Capodimonte" di Salvatore Fergola. Olio su tela. Collezione privata

2.4. Eventi del XX secolo

Nel gennaio 1938, nella notte tra il 25 e il 26, un'aurora boreale di grande intensità apparve nei cieli di Napoli. All'Osservatorio di Capodimonte, l'astronomo Eugenio Guerrieri (1874-1957) definì l'aurora "veramente splendida... [da] considerarsi come fenomeno straordinario per la sua magnificenza" (Guerrieri, 1938). Guerrieri annotò anche che, sia prima che dopo quella notte, aveva visto dalla terrazza dell'Osservatorio luci aurorali estese nelle regioni del cielo sopra le colline nord-occidentali di Napoli. Le cronache descrivono un cielo brillante di una luce rossastra e drappeggiata, visibile da diversi punti della città e delle aree circostanti. Questo evento è particolarmente rilevante poiché si verificò in un periodo di forte attività solare e dimostra la connessione tra osservazioni storiche e studi moderni sui cicli solari. Nella sua relazione, Guerrieri indica di aver seguito dalla terrazza dell'Osservatorio di Capodimonte un'altra aurora osservata il 17 aprile, giorno di Pasqua: "Una luce aurorale di magnifico effetto fu notata nella sera del 17 aprile (Pasqua) del 1938, nella direzione tra il nord-est e l'est nord est: luce bianca di argento, molto sfumata ai bordi... la luce era bordata da colorazione verde cupo e si attenuava un poco prima del sorgere della Luna; cielo sereno splendido" (Guerrieri, 1938).

Giornali e riviste dell'epoca raccontarono lo stupore suscitato dal meraviglioso fenomeno in tutta Italia. La *Domenica del Corriere* dedicò una copertina realizzata dal pittore Aldo Raimonti alla "Stupenda aurora boreale apparsa verso le 21 del 25 gennaio in tutta Europa", così come fece Luigi Russolo, esponente dell'arte e della musica futuriste, con un dipinto che coniuga le linee futuriste ad ambientazioni sospese. I raggi di luce, che irradiano

da dietro i monti, si fondono meravigliosamente con le stelle di un cielo rosso e blu.

Fig. 3: "Aurora boreale", Luigi Russolo, 1938. Olio su tela

Infine l'osservazione dell'aurora boreale del gennaio 1957 fatta nella stazione svedese di Anacapri da Teresa Fortini e Karen Bjerke. Le astronome, insieme allo studio dei brillamenti solari, osservarono la comparsa di "un'aurora boreale di particolare bellezza che poco dopo le 21^h TMEC era particolarmente cospicua e molto intensa nel rosso". Registrarono anche un aumento dell'attività magnetica che ebbe "una improvvisa recrudescenza" provocando, nel nord Europa. non pochi effetti sulle linee elettriche e ferroviarie e sui cavi telefonici (Fortini & Bjerk, 1957). Entrambi gli eventi geomagnetici del 1938 e del 1957 sono associati a un indice K_p[4] di 8.667, livello severo, su una scala che va da 0 a 10.

3. Conclusioni

L'analisi delle testimonianze storiche e artistiche delle aurore boreali osservate a Napoli evidenzia quanto questi fenomeni abbiano affascinato generazioni e stimolato la riflessione su temi naturali e scientifici. Alle dettagliate e realistiche descrizioni tramandate nell'arco di quasi cinque secoli da letterati, filosofi e scienziati, si sovrappongono perfettamente le immagini spettacolari dell'aurora boreale che Salvatore Fergola nel 1848 immortalò in due differenti tele, contribuendo alla percezione artistica e culturale del fenomeno attraverso non solo l'osservazione, ma anche l'interpretazione emozionale degli eventi. Infatti, nel dipinto in cui Fergola rappresentò l'aurora utilizzando una tavolozza dai colori più intensi, si intravedono in primo piano una piccola edicola votiva e un gruppo di persone lì raccolte a pregare, testimonianza diretta della reazione emozionale che il fenomeno suscitò nelle persone (vedi Fig. 2b). Dopo Fergola altri artisti hanno contribuito con le loro opere all'interpretazione di fenomeni rari e spettacolari, intrecciando arte e scienza in un dialogo profondo. Ne sono esempi brillanti Luigi Russolo e Giulio Parisio: il primo nel suo dipinto sull'aurora rifletteva la percezione di una natura potente e imprevedibile attraverso l'uso di colori vivi e dettagli dinamici; il secondo, definito da Marinetti il più futurista dei fotografi napoletani, realizzò una lastra al bromuro d'argento dal titolo "Aurora boreale" (1930), considerata un poema di strana suggestione e di fine umorismo. Per concludere, collegare le testimonianze storiche e artistiche alle moderne conoscenze sull'attività solare offre una prospettiva unica per studiare l'interazione tra scienza, arte e cultura e stimola a conservare e valorizzare la memoria storica per future ricerche.

Bibliografia

Berrilli, F. & Giovannelli, L. (2022). "The Great Aurora of 4 February 1872 observed by Angelo Secchi in Rome", *Journal of Space Weather and Space Climate*, 12, 3.

[4] L'indice K_p è stato introdotto nel 1949 dal geofisico Julius Bartels; esso indica su una scala quasi-logaritmica l'attività magnetica calcolata come media pesata dai valori misurati presso 13 osservatori su un intervallo di tre ore. Il Deutsches GeoForschungsZentrum fornisce sia i valori ufficiali dell'indice sia le previsioni.

Chinnici, I. (2019). *Decoding the stars: a biography of Angelo Secchi, Jesuit and scientist*. Leiden, Boston: Brill.

Chinnici, I. & Gargano, M. (2018). "L'aurora boreale osservata a Napoli", in Chinnici I. (a cura di), *Tra cielo e terra: l'avventura scientifica di Angelo Secchi*. Napoli: Arte'm, p.27.

Cirou, A. *et al.* (2021). *Météorologie de l'espace*. De Boeck Supérieur.

Di Giacomo, S. (1903). *Il Quarantotto*. Napoli: Pei tipi Bideri.

Fortini, T. & Bjerke, K. (1957). "Il brillamento solare del 20 gennaio e l'aurora boreale del 21-22 gennaio 1957", *Coelum*, XXV(7-8), pp. 111-113.

Gassendi, P. (1641). *Viri illustris Nicolai Claudii Fabricii de Peiresc, senatoris Aquisextiensis vita*. Parisiis: sumptibus Sebastiani Cramoisy.

Goodman, N. (ed.) (2011). *The Ingenious Dr. Franklin*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

Guerrieri, E. (1938). "La grande aurora boreale del 25-26 gennaio 1938: Connessione tra aurore polari, macchie solari e perturbazioni elettro-magnetiche", in R. Osservatorio Astronomico di Capodimonte-Napoli (a cura di), *Contributi astronomici*, Serie 2, 1(22), pp. 245-264.

Guiducci, M. (1619). *Discorso delle Comete di Mario Guiducci fatto da lui nell'Accademia fiorentina nel suo medesimo consolato*. In Firenze: nella stamperia di Pietro Cecconcelli, alle stelle medicee.

Kázmér, M. & Timár, G. (2016). "The first scientific description of aurora borealis: the 10 September 1580 event in Transylvania, recorded by Marcello Squarcialupi", *Geoscience Letters*, 3, 15.

"Il Cielo" 1848, *L'arlecchino*, I(4), 16 novembre, p. 740.

"Napoli. 8 Ottobre" (1771), *Notizie dal mondo*, 83, p. 648.

Omodeo, P.D. (2013). *L'iter europeo del matematico e medico scozzese Duncan Liddel*. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 438.

Patrelli, M. (1848). "Relazione dell'aurora boreale osservata in Napoli la sera del 17 novembre 1848 dall'Osservatorio Astronomico della Reale Marina", *Rendiconto delle adunanze e de' lavori dell'Accademia napolitana delle scienze*, 7, pp. 383-388.

Patrelli, M. (1859). "Relazione dell'aurora boreale osservata la sera del 12 ottobre 1859 dal Reale Osservatorio di Marina di Napoli", *Annali civili del Regno delle due Sicilie*, 67, pp. 158.

Poeta, M.M. (1788). "Sopra l'Aurora Boreale che osservossi in Napoli...", *Novelle letterarie*, 19(30), pp. 490-491.

Poleni, G. (1738). *Sopra l'aurora boreale comparsa il dì 16 Dicembre, l'anno 1737*. In Venezia: appresso Pietro Bassaglia, al segno della Salamandra.

Poli, G.S. (1779). " Su una straordinaria Aurora Boreale", in *Opuscoli scelti sulle science e sulle Arti*, vol. II. In Milano: Presso Giuseppe Marelli, pp. 382-386.

Sguario, E. (1738). *Dissertazione sopra le aurore boreali, dove con sistema particolare fondato sopra i newtoniani principj, sopra le leggi della meccanica, e sopra le migliori, e piu accurate osservazioni si tratta delle medesime...* In Venezia: appresso Pietro Bassaglia, all'insegna della Salamandra.

Squarcialupi, M. (1581). *De coeli ardore, hoc anno 1580. X. Septembris die, in Dacia viso*. Impressum Cibinii. Transylvaniae: in officina Georgij Greus.

Zianni, F.A. (1738). *Per le faustissime nozze di Carlo Borbone, re di Napoli, di Sicilia, di Gerusalemme, &c. con Maria-Amalia Walburga Real Principessa di Polonia e di Sassonia*. In Napoli.

Fonti d'archivio

Serao. F. (1737). Lettera a Celestino Galiani, 17 dicembre. Società Napoletana di Storia Patria. *Manoscritti Galiani*, XXXI.A.06

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_25, pp. 215–224
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-25

Scienze astronomiche e diplomazia scientifica: Giuseppe Lorenzoni e la pratica geodetica post-unitaria (1865-1875)

Martina Schiavon[1]

[1]Université de Lorraine (Archives H. Poincaré, PREST UMR 7117 CNRS & Institut National du Professorat et de l'Éducation de Lorraine), Paris, martina.schiavon@univ-lorraine.fr.

Abstract: Director of the Padua Specola from 1878 to 1913, Giuseppe Lorenzoni (1843-1914) became a "full member" of the Italian geodetic commission in June 1873. His archives allow us to reconstruct what was "geodesic practice" in the second half of the XIXth Century. After recalling some of the major debates that led, in Europe, to the creation of the Mitteleuropäischen Gradmessung in 1864, I will present how Lorenzoni entered into the major European geodesic operations. A work in progress, here limited to 1865-1875, that illustrates the inextricable links between astronomical science, politics and scientific diplomacy.

Keywords: Giuseppe Lorenzoni, Italian Geodetic Commission, Mittel-Europäische Gradmessung, Science Diplomacy

1. Introduzione

La storia della geodesia italiana è generalmente poco conosciuta, in particolare nel suo contributo allo sviluppo dell'astronomia post-unitaria. I rari studi che l'hanno incrociata al XIX secolo, ne hanno quasi esclusivamente sottolineato la tenuta di lavori cartografici essenzialmente militari. Il fatto poi che la Commissione geodetica italiana sia stata presieduta da un generale militare, sembrerebbe confermare lo scarso interesse del governo in questioni scientifiche e di interesse collettivo, come la cartografia ad uso civile.

In questa comunicazione, si considera la geodesia come un oggetto da definire: cosa significa praticare geodesia nel XIX secolo? Chi la praticava, dove e per quali ragioni?

Queste domande sembrano essenziali. Infatti, vista sul tempo lungo, la geodesia si è evoluta. Se oggi è essenzialmente teorica e matematica, fino alla fine della Prima Guerra mondiale era soprattutto una disciplina praticata all'aperto, sul terreno. Faceva parte di un insieme di discipline generalmente praticate in un osservatorio astronomico, che possiamo indicare come scienze astronomiche, e che oggi chiamiamo astronomia, meteorologia, metrologia, scienze della terra, studio della strumentazione scientifica di precisione, ecc. D'altra parte, nel XIX secolo, è difficile fare una distinzione tra discipline come la geodesia, la topografia e la cartografia, tanto sono interdipendenti l'una dall'altra, se non fosse per il diverso statuto professionale, e dunque la diversa autorità scientifica, di chi le praticava (Schiavon, 2014a, capp. 1-2; Schiavon, 2018).

Nella prima parte di questo contributo si presenta la Commissione italiana per la misura del grado, creata nel 1865 in seguito all'adesione dell'Italia alla *Mittel-Eropäische Gradmessung*[1] . Nella seconda parte, appoggiandomi sul fondo archivistico Lorenzoni conservato all'Osservatorio astronomico di

[1] Nel 1867, dopo l'adesione della Spagna e del Portogallo, la Mittel-Europäische Gradmessung assume il nome di Europaïsche Gradmessung; nel 1887, dopo l'adesione del Giappone e degli Stati Uniti d'America, il nome diventa Internationale Erdmessung. Infine, dopo il 1919, si parla di Associazione geodetica internazionale come parte dell'Unione geodetica e geofisica internazionale (Schiavon, 2021).

Padova e che sto attualmente studiando[2], si presenta come l'astronomo Giuseppe Lorenzoni divenne membro della Commissione italiana. Quest'articolo è un work in progress in cui studierò sul tempo lungo il contributo in geodesia dei diversi membri componenti la Commissione italiana.

2. Geodesia nel XIX secolo: le istituzioni

Presieduta dal luogotenente generale Giuseppe Ricci (1811-1881), la Commissione italiana è inizialmente composta da Giovan Battista Donati, Annibale De Gasparis e Giovanni Virginio Schiaparelli (rispettivamente direttori degli Osservatori astronomici di Firenze, Napoli e Milano), dal professor Federico Schiavoni e dal colonnello Ezio De Vecchi segretario. Tra questi, Schiaparelli occupa una posizione autorevole poiché è il solo membro eletto alla Commissione permanente della Confederazione europea. La Commissione si appoggia sull'adesione alla Confederazione per chiedere al governo che gli osservatorii italiani siano dotati di strumenti e personale adeguati.

Le riunioni della Commissione italiana, oltre a far capire cosa si intende per pratica geodetica in questo periodo, offrono un'interessante visione della politica scientifica in Italia in risonanza con le proposte per la misura del grado medio europeo.

2.1. Cos'è la geodesia nel XIX secolo?

Dal greco $\gamma\epsilon\omega\delta\alpha\iota\sigma\iota\sigma$ (dividere la terra), la geodesia indica etimologicamente l'arte di dividere i terreni (l'odierna agrimensura). Le sue misure, sinonimo di precisione nel XIX secolo, si iscrivono nell'ambito delle ricerche sulla forma e sulle dimensioni della Terra, e consistono in due operazioni tipiche: la misura di un arco di parallelo o di meridiano terrestre. Si intende risolvere (o calcolare), i lati e gli angoli di una catena di triangoli che ricoprono un arco di parallelo o di meridiano terrestre[3]. Sul terreno le operazioni sono comunque più complesse di quelle qui descritte: il geodeta infatti deve misurare esattamente la lunghezza di un lato di un triangolo (base) servendosi di un'unità di misura lineare che è definita *localmente*. Anche se le condizioni meteorologiche sono variabili, il geodeta deve pure servirsi di strumenti di una grande precisione per determinare, per esempio, l'ampiezza degli angoli di ogni triangolo. Inoltre deve saper realizzare delle "osservazioni astronomiche" quali la determinazione della differenza di longitudine, l'osservazione della latitudine e dell'azimut, per poter orientare e collocare correttamente i dati rilevati sull'ellissoide di riferimento (o sferoide, che rappresenta teoricamente la figura della Terra). Questo può farci intuire perché le operazioni di geodesia nel XIX secolo siano lunghe e costose, e perché richiedano un personale altamente specializzato. Per illustrare la complessità di un'operazione geodetica, Henri Poincaré, che si interessò lungamente alla geodesia, diceva che se si chiedesse ad un parlamentare se la "precisione cercata nello studio della forma e delle dimensioni della terra sia un lusso inutile" o a che "cosa serve" la geodesia, questi avrebbe senz'altro risposto: "sono convinto che la geodesia è una delle scienze le più utili, perché è una di quelle che ci costano di più". A cui aggiungeva, come in una formula matematica: "senza geodesia, nessuna carta affidabile; senza una buona carta, nessuna grande opera pubblica" (Poincaré, 1900; Schiavon, 2014b; 2018).

l progetto di misura del grado europeo presentato dal generale Baeyer al governo prussiano nel 1861, ci fa capire che un'operazione geodetica non si puo' limitare ad un singolo Stato: la catena di triangoli che da Cristiania, l'attuale Oslo, ricopre l'Europa si estende fino alla Sicilia! Degli accordi diplomatici

[2] La serie *Commissione geodetica e Istituto geografico militare*, comporta 45 fascicoli in buste sul periodo compreso tra giugno 1865 e dicembre 1953.

[3] Se un triangolo è supposto piano, si considera geometricamente risolto quando si conosce la lunghezza di un lato, detto base, e l'osservazione orizzontale di due angoli. Dalla triangolazione si deduce poi l'appiattimento teorico f della Terra, $f = (a-b)/a$, dove a e b sono rispettivamente i valori dei semi assi maggiore e minore dell'ellissoide di riferimento, figura matematica che si suppone avere la Terra (Schiavon, 2014b).

sono necessari non solamente per insediarsi sul terreno e per poter disporre di risorse locali (quali l'uso della rete telegrafica per la determinazione dell'ora), ma anche perché un'osservazione geodetica è sempre riferita ad un'origine che è propria ad ogni singolo Stato. Le osservazioni sono realizzate con metodi e strumenti diversi e specifici ad ogni nazione e osservatore. Insomma, i dati geodetici raccolti sul terreno non sono direttamente trasferibili da una nazione ad un'altra: per eliminare questo problema si deve allora poter triangolare uno stesso luogo con strumenti e osservatori diversi, operazione detta "giunzione geodetica" (Schiavon, 2010), oppure, come si propone di fare la Confederazione, stabilire tramite degli accordi scientifico-diplomatici, quali strumenti e metodi comuni si dovranno utilizzare sul terreno. L'adesione dell'Italia alla Confederazione rappresenta dunque un'opportunità unica non solo per equipaggiare di strumenti moderni gli osservatori ma anche per federarli, cioè riunirli su un progetto comune che fornirà una rete sulla quale stabilire una nuova cartina aggiornata del paese unificato (che servirà a 'controllarlo' meglio). Ricordo inoltre che, malgrado i costi ed i tempi lunghi, le scienze dell'Occidente, in particolare europee, considerano la triangolazione geodetica necessaria, almeno fino alla Prima Guerra mondiale, per eseguire delle carte precise di un territorio di grande estensione (maggiore di 100 km^2) sul quale si deve quindi prendere in conto la curvatura della Terra.

2.1.1. La "geodesia tedesca"

Si è visto che Schiaparelli figura tra i membri della Commissione italiana riunita a Torino nel 1865: ciò è senz'altro dovuto alla sua formazione. Dopo gli studi al Politecnico di Torino, Schiaparelli aveva infatti beneficiato di un viaggio di formazione dapprima presso Johan Franz Encke, direttore dell'Osservatorio di Berlino, e successivamente a Pulkovo (San Pietroburgo) dagli Struve, ciò che gli permise di stabilire dei contatti importanti: da Encke, per esempio, in quel periodo si trova anche Adolphe Hirsch, figura essenziale nella creazione della Confederazione geodetica e del *Bureau international des poids et mesures* (nonché futuro direttore dell'Osservatorio di Neuchâtel). Non sorprenderà dunque di trovare Schiaparelli membro della Commissione permanente alla Confederazione geodetica già dal 1864, ove rappresenta il suo paese di appartenenza quale "esperto o specialista" delle molteplici innovazioni tecnico-scientifiche di questo periodo; il governo gli dà quindi autorità per negoziare e difendere i propri interessi[4]. Le scelte fatte a nome dell'Italia saranno poi cruciali per lo sviluppo scientifico ed economico del paese. Ma il fatto di rappresentare la nazione nella Commissione permanente, serve anche a Schiaparelli per costruirsi la sua personale autorità scientifica e ad introdurre nel paese i metodi prescritti dalla Confederazione, ovvero quelli della "geodesia tedesca" di cui è uno dei rari esperti. Cosa vuol dire "geodesia tedesca"?

Secondo quanto spiega il generale belga Joseph Liagre nella sua prefazione al *Calcul des probabilités et théories des erreurs* (1852), si tratta di distinguere la geodesia che fu praticata in Francia, essenzialmente nel XVIII secolo, dalla "nuova geodesia". Anche se le grandi operazioni di misura di un arco di meridiano terrestre francesi avevano avuto un gran successo all'estero, in particolare la *Méridienne de France* che durante la Rivoluzione aveva permesso di definire teoricamente la lunghezza del metro come la quaranta milionesima parte della lunghezza dell'arco di meridiano terrestre (Alder, 2002), Liagre considerava che la geodesia francese utilizzasse strumenti imprecisi e metodi superati[5]. Gli preferiva dunque la geodesia tedesca, fondata teoricamente da Carl Friedrich Gauss, in particolare nella sua interpretazione probabilistica delle misure (detta anche "metodo dei minimi quadrati"), e introdotta nella pratica di terreno da Friedrich Wilhelm Bessel. Questi, nel 1831, aveva triangolato le province di Silesia e della Prussia occidentale proprio con Baeyer.

[4] Il padre Angelo Secchi gioca pure un ruolo di esperto in questioni scientifiche e difende, come lo ha dimostrato Ileana Chinnici, gli interessi dello Stato della Chiesa (Chinnici, 2022).

[5] Liagre era stato incaricato di triangolare il nuovo Stato del Belgio e, dopo aver messo a confronto la geodesia francese e tedesca, sceglie la seconda. Scritto in lingua francese, il libro fu molto letto in Francia anche dagli ufficiali del Dépôt de la Guerre (Schiavon, 2014a)

Tra le innovazioni della nuova geodesia si ricorda l'utilizzazione di strumenti di fabbricazione tedesca, portativi e dotati di telescopi più potenti, che si accompagnano all'uso del metodo della reiterazione nelle osservazioni angolari. La "geodesia tedesca" dà una grande importanza allo studio dello strumento e all'analisi dell'errore strumentale (studio dell'errore di inclinazione, di eccentricità, di divisione, di lettura del cerchio graduato, di puntamento, di collimazione ed eccentricità del telescopio, della vite oculare, studio del modo di realizzare le viti dei microscopi, ecc.)[6]. Infine, impone la costruzione di stazioni di osservazione in cui lo strumento poggia indipendentemente dall'osservatore: come si vedrà, queste nozioni ed altre prescritte dalla Confederazione, sono introdotte senza discussione in Italia.

3. Nuovi membri della Commissione geodetica italiana nel 1873

Antonio Scialoja, ministro della Pubblica Istruzione, convoca a Roma i membri eletti per "ricostruire definitivamente la commissione italiana per la misura del Grado europeo" nel 1873. Tra essi figura il direttore dell'Osservatorio astronomico di Padova, Giovanni Santini, che era stato aggiunto alla Commissione dopo l'annessione del Veneto all'Italia (1866). A 86 anni di età, Santini non vuole intraprendere il viaggio da Padova a Roma e si fa sostituire da un "giovine esatto, ben istruito ed operoso": Giovanni Lorenzoni. Anche se non figurava tra gli allievi formati da Santini, Lorenzoni si rivelerà una scelta giusta.

3.1. Giuseppe Lorenzoni

Nato in un piccolo borgo delle alpi trevigiane il 10 luglio 1843, Giuseppe è il primogenito di Giovanni Lorenzoni, maestro nella scuola elementare di Follina, e di Giovanna Dalla Mura. Proprio in questi luoghi Lorenzoni sembra essersi familiarizzato alle importanti questioni di logistica che gli serviranno poi per la pratica delle misure di precisione sul terreno. Dopo la formazione alla Scuola Reale Superiore, nel 1860 Lorenzoni si iscrive all'Università di Padova per diventare ingegnere civile e prendere impiego nelle ferrovie, un settore che conosce allora un forte sviluppo in Europa. Virgilio Trettenero, professore di astronomia, lo introduce alla Specola di Padova dove, non ancora laureato, Lorenzoni è nominato assistente alla cattedra di astronomia e gli è affidato il servizio di meteorologia. Allievo diligente e mite, Lorenzoni si mette subito al servizio di Santini. Infatti, il Trettenero muore nel 1863 ed Enrico Nestore Legnazzi, un altro allievo formato da Santini, abbandona la Specola per l'insegnamento della geodesia nella nuova Scuola pratica per ingegneri creata all'Università. È interessante notare che, sebbene il Legnazzi insegnasse geodesia, Santini, per sostituirlo a Roma nel 1873, gli preferisce Lorenzoni. Questi, confermato assistente nel 1867, è regolarmente incaricato delle lezioni di astronomia e occupa d'altra parte la cattedra di geodesia (Zanini, 2015). Questa scelta di Santini sottolinea che, all'epoca, la geodesia è piuttosto legata alla pratica astronomica che a quella d'ingegneria.

Dopo la morte di Santini nel 1877, Lorenzoni ne raccoglierà di fatto l'eredità. Sotto la direzione di Lorenzoni, l'Osservatorio padovano diventerà uno dei principali centri di formazione per le nuove generazioni di astronomi italiani[7]: tuttavia, resta da chiarire quale parte attribuire alla geodesia nell'autorità scientifica acquisita da Lorenzoni. È mia opinione infatti che il suo investimento in ambito geodetico fu decisivo non solo per lo sviluppo della geodesia italiana tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, ma anche per i mezzi materiali ed umani che gli permisero d'istaurare una scuola padovana d'astronomia. Per concludere questo rapido itinerario di Lorenzoni, si ricorda che nel 1866 si sposa con Michelina Ferrari, giovane di nobile famiglia padovana. La coppia non avrà figli (Zanini, 2015, p. 79).

[6] In Francia, il metodo dei minimi quadrati fu lungamente criticato dagli académiciens. Entrerà nella pratica geodetica solo nella seconda metà del XIX secolo, grazie ad uno strumento, il cerchio azimutale reiterativo, costruito dai fratelli Brunner e utilizzato dal capitano François Perrier per la misura della Nouvelle Méridienne de France (1870-1892) (Schiavon, 2010).

[7] Tra questi: Antonio Abetti, che sarà direttore dell'Osservatorio di Arcetri (1894), Giuseppe Ciscato, che dirigerà la stazione geodetica di Carloforte dal 1899 al 1903 (Zanini, 2011).

3.2. La Commissione geodetica italiana, Roma 1873

La riunione del 1873 è preceduta da una "preparatoria" cui assiste il ministro Scialoja, e in cui si spiega come, dal 1865 in poi, il governo italiano aveva finanziato i lavori richiesti e che solamente quelli assegnati al personale dipendente dal ministero della Guerra erano stati eseguiti. Alla lettura del rapporto, emerge che l'inazione nel campo astronomico era dovuta al ritardo nella consegna dei costosi strumenti di fabbricazione tedesca, e soprattutto alla mancanza di un personale specificamente formato per il loro utilizzo. Cionostante, il generale De Vecchi chiarisce che il ministro della Guerra, si rifiuta di anticipare ulteriormente i fondi per eseguire i lavori geodetici, e chiede di essere indennizzato di quanto ha finora anticipato al ministero della Pubblica Istruzione, da cui gli astronomi dipendono. De Vecchi aggiuge che se, sul terreno, non c'è differenza tra geodesia ed astronomia, separare le due discipline permette di poterne accreditare le spese ai due diversi ministeri. Nella riunione si discute anche se l'Italia debba restare o no nella Confederazione europea. Secondo Schiaparelli, il progetto sarebbe sostanzialmente cambiato: se, all'inizio, consisteva a determinare un arco di meridiano da Cristiania a Palermo, adesso si trattava, "ne più ne meno... che della ricerca scientifica della figura della terra in tutt'Europa e regioni confinanti dell'Asia e dell'Africa, con la coda di tutti i problemi che vi si collegano". Schiaparalli sembra riferirsi al fatto che la Francia, ora membro della Confederazione, sta eseguendo un progetto ambizioso: l'operazione della *Nouvelle Méridienne de France*, non si tratta solamente di corregge l'arco di meridiano che definisce teoricamente il metro, ma anche di prolugarlo fino in Algeria, la prima colonia francese stabilita nel continente africano. Unito a Nord a quello inglese, che si estendeva fino alle isole Shetland, l'arco di meridiano francese avrebbe avuto un'ampiezza di ben 27 gradi, contribuendo così in modo decisivo allo studio delle dimensioni della Terra. Per Schiaparelli, aderire al primo progetto non implicava l'obbligo di sottostare al secondo: in altre parole, era necessario che l'Italia restasse nella Confederazione perché, ora che si erano acquisiti gli strumenti, il governo poteva (e avrebbe dovuto) assegnare agli osservatori italiani un personale competente. votano a favore della proposta di Schiaparelli, eccetto uno. Inoltre, il generale Ricci è confermato presidente (e Santini membro). Alla seduta successiva però, il ministro modifica l'elezione nominando presidente il generale De Vecchi[8], e Lorenzoni membro (Santini sarà "membro onorario"). Le scelte di Scialoja si riveleranno afficaci, come lo si puo' constatare alla lettura dei rapporti successivi: nel 1875, per esempio, col motto "prevedere e provvedere", De Vecchi riassumerà il suo operato e l'introduzione di precise regole di gestione dei finanziamenti concessi dal governo, e che contrastano con le vaghe azioni di gestione del suo predecessore. Nel 1875, De Vecchi introdurrà la distinzione tra operazioni di geodesia "realizzate sul terreno dai militari" e addebitate al ministero della Guerra, e quelle astronomiche che, pur essendo sempre "realizzate sul terreno", devono essere accreditate al ministero della Pubblica Istruzione. Sottolineo che la distinzione non risponde affatto alla pratica geodetica di terreno, tantomeno allo scarso interesse del governo per le questioni scientifiche e di interesse collettivo. Infatti, ufficiali (o ingegneri) ed astronomi che si dedicano alle operazioni di geodesia, devono avere la stessa remunerazione, come richiesto nel verbale del 1873, quando si approva che la "diaria" degli ufficiali sia elevata a quella degli astronomi (*Commissione...*, 1878-1880, settembre 1873). De Vecchi introduce anche una "recensione del patrimonio strumentale": si tratta dapprima di riunire i campioni di unità di misura in uso negli Stati della penisola prima dell'unificazione. L'impulso dato dalla geodesia allo sviluppo della metrologia serve ad altre discipline scientifiche e all'industria, soprattutto quella elettrica nascente. D'altra parte, la recensione strumentale proposta dal De Vecchi, fa eco a quanto Hirsch proponeva alla Confederazione europea, e che porterà, nel 1875, a una *Convention du mètre* che stabilisce la créazione di un *Bureau international des poids et mesures*, a Sèvres (Fellag Ariouet, 2022). L'interesse per il patrimonio strumentale della Commissione italiana si spiega anche

[8] De Vecchi è il primo direttore dell'Istituto topografico militare creato a Firenze in ottobre 1872.

dal fatto che gli strumenti sono acquisiti su fondi del governo italiano: De Vecchi considera essenziale stabilire la proprietà della Commissione geodetica, conoscerne il luogo di conservazione e controllarne la circolazione tra i diversi membri. Il generale stabilisce quindi che la proprietà della Commissione sia scritta "su parti essenziali dello strumento" affinché non siano destinati ad un uso diverso da quello richiesto. Vuole evitare che, una volta costruito, si perda traccia dello strumento o che resti inutilizzato se sostituito da un altro più moderno. Nel 1875 De Vecchi stima il patrimonio strumentale, o "capitale della Commissione in istrumenti", a 37391 lire: in quanto ufficiale militare, il generale sa che uno strumento, oltre a permettere delle misure di precisione e dare una credibilità scientifica al suo utilizzatore, è anche terreno di lotta e di rivalità tra le nazioni.

3.2.1. Lorenzoni, gli strumenti, la base a Lecce (1874)

La prima operazione assegnata dalla Commissione italiana a Lorenzoni è la determinazione azimutale dell'estremo nord della base di Lecce. Questa base geodetica era già stata misurata nel 1872 su richiesta della Confederazione internazionale ma mancava di un punto astronomico per orientarla. La "gita a Lecce", come scriveva Lorenzoni, permette di constatare il suo grande interesse per gli strumenti e le sue competenze nella preparazione, organizzazione, gestione ecc. (o logistica) delle operazioni sul terreno, come si accennerà di seguito.

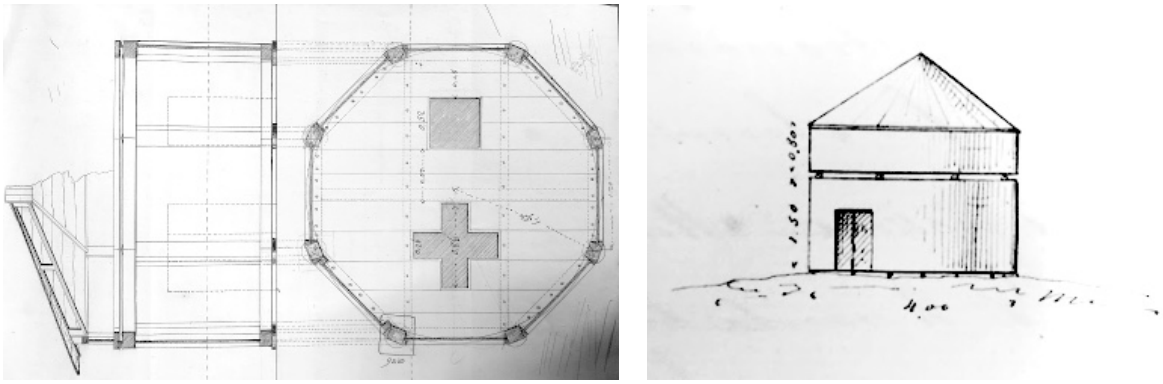
Il 6-7 febbraio 1874, Lorenzoni recupera gli strumenti appartenenti alla Commissione geodetica da Schiaparelli a Brera. Si tratta di un altazimutale costruito ad Amburgo da Repsold & Sohn, contenuto in due casse di legno lucido e due controcasse, con oculare di ricambio, elioscopio, cacciavite, ecc. Il secondo strumento, dei passaggi di Ertel & Sohn, costruttori di Monaco, serve alla misura della latitudine ed è contenuto, con altri accessori, in due casse "di ciliegio alquanto deperite ed in due robustissime casse di abete greggio" (Lorenzoni, 1874). Gli strumenti sono di manifattura tedesca, e si ricorda che Repsold e Ertel hanno attrezzato anche gli Struve, Hirsch e il padre Secchi. Lorenzoni riceve da Schiaparelli anche una bussola del costruttore Matthäus Hipp, detto anche l'Edison svizzero, ed un cronometro "(n. 3036) regolato a tempo siderale e contenuto nella consueta cassetta a cinghie" (Lorenzoni, 1874) di Charles Frodsham, costruttore di orologi e cronometri di alta qualità, che è trasportato in mani proprie di Lorenzoni da Milano a Padova.

Nella corrispondenza Lorenzoni, si rilevano facilmente le sue predisposizioni ad affrontare sia questioni scientifiche, che strumentali e logistiche[9]. Queste ultime, spesso ignorate dagli storici, sono pertanto essenziali per la riuscita di un'operazione geodetica. Alla ricezione degli strumenti a Milano, Lorenzoni si accorge che le assi delle "casse di ciliegio" contenenti lo strumento di Ertel sono incurvate e ristrette, e permettono quindi l'ingresso di polvere e frantumi di paglia. Quest'ultima è usualmente adoperata per riempire gli spazi vuoti tra la cassa esterna e quella interna che contiene lo strumento. Per evitare l'introduzione della paglia che, se non è perfettamente asciutta "tramanda umidità" e deteriora lo strumento, Lorenzoni propone di ridurre le dimensioni delle casse. Inoltre, dopo aver calibrato l'Ertel e rilevato un difetto ottico dello strumento nel dispositivo di illuminazione nella lettura delle osservazioni (che sarà più tardi riconosciuto anche dal costruttore), Lorenzoni fa appello all'officina meccanica dell'Osservatorio di Padova.

Un altro problema riguarda la cupola indispensabile per proteggere gli strumenti sul terreno: Lorenzoni scrive che è "un arnese cosi voluminoso e pesante che si presta difficilmente alla scomposizione", anche perché Schiaparelli, per evitare le infiltrazioni della pioggia, l'aveva fatta ricoprire di zinco. Dopo aver scartato l'ipotesi di far costruire una "baracca" sul posto perché l'obbligherebbe a recarsi a Lecce molto tempo prima per seguirne la costruzione, propone al De Vecchi una nuova cupola portativa più leggera,

[9] Ileana Chinnici ha messo in evidenza queste competenze di astronomo-geodeta anche nel caso del padre Angelo Secchi (Chinnici, 2022).

scomponibile e quindi riutilizzabile per altre operazioni. La cupola di Lorenzoni sarebbe anche dotata di una piattaforma su cui far poggiare lo strumento e costruita non più in marmo ma in ghisa, una lega di ferro e carbonio più costosa ma meno porosa, quindi durevole ed impermeabile. Essendo più solida, la piattaforma avrebbe poi permesso di sostenere un meccanismo col quale sollevare ed invertire lo strumento dei passaggi nel corso delle osservazioni[10]. La cupola proposta da Lorenzoni, con pavimento indipendente dai pilastri e dal suolo, rispetta una regola dettata dalla geodesia tedesca. Il progetto della cupola, preparato con l'aiuto del meccanico ed ebanista Vincenzo Zardini e di un certo Lazzaro, prevedeva un costo di 1214 lire (Fig. 1a). Pur condividendo le osservazioni di Lorenzoni, De Vecchi non consente alla costruzione della cupola: la somma richiesta non è infatti disponibile sui fondi annuali della Commissione; aggiunge inoltre: "non dissimulo che non oserei proporre al Ministero una spesa abbastanza notevole per l'acquisto di una nuova cupola, mentre le antiche non furono puranco usate" (De Vecchi, 1874). Il generale gli propone di spedire a Lecce la cupola che era stata costruita per Donati, della quale fornisce uno schizzo e una descrizione (Fig. 1b). Completamente smontabile, pesa circa una tonnellata e il trasporto fino a Lecce, per via ferroviaria, costa 120 lire. De Vecchi precisa che è costata 2000 lire, "vede dunque quanto sia delicata la condizione in cui mi troverei se dovessi condannare tutti gli osservatorii mobili finora acquistati" (De Vecchi, 1874).
Anche se non è chiaro a quali cupole "non usate" si riferisca De Vecchi[11], quest'esempio illustra che il



(a) **(b)**

Fig. 1: (a) Il progetto della cupola Lorenzoni (*Fondo...*, 1851-1943, 20 marzo 1874). (b) Cupola "che fu del Donati" in un disegno di De Vecchi, composta di 12 pannelli riuniti e incastrati in pietre piantate nel suolo; nella parte superiore, una rotaia circolare su cui posa un tetto munito di un'apertura con sportello di chiusura (*Fondo...*, 1851-1943, 14 aprile 1874).

governo aveva fatto acquistare dei nuovi strumenti e le relative infrastrutture per servirsene. Ma il fatto di possedere uno strumento moderno non è sufficiente, bisogna possedere le competenze tecnico-scientifico-logistiche per servirsene. Anche perché questi strumenti non sono destinati per essere (sempre) usati in un osservatorio astronomico fisso, ma soprattutto sul terreno, per cui si deve metter nel conto le risorse umane e materiali disponibili nonché l'imballaggio, il trasporto, l'istallazione, l'uso sotto condizioni meteorologiche variabili, ecc. Insomma, sul terreno, la misura geodetica deve essere meticolosamente pensata e preparata, senza contare che gli strumenti geodetici devono anche essere calibrati prima e dopo il loro utilizzo. Per questo De Vecchi ha instaurato un dispositivo di gestione del patrimonio strumentale della Commissione che ne regoli l'acquisto, l'uso, lo stato, la riparazione, l'adattazione, la circolazione, ecc., e che sarà dettagliato in un'ulteriore comunicazione.

[10] Ricordo che il metodo della reiterazione prevede la rotazione del telescopio su se stesso (Schiavon, 2014b, cap. 1).

[11] Secondo quanto comunicatomi da Simone Bianchi, il cupolino mobile della Commissione geodetica di Donati sarebbe già stato utilizzato sul terreno, forse proprio nel novembre 1869 per il calcolo della differenza di longitudine tra Arcetri e Ancona.

Gli archivi ci dicono anche che l'operazione eseguita a Lecce non serve solo a rispondere ad una richiesta della Confederazione geodetica. Infatti, sotto la direzione di De Vecchi, si discutono anche dei bisogni specifici per la pratica scientifica italiana: la base di Lecce servirà a stabilire una "precisa determinazione delle differenze di longitudine delle specole di Milano e di Padova coi grandi Osservatorii da cui si sogliono numerare i primi meridiani", questo perché il nuovo Regno d'Italia non ha ancora definito il proprio "meridiano origine", essenziale per la determinazione della differenza di longitudine.

Per le osservazioni fatte a Lecce, che non possono esser qui dettagliate (Lorenzoni, 1875), De Vecchi assegna al Lorenzoni un ufficiale, il capitano Gaetano De Vita. Il loro primo scambio epistolare rivela che l'astronomo patavino è sorpreso dal fatto che De Vita sia "versato anche nella parte astronomica delle operazioni" (Fondo Lorenzoni, 1851-1943, carteggio luglio-agosto 1874): Lorenzoni precisa al capitano che il solo titolo che gli è richiesto, è di esser pratico del luogo, poiché sarà lui solo a realizzare le osservazioni astronomiche. Questo dettaglio chiarisce che, in Italia, il riconoscimento scientifico degli ufficiali d'artiglieria si consolida in questi anni: nella seduta del 1873, De Vecchi informava di aver incaricato il professor Schiavoni di "addestrare alcuni ufficiali ed ingegneri dell'Istituto topografico nelle operazioni astronomiche" quali la determinazione delle latitudini e dell'azimut, al fine di "fare coadiuvare gli astronomi da questi ufficiali, onde renderli capaci di lavorare per conto proprio" (*Commissione...*, 1878-1880, settembre 1873). Come scritto nell'introduzione, praticare geodesia significa saper eseguire anche le osservazioni astronomiche: quindi, la distinzione tra geodesia e astronomia, in questo periodo storico, è artificiosa, e non corrisponde affatto alla pratica di terreno. Gli ufficiali militari (e della Marina) non sono stati dei semplici esecutori materiali di compiti impartiti dagli scientifici, ma, dopo essersi formati presso gli astronomi, sono dei veri collaboratori, indispensabili per realizzare misure di precisione in campagna.

Interrogando gli archivi Lorenzoni senza dare una definizione della geodesia, permette di chiarire non solo cosa significa "conoscere" in scienze (in geodesia in questo caso), ma anche quale fu il ruolo svolto da attori usualmente non citati nelle pubblicazioni scientifiche, quali gli ufficiali militari, gli ingegneri o i costruttori di strumenti. Soprattutto, si chiarisce quali siano, nel XIX secolo, i legami intrinseci della geodesia con la società, lo sviluppo economico, la ricerca strumentale, l'amministrazione e il contesto politico, sia in scala nazionale che internazionale. Il "geodeta nascosto" dietro il nome di grandi astronomi italiani quali Lorenzoni, Schiaparelli, Secchi, ecc. ci informa della loro collaborazione con ufficiali militari, della Marina, e con gli ingegneri. Per il nuovo Stato italiano questi attori hanno avuto un ruolo essenziale: specialisti in nuovi campi disciplinari e tecnologici, essi erano i soli capaci di negoziare e rappresentare gli interessi del loro paese d'origine alle assemblee della Confederazione geodetica. Ma per far ciò era necessario prima consultarsi tra esperti all'interno di ogni singolo Stato, come nella Commissione geodetica italiana che giocò quindi un importante ruolo federatore e di discussione degli interessi nazionali nel campo delle scienze astronomiche, come lo si dettaglierà ulteriormente.

Ringrazio Valeria Zanini e Antonella Gasperini per la preziosa collaborazione nell'accesso ai fondi Lorenzoni e Donati. Simone Bianchi per le informazioni sull'utilizzo della cupola del Donati. Carlo De Stavola, capo servizio biblioteca e museo degli strumenti all'Istituto geografico militare di Firenze, per l'accesso ai rapporti della Commissione geodetica. E i curatori degli Atti SISFA per la loro rilettura di quest'articolo.

Bibliografia

Alder, K. (2002). *La misura di tutte le cose.* Milano: Rizzoli.

Chinnici, I. (2022). *Appunti di un gesuita scienziato. I diari di viaggio di Angelo Secchi S. J. (1860-1875).* Firenze: Olschki.

Commissione Italiana per la Misura dei Gradi (1878-1880). *Processo verbale delle sedute della Commissione Italiana per la Misura dei Gradi*, giugno 1865-giugno 1880.

Commissione Geodetica Italiana (1969-1977). *Verbali delle sessioni straordinarie*, 1969-1977.

Fellag Ariouet, C. (2022). "Les acteurs du Bureau international des poids et mesures dans les procès-verbaux du Bureau des longitudes". in Schiavon, M. & Le Lay, C. (eds.) *Le Bureau des longitudes en société (1795-1932)*. [Paris]: Bureau des Longitudes, pp. 83-101.

Lorenzoni, G. (1875). *Determinazione della latitudine e di un Azimut sull'estremo Nord Ovest della base di Lecce*. Padova: dalla Tip. del Seminario.

Poincaré, H. (1900). "La mesure de la terre et la géodésie françaises", *Bulletin de la Societe Astronomique de France et Revue Mensuelle d'Astronomie, de Meteorologie et de Physique du Globe*, 14, pp. 513-521.

Schiavon, M. (2010). "Geodesy and Map-Making in France and Algeria : Contests and Collaborations between Army Officers and Observatory Scientists", in Aubin, D., Bigg, C. & Sibum, H.O. (eds.) *The Heavens on Earth: Observatory and Astronomy in Nineteenth Century*. Durham-London: Duke University Press, pp. 199-224.

Schiavon, M. (2014a). "Hervé Faye, la géodésie et le Bureau des longitudes", *Bulletin de la Sabix,* 55, pp. 31-43.

Schiavon, M. (2014b). *Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France, 1870-1930.* Nancy: PUN-Editions universitaires de Lorraine.

Schiavon, M. (2018). "Découvrir le Bureau des longitudes à travers la géodésie et Henri Poincaré", in Sociedad Portuguesa de Matematica (éd.), *Actas/Anais Luso-Brasileiro de Historia de Matematica.* vol. I, pp. 211-250.

Schiavon, M. (2021). "International geodesy in the post-war period, as seen by the French Bureau des longitudes (1917-1922)", in Mazliak, L. & Tazzioli, R. (eds.), *Mathematical Communities in the Reconstruction after the Great War (1918-1928)*. Cham: Birkhäuser, pp. 151-189.

Zanini, V. (2011). "L'Osservatorio Astronomico di Padova e l'Unità d'Italia", *Giornale di Astronomia.* pp. 2-6.

Zanini, V. (2015). "Giuseppe Lorenzoni: l'uomo, l'astronomo e il maestro", *Atti e memorie dell'Accademia Galileana di Scienze, Lettere ed Arti in Padova*, 103, pp. 73-103.

Fonti d'archivio

Fondo Lorenzoni Giuseppe (1851-1943), Archivio Storio dell'Osservatorio Astronomico di Padova (di seguito ASOPd), *Atti, Commissione geodetica e Istituto geografico militare (1865-1953)*, BB. I-IV.

De Vecchi, E. (1874). Lettera a Giuseppe Lorenzoni, 14 aprile ASOPd, *Atti, Commissione geodetica e Istituto geografico militare (1865-1953)*, B. I, f. 3.

Lorenzoni, G. (1874). Lettera a Ezio De Vecchi, 17 febbraio. ASOPd, *Atti, Commissione geodetica e Istituto geografico militare (1865-1953*, B. I, f. 3.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_26, pp. 225–234
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-26

The Italian Society of Sciences known as the Society of XL in Modena from the late 18th and to the middle of 19th century

Elena Corradini[1], Umberto Fedrezzoni[2] and Micaela Giglio[3]

[1]Università di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, Modena, elena.corradini@unimore.it.
[2]Fondazione di Modena, Modena, umberto.fedrezzoni@fondazionedimodena.it.
[3]Accademia di Scienze Lettere e Arti di Modena, Modena, gigliomicaela77@gmail.com.

Abstract: The history of the Italian Society of Sciences, founded by Anton Maria Lorgna, known also as the Society of the Forty from the number of Italian members who belonged to it at the time of its foundation, is traced from 1762 until 1847, according to the account by Antonio Lombardi, which interrupted by his death in that year. The death of Archduke Francesco IV d'Austria Este in the previous year 1846 marked the end of an important period in the history of the Society transferred to Modena with changing fortunes since 1798. Lombardi, librarian of the Biblioteca Estense in Modena since 1807, in an unpublished manuscript kept in the same library, traces the events of the Society from its birth, paying particular attention to those that he witnessed first-hand in the first half of the nineteenth century, holding the position of assistant secretary from 1806 and assistant administrator from 1816 until his death in 1847. The history of the Society after its birth followed the vicissitudes of the Napoleonic era, when, at the time of the Cisalpine Republic in 1797, the Society was transferred to Milan and then, from 1798, to Modena, under the presidency of Antonio Cagnoli, elected in 1796. According to the statute, in fact, the Society seat was the same where the president resided. Cagnoli's retirement from teaching at the Military School in Modena and his return to Verona led to a second transfer of the Society to Verona in 1807. After the Restoration following difficulties with the Austrian government, the Society returned to Modena in 1815 thanks in particular to the good relations of Paolo Ruffini with Francesco IV. Ruffini became president in 1816 and upon his death in 1822, the presidency was entrusted with great foresight to Marquis Luigi Rangoni, on whom, as Minister of Public Economy and Education in the Duchy of Este. Rangoni was elected four consecutive times, holding the office for 22 years. When he died in 1844, he was succeeded by the physicist Stefano Marianini who held the office even after the unification of Italy until 1866 and who was responsible for the difficult and complex task of the Society's transition into the new Kingdom of Italy. The Society activity has continued uninterruptedly to the present day: under the name Accademia Nazionale dei XL it continues the regular publication of the Memorie tomes available online starting with tome I in the articulated website that also gives an account, in addition to the publications, of the scientific activities that the Academy has carried out and is carrying out (https://www.accademiaxl.it)

Keywords: Astronomy, Physics, Este Duchy, Società Italiana delle Scienze, Accademia dei XL

1. Premessa

La storia della Società Italiana delle Scienze, detta dei Quaranta dal numero dei membri italiani che ne fecero parte fin dal momento della sua costituzione, viene ripercorsa dalla sua creazione a Verona nel 1762 ad opera di Anton Maria Lorgna, fino al 1847, seguendo una memoria manoscritta di Antonio Lombardi (1768-1847) che si interrompe con la sua morte avvenuta in quell'anno. Con il 1847 si conclude anche, a seguito della morte dell'arciduca Francesco IV d'Austria Este (1779-1846) avvenuta l'anno precedente, il 1846, un periodo significativo della storia della Società che con alterne vicende era stata trasferita a Modena fin dal 1798. Lombardi dal 1807 era bibliotecario della Biblioteca Estense

di Modena, dove era attivo come sottobibliotecario fin dal 1790: nel 1815, per incarico di Francesco IV, si era recato a Parigi insieme con Antonio Lombardi, vicedirettore dell'Accademia di Belle Arti, per recuperare le opere prelevate da Napoleone Bonaparte (1769-1821) tra il 1796 e il 1797 (Corradini, 2006, pp. 28-36). Nel manoscritto inedito conservato presso la stessa Biblioteca nel Palazzo Ducale di Modena "Cenni storici sulla Società Italiana delle Scienze residente in Modena" (α.Q. 10.3.20 82= it. 1776), Lombardi ripercorre le vicende della Società dalla sua nascita, dedicando particolare attenzione a quelle di cui fu testimone diretto nella prima metà dell'Ottocento avendo ricoperto la carica di vicesegretario dal 1806 e vicesegretario amministratore fino alla morte nel 1847. Lombardi fa risalire allo storico modenese Ludovico Antonio Muratori (1672-1750) una prima idea di riunire gli studiosi italiani per "eccitar gli Italiani a riformar il gusto dell'amena letteratura e migliorare i metodi nello studio delle scienze" (Lombardi, 1824 c. 2) e ricorda l'opuscolo *Primi disegni della Repubblica letteraria d'Italia rubati al segretario e donati alla curiosità degli altri eruditi da Lamindo Pritanio"*, pubblicato a Napoli nel 1704 a seguito di una corrispondenza intercorsa tra lo stesso Muratori e il nobile veneto Bernardo Trevisani. Si trattava di un testo redatto da Muratori con lo pseudonimo di Lamindo Pritanio, anagramma del finto nome Antonio Lampridio che Muratori aveva utilizzato nel carteggio con Bernardo Trevisani e che comunque nelle prime tre lettere Lam riproponeva le iniziali del suo nome e del suo cognome. Gian-Francesco Soli, nipote di Muratori, precisa che nell'opuscolo di Pritanio una prima lettera indirizzata "ai generosi letterati d'Italia" dava conto delle ragioni per le quali aveva redatto i primi disegni della Repubblica Letteraria d'Italia (Pritanio, 1704, pp.5-8; Soli, pp.24-28). Dopo questa ne indirizzava loro una seconda nella quale, esprimendo la ridotta e quasi inesistente utilità che ricavavano le lettere e le buone arti dalla maggior parte delle Accademie di allora, proponeva di formare "un'unione, una repubblica, o sia una lega di tutti i più riguardevoli letterati d'Italia di qualunque condizione, o grado, e professori di qualsivoglia liberale, o scienza, la cui incombenza fosse di maggiormente pulire, perfezionare, o regolare lo stato delle lettere; e che fosse sodamente stabilita da un forte nodo di buona volontà e di ottimo zelo" (Pritanio, 1704, p. 14). Lombardi afferma che questo testo suscitò molto scalpore tra i contemporanei che si erano mostrati ora favorevoli ora contrari a quella che chiama "burla letteraria" come la definì lo stesso Muratori in due lettere che inviò a Trevisani. Secondo Lombardi (1824, c. 2) però questi tentativi furono utili per "promuovere migliori metodi nello studio specialmente delle sacre scritture, delle buone lettere e in genere delle scienze, ed a bandir l'ignoranza specialmente nell'insegnamento delle scuole".

2. Anton Maria Lorgna e la creazione a Verona della Società delle Scienze

Il matematico veronese Anton Mario Lorgna (1735-1796) (Lorgna, 1985; Piva, 1993) l'1 marzo del 1781 con grande lungimiranza scrisse una lettera circolare a 16 scienziati "persone di merito": riteneva fondamentale che gli studiosi potessero vedere raccolti in un solo volume i risultati delle loro ricerche anziché pubblicarli a proprie spese e rischiare che andassero dispersi perché stampati su riviste straniere oppure rimanessero inediti (Penso, 1978, p. 53). Nella lettera, rammaricandosi che in Italia non esistesse una Pubblica Società di Scienze e Arti, comunicava la sua intenzione di pubblicare i loro testi a proprie spese in un volume che, a partire dall'1 settembre 1782, sarebbe stato edito ogni due anni e spedito alle più importanti Accademie d'Europa. Riguardo ai temi trattati precisava: "precederanno nel volume le Memorie di Matematiche. Succederanno tosto quelle di Fisica e di Storia Naturale: indi le altre se verranno" (Penso, 1978, p. 35) allegando alla lettera una bozza di frontespizio col titolo "Memorie di una privata Società Italiana di Scienze ed Arti" (Penso, 1978, p. 36 e fig. 24). Da questa lettera derivò uno scambio di missive, tutte favorevoli all'idea del Lorgna, a seguito delle quali fu determinato il nome definitivo "Società Italiana" che, già anticipato fin dal 27 aprile 1781 in una lettera a Lazzaro Spallanzani (1729-1799) (Penso, 1978, p. 39), si concretizzò nella prefazione del primo tomo pubblicato nel 1782 (pp.

III-XII) e nel titolo del frontespizio "Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana" (Farinella, 1993). Si trattava di un periodico che riuniva per la prima volta gli scienziati e gli studiosi di tutta Italia, al di là della sua divisione in Stati, come avveniva in Francia con l'Institut de France di Parigi e in Inghilterra con la Royal Society di Londra.

La finalità della Società Italiana, "un corpo accademico composto di quaranta e non più fra i dotti italiani di maggior celebrità nelle Scienze naturali, e dodici stranieri", era quella di "promuovere i progressi con pubblicare scritti e dissertazioni d'analogo argomento e con l'encomiare quelli di Soci Italiani che mancassero ai vivi" (Lombardi, 1824, c. 2), vengono esplicitate nell'articolo II dello statuto che viene pubblicato nel tomo III del 1786 (p. V): "La scienza della natura è il grande oggetto attorno a cui si propone di versare la Società Italiana. Pubblicherà pertanto di due in due anni nella città di Verona sotto il titolo di Memorie di Matematica e Fisica le ricerche di chiunque vorrà de' quaranta soci attuali comunicare al pubblico il frutto de' suoi studj negli Atti sociali". L'elenco dei soci venne pubblicato nello stesso tomo III del 1786 (pp. V-XII) distinguendo quelli che facevano parte della Società fin dalla sua costituzione nel 1781 e nel 1782 da quelli che ne erano entrati a fare parte successivamente tra il 1783 e il 1786 (Lombardi, 1824, c. 3; Penso, 1978, pp. 59-60; Marini Bettolo, 1986, pp. 9-15). A ogni socio veniva inviata una patente nella cui cornice erano raffigurate varie branche della scienza tra cui l'idraulica, la meteorologia, la geometria e l'ingegneria, l'astronomia e la matematica, l'acustica (Lombardi, 1824, pp. 61-68 e figg. 28-39). L'articolo III dello statuto definiva l'organizzazione della Società: "Di questi quaranta membri uno farà il presidente della Società, e la Presidenza durerà sei anni, misurandosi questo periodo coll'edizione di tre volumi" (Venturi, 1999, pp. 20-21) . Lorgna nominò segretario il matematico vicentino abate Agostino Vivorio (1743-1822) e vicesegretario Giuseppe Tomaselli. In base all'art. XVI dello statuto i soci votarono il presidente: Antonio Maria Lorgna venne letto all'unanimità per sei anni (Lombardi, 1824, c. 3; pp. 74-78) e la sede della Società venne stabilita a Verona presso l'abitazione del Lorgna che nel 1787 la dotò, col proprio patrimonio, di un reddito annuo di 200 ducati d'argento veneti a cui si sarebbe aggiunto il ricavato della vendita dei volumi che sarebbero stati pubblicati. Lorgna morì il 28 giugno 1796: per disposizione testamentaria del 1788 (art. v testamento) aveva lasciato duecento ducati veneti ogni anno per la sussistenza della Società, il necessario per la stampa di sette volumi. L'amministrazione sarebbe stata curata dall'Accademia Agricoltura Arti e Commercio di Verona (*Annali*, 1802, pp. V-VII). Lorgna aveva lasciato l'intero asse ereditario all'Ospedale di San Giacomo e Lazzaro di Verona demandando a quest'ultimo di corrispondere una rendita annua all'Accademia di Agricoltura Arti e Commercio con la quale avrebbe dovuto stipendiare il segretario e finanziare la pubblicazione delle Memorie: unica condizione era che avrebbe pagato le spese alla Società finché fosse stata incorporata nell'Accademia stessa risiedendo in Verona. Il giorno in cui la Società si fosse resa indipendente o si fosse trasferita in altra città italiana avrebbe perso ogni diritto alla rendita annua. L'Accademia accettò nella seduta del 6 luglio 1796: era nata per opera del doge Luigi Mocenigo come Accademia di Agricoltura non per l'incremento delle scienze ma per promuovere l'agricoltura e il commercio all'interno della Repubblica Veneta e nel 1779 aveva preso il nome di Accademia Agricoltura Arti e Commercio (Penso, 1978, pp. 90-92). La Società Italiana non ricevette però nulla dell'eredità di Lorgna e dopo una serie di contese e processi nel 1864, dopo quasi 70 anni, lasciò perdere ogni pretesa (Penso, 1978, pp. 96 e 282).

3. Antonio Cagnoli presidente (1796-1815)

Dopo la morte di Lorgna con una lettera circolare del settembre 1796 Vivorio indisse nuove elezioni: su 22 soci votanti 19 si espressero per Antonio Cagnoli (1743-1816) probabilmente perché era segretario perpetuo dell'Accademia Agricoltura Arti e Commercio di Verona e l'unico che risiedeva in quella città (*Annali*, 1802, p. IX; Penso, 1978, pp. 104-106). Cagnoli nel 1775 si era trasferito a Parigi dove

aveva realizzato un osservatorio ed era entrato in contatto con l'astronomo Joseph Jerome Lafrançois de Lalande (1732-1807): nel 1785 era ritornato a Verona portando con sé le apparecchiature dell'osservatorio parigino che sistemò in un altro fatto costruire nella sua casa e continuò a pubblicare le sue osservazioni (Penso, 1978, p. 107).

4. Il trasferimento della Società Italiana a Milano

Napoleone Bonaparte il 6 luglio 1797 con una lettera inviata ad Antonio Cagnoli aveva donato alla Società 10.000 franchi (Annali, 1802, pp. X-XIII), chiedendo di fargli sapere "tutto quello che avrebbe potuto fare per migliorare la sua organizzazione e renderla più utile ai progressi delle conoscenze umane" (Penso, 1978, pp. 113-15 e fig. 59). Poco più di tre mesi dopo, a seguito della proclamazione della Repubblica Cisalpina, il 26 ottobre 1797 (nove giorni dopo Campoformio), con un decreto Bonaparte trasferì a Milano la Società Italiana (Lombardi, 1824, c. 4) e a Cagnoli, perché favorisse il trasferimento, conferì presso l'Osservatorio di Brera le stesse funzioni del direttore Barnaba Oriani (1752-1832) (art. 2) (Penso, 1978, pp. 118-121 e figg. 61-62). Pochi giorni dopo con un decreto del 13 novembre 1797 assegnò 10.000 franchi alla Società Italiana (art. 2) e unì i fondi di quest'ultima a quelli della Società Patriottica Italiana (art. 3) (Penso, 1978, pp. 122-123) facendo acquistare dall'Osservatorio di Brera gli strumenti di Cagnoli (art. 1). La Società Patriottica era stata fondata a Milano dal Governo Austriaco e finanziata con un assegno annuo di 9.000 franchi prelevati dal Fondo del Commercio costituito dal dazio sull'esportazione della seta grezza, un'aliquota del quale era stata destinata ad aiutare l'incremento delle arti (Annali, 1802, p. XIV). Il finanziamento definitivo alla Società italiana venne concesso con un decreto legislativo della Repubblica Cisalpina del 13 luglio 1798 con il quale si metteva a disposizione la somma di 9.000 franchi annui finché la sede fosse rimasta nel territorio della stessa Repubblica Cisalpina (Penso, 1978, pp. 132-134 e fig. 66; Marini Bettolo, 1986, pp. 20-29).

5. Le modifiche dello statuto

Cagnoli, poco dopo essere stato eletto presidente, il 28 dicembre 1796 scriveva ai soci per ringraziarli e per invitarli a riflettere sullo statuto: lasciava loro due mesi di tempo per correzioni, eliminazioni o aggiunte che avrebbe fatto circolare tra i soci stessi con la proposta di eventuali modifiche. Ricevuti i loro suggerimenti, il 28 febbraio 1797 preparò uno schema di nuovo statuto per il quale il 21 agosto chiese e ottenne l'approvazione entro due mesi. Lo statuto entrò però in vigore solo il 28 settembre dell'anno successivo e fu pubblicato nel tomo VIII delle Memorie del 1798. Era composto da ventuno articoli: le modifiche più significative furono l'eliminazione dell'obbligo di pubblicazione a Verona delle Memorie e della residenza del Segretario nella stessa città: la durata della carica di presidente fu definitivamente fissata a sei anni (Annali, 1802, p. XV; Penso, 1978, pp. 108-111).

6. Il trasferimento della Società delle Scienze a Modena

Dopo la costituzione di una Scuola Militare a Modena a Cagnoli venne assegnato l'insegnamento di matematica sublime con decreto del 23 aprile 1798. In quell'anno Cagnoli si trasferì a Modena e insieme con lui la sede della Società: segretario venne nominato il fisico reggiano Giovan Battista Venturi (1746-1822) (Penso, 1978, pp. 134-135). A seguito della vittoria degli Austriaci sui Francesi nel 1799 vennero annullati tutti i provvedimenti presi dalla Repubblica Cisalpina per cui la Società venne chiusa. Il presidente dell'Accademia di Agricoltura Commercio ed Arti di Verona, il marchese Alessandro Carlotti, approfittando di quel momento di difficoltà, chiese e ottenne da Cagnoli il trasferimento della Società a Verona (Penso, 1978, pp. 140-143) e Benedetto Del Bene (1749-1825), segretario dell'Accademia di

Verona, ottenne la stessa carica per la Società delle Scienze (Annali, 1802, p. XVI). Vinti gli Austriaci a Marengo dopo il trattato di Luneville del 9 febbraio 1801 venne ricostituita la Repubblica Cisalpina (Annali, 1802, p. XVII): a Cagnoli venne riassegnato l'insegnamento di matematica sublime alla Scuola Militare di Modena e la sede della Società ritornò a Modena.

7. La Società Italiana delle Scienze e i nuovi articoli dello statuto

L'1 maggio 1801 venne nominato segretario Pompilio Pozzetti (1760-1815) bibliotecario della Biblioteca Estense e vicesegretario amministratore Antonio Lombardi: Pozzetti con una lettera del 15 luglio 1801 chiese e ottenne dall'unanimità dei soci di poter aggiungere "delle Scienze" alla denominazione della Società (Annali, 1802, p. XVII; Penso, 1978, pp. 144-145 e 148). Cagnoli aveva proposto e ottenuto di aggiungere allo statuto della Società due articoli: il XXII e il XXIII. Con il XXII venivano istituiti due premi consistenti ciascuno in una medaglia d'oro del valore di sessanta zecchini con relative iscrizioni. Questi premi sarebbero stati conferiti agli autori delle due memorie più utili di ogni tomo: una di matematica pura o mista, e l'altra di fisica non matematica. L'articolo XXIII, approvato il 19 ottobre (Annali, 1802, p. XIX), prevedeva che tra i soci che avessero risposto a tutte le lettere del presidente e del segretario nel corso dell'anno ne fossero estratti sei che avrebbero ricevuto tre zecchini a titolo di rimborso delle spese postali sostenute (Annali, 1802, p. XV). Tuttavia Pozzetti volle inoltre incrementare l'attività della Società aggiungendo allo statuto, con l'approvazione dei soci, nel marzo 1802, un articolo XXIV in base al quale i soci, fisici o matematici o fisico-matematici, venivano invitati a proporre argomenti "in qualunque modo giovevoli a queste scienze, e sempre applicabili ad utile generale dell'Italia" al fine di bandire un concorso pubblico. I tre articoli aggiunti, XXII, XXIII, XXIV furono pubblicati nel 1802 nel tomo IX che per la prima volta recava il titolo di "Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana delle Scienze": nelle pagine introduttive furono inseriti anche gli Annali. Nel primo numero venne per la prima volta fornita una sintesi della storia della Società dalla sua creazione nel 1749 fino a quell'anno 1802 (Annali, 1802, pp. III-XXI; Penso, 1978, pp. 150-151 e fig. 70). Per il primo concorso pubblico venne pubblicato un bando che fu diffuso in tutta Italia. Per il secondo argomento di fisica non partecipò alcun concorrente, mentre il primo argomento di matematica vide la partecipazione di cinque concorrenti, tra i quali fu premiato il modenese Paolo Ruffini (1765-1822) (Penso, 1978, p. 153). Successivamente le Memorie furono pubblicate regolarmente ogni anno, anziché ogni due come aveva previsto il Lorgna, a partire dal X volume edito nel 1803 (Penso, 1978, p. 171 e fig. 81). Gli articoli pubblicati nelle Memorie suscitarono grande interesse da parte di soci di Accademie straniere con cui si attivarono importanti scambi, in particolare l'Institut National des Sciences et Arts di Parigi, il cui segretario Jean Baptiste Delambre (1749-1822), astronomo e matematico, venne eletto socio straniero; l'Accademia Imperiale delle Scienze di San Pietroburgo attraverso il segretario, il matematico Nikita Fus (1755-1826); l'Università di Vilnius in Lituania attraverso il suo rettore Hieronim Stroynowski (1749-1822), astronomo e matematico: divennero tutti corrispondenti con lettera del nuovo segretario Pozzetti (Lombardi, 1824, c. 6; Pozzetti, 1804, pp. XVIII-XIX; Penso, 1978, p. 172). Nel 1805 Cagnoli, con l'approvazione dei soci, apportò modifiche ad alcuni articoli dello statuto per un miglior funzionamento della Società: furono pubblicati nel tomo XII delle Memorie del 1805, in particolare l'articolo IV e il XX nei quali veniva introdotta la figura del vicesegretario amministratore e veniva specificato il suo ruolo, il XXI nel quale si precisavano le funzioni del segretario e il XXII che introduceva membri pensionari cui veniva assegnata una pensione annua di ventiquattro zecchini (Penso, 1978, pp. 180-181 e 457-458).

8. Il secondo trasferimento a Verona

Nel 1806 avvennero nuovi cambiamenti all'interno della Società: il segretario Pozzetti venne nominato bibliotecario presso la Biblioteca Universitaria di Bologna, di cui assunse la direzione nell'anno successivo, ottenendo anche l'insegnamento di storia e diplomatica all'Università. Per questo Lombardi fu incaricato di esercitare temporaneamente la funzione di segretario, ruolo che mantenne per pochi mesi perché Cagnoli fin dal maggio del 1806 aveva chiesto e ottenuto di essere messo in pensione dall'insegnamento di matematica sublime presso la Scuola Militare di Modena per motivi di salute, avendo anche deciso di tornare a Verona. Lombardi nel 1807 lo aveva comunicato ai soci per cui dal novembre di quell'anno, con l'approvazione di diciotto membri, la sede fu per una seconda volta trasferita a Verona, dove, secondo lo statuto, risiedeva il presidente. Nello stesso anno fu anche apportata un'ulteriore modifica allo statuto, pubblicata nel tomo XIII: furono inserite altre precisazioni all'art. XXIV relativo allo svolgimento del concorso pubblico che veniva bandito dalla Società. Nel tomo XIII del 1807 Pozzetti, prima di lasciare la sua carica di segretario, aveva pubblicato la continuazione degli Annali della Società dal dicembre 1805 al gennaio 1807. Nel 1809 Cagnoli, allo scadere del secondo mandato di presidenza, venne rieletto per la terza volta a grandissima maggioranza, nonostante avesse comunicato ai soci di avere bisogno di riposo per problemi di salute. Conferì l'incarico di vicesegretario amministratore a Ottavio Cagnoli, erudito veronese e suo nipote, che nel tomo XIV pubblicò la continuazione degli Annali della Società in nuova veste tipografica (Penso, 1978, pp. 196-197 e fig. 87). Nello stesso anno Lombardi venne eletto socio onorario (Cagnoli, 1809, pp. 1-12).

9. Le difficoltà durante la dominazione austriaca e il secondo trasferimento a Modena

Nel 1815, un anno dopo l'abdicazione di Napoleone e l'occupazione di Verona da parte dell'Austria, Cagnoli riuscì a far pubblicare il tomo XVII delle Memorie senza però averlo sottoposto alla censura preventiva che il Regno Lombardo Veneto aveva imposto alle pubblicazioni, per le quali occorreva ottenere un imprimatur. Fu comminata una grossa multa allo stampatore Mainardi e si volevano sequestrare sia i volumi che i caratteri di stampa che appartenevano alla Società. Il 31 gennaio del 1816 venne imposto allo stampatore l'ordine di sottoporre alla censura preventiva gli articoli che avrebbero dovuto essere stampati nel volume XVIII: una volta ottenuto l'imprimatur, prima di procedere alla stampa del volume, una copia delle bozze avrebbe dovuto essere conservata negli archivi della censura. Per di più nel maggio dello stesso anno il regio delegato provinciale in Verona del governo centrale austriaco chiese informazioni sulle finalità della Società, i suoi compiti, i suoi programmi e la sua sede. A causa di queste difficoltà il presidente Cagnoli avviò trattative per riportare la Società a Modena dove il nuovo sovrano Francesco IV d'Austria Este dal 1814 era al governo dello Stato Estense. Ancora prima però che Francesco IV arrivasse a Modena, la Camera Demaniale l'11 giugno aveva spedito alla Società delle Scienze, attraverso il socio onorario Lombardi che risiedeva a Modena, l'ordine della Reggenza Ducale di consegnare i beni assegnati alla Società stessa dalla Repubblica Cisalpina e di rendere conto della gestione dei fondi. Per questa ragione Cagnoli, non potendo recarsi a Modena per motivi di salute, inviò il vicesegretario Ottavio Cagnoli e inoltrò a Francesco IV una supplica nella quale, perché recedesse dal provvedimento, illustrava le origini della Società Italiana delle Scienze, le attività svolte e la sua utilità per il progresso delle discipline scientifiche. Accompagnò la supplica con l'omaggio dei sedici tomi fino ad allora pubblicati dalla Società e l'indice dei primi quindici (Penso, 1978, pp. 198-199). A seguito di pressanti richieste dell'Intendenza Camerale, Lombardi indirizzava successivamente altre due suppliche all'Arciduca (Penso, 1978, pp. 201-202 e fig. 89). Nel frattempo Paolo Ruffini (1765-1822) (Mor & Di Pietro, 1975, p. 300), ricevuto da Francesco IV che, volendo riaprire l'Università, gli aveva offerto la carica di rettore e due insegnamenti di matematica oltre a quello di materia medica, gli aveva parlato

della Società. Lombardi venne a sapere dai suoi consiglieri che l'Arciduca era orientato a ristabilire la sede della Società a Modena. Per questo Cagnoli pensò di inviare a Francesco IV una delegazione che esprimesse le necessità e i desideri della Società: era costituita, oltre che da Lombardi e dallo stesso Ruffini, da Filippo Re (1763-1817) botanico e agronomo, Sebastiano Canterzani (1734-1818) matematico e fisico e da Giuseppe Venturoli (1768-1846) ingegnere (Lombardi, 1824, c. 7). Il presidente spedì anche una copia del tomo XVIII delle Memorie, l'ultimo che era stato pubblicato nel 1816 (Penso, 1978, p. 204 e fig. 91).

10. Paolo Ruffini presidente (1816-1822)

Nel 1815 si erano conclusi i sei anni di presidenza di Cagnoli: le elezioni furono però indette solo un anno dopo, nel maggio 1816, dal vicesegretario Ottavio Cagnoli, che suggerì di eleggere come nuovo presidente un socio che dimorasse a Modena, avesse un'alta competenza scientifica e si fosse adoperato per ottenere il trasferimento della Società a Modena oltre alla protezione di Francesco IV. I soci accettarono il suo suggerimento ed elessero come presidente l'11 luglio 1816 Ruffini, che però dopo l'annuncio dell'elezione accettò la nomina soltanto il 3 settembre perché temeva che la Società non avesse i mezzi per sopravvivere, per cui prima aveva voluto assicurarsi che li avesse. Il presidente Ruffini conferì la nomina di segretario a Santo Fattori (1768-1819) (Mor & Di Pietro, 1975, pp. 243-244) professore di anatomia all'Università di Modena, e quella di vicesegretario amministratore a Lombardi (Lombardi, 1824, c. 8, Penso, 1978, pp. 216 e 218). I problemi della Società furono risolti tramite un accordo che Ruffini fece con il ministro di Pubblica Economia e Istruzione Luigi Rangoni (1775-1844): le condizioni furono fissate in un decreto del 29 agosto 1816:

1. La stampa delle cose appartenenti alla Società si eseguisce sempre in Modena.
2. In Modena risiedono sempre il segretario ed il vicesegretario amministratore.
3. Il presidente deve benissimo a norma dello statuto potersi eleggere e risiedere in una qualunque delle città d'Italia ma in Modena esister deve sempre sotto gli ordini del presidente una rappresentanza.
4. Si desidera che l'Accademia venga denominata Società Italiana delle Scienze residente in Modena.
5. S.A.R. richiede che sotto la direzione della Società vengano raccolte e poste a cognizione dell'Italia le produzioni e le scoperte fisiche e matematiche estere più vantaggiose alle scienze e alla pratica. Quest'opera, la quale piuttosto che un giornale dovrà essere una collezione delle cose scientifiche estere le più utili, dovrà pubblicarsi secondo che si potranno raccogliere sufficienti materiali. (Penso, 1978, pp. 208, 211)

Il decreto di Francesco IV datato 29 agosto 1816 fu comunicato alla Società il 3 settembre da Ruffini insieme con l'accettazione della sua nomina a presidente. Contestualmente Ruffini pregò il vicesegretario Lombardi di sottomettere l'accordo all'approvazione dei soci, cosa che venne fatta con una circolare dell'8 settembre 1816 a cui fu aggiunta anche la proposta di dividere ogni tomo in due fascicoli, uno di fisica e uno di matematica. Alla Società veniva assicurato che l'Erario ogni quattro anni avrebbe fatto stampare un tomo delle sue Memorie e che le sarebbero state assegnate 2.800 lire annue (Penso, 1978, pp. 210-211). L'accordo entrò in vigore il primo gennaio 1817 e l'Arciduca dispose che le prime 2.800 lire fossero corrisposte anche per il 1816. Ruffini, che era riuscito ad assicurare la pubblicazione delle Memorie, il 24 novembre 1816 si presentò a Francesco IV per ringraziarlo. Inoltre nel 1818 l'Arciduca fece assegnare alla Società gli interessi sui beni sequestrati che avrebbe dovuto riscuotere tra il 1813 e la restaurazione del Ducato e nello stesso anno la Società venne iscritta nell'Almanacco di Corte (Penso, 1978, p. 219 e figg. 96-97). Nel 1819, dopo la morte di Fattori, Ruffini nominò segretario Lombardi, che da due anni era primo bibliotecario all'Estense, e vicesegretario il proprio fratello avvocato Luigi: inoltre per evidenti ragioni di opportunità nel 1820 fece eleggere socio onorario il marchese Luigi Rangoni

(1775-1844), ministro di Pubblica Economia e Istruzione (Lombardi, 1824, c. 9; Penso, 1978, pp. 216 e 218). Erano riprese le relazioni con le principali accademie straniere: l'Institut de France di Parigi, la Royal Society di Londra, l'Accademia Imperiale delle Scienze di San Pietroburgo, quelle di Lisbona e di Berlino e altre minori: la biblioteca continuava ad arricchirsi degli Atti di queste Accademie straniere. Tuttavia Ruffini non chiese mai una sede per cui i volumi erano depositati o presso il presidente o presso il segretario Lombardi che, essendo contemporaneamente bibliotecario dell'Estense, conservava in questa molti volumi appartenenti alla Società. Nelle intenzioni del presidente Modena avrebbe dovuto diventare il centro dell'attività scientifica italiana. Ruffini fece anche un inutile tentativo di recuperare il legato Lorgna partendo da Modena per Verona il 30 settembre 1817 in compagnia del fratello Luigi, del segretario Lombardi e della cognata Maria Ranelli Ruffini: si incontrò con Ottavio Cagnoli e il segretario della Congregazione di Carità. Nell'Archivio Storico dell'Accademia dei XL si conserva un fascicolo manoscritto di Lombardi con il titolo "Giornale di viaggio a Verona" (Penso, 1978, p. 218). Dopo il ritorno da Verona il 20 ottobre le trattative, affidate da Ruffini a due soci veronesi, Manzoni e Ottavio Cagnoli, si protrassero fino al 1821 ma si conclusero nel nulla (Penso, 1978, pp. 218-225). Ruffini morì il 10 maggio 1822 prima di aver terminato i sei anni di presidenza.

11. Luigi Rangoni presidente (1822-1844)

Lombardi, legato a Ruffini da amicizia (Lombardi, 1824) oltre che da parentela avendone sposato la sorella, comunicò ai soci la morte di Ruffini con accorate parole invitandoli a eleggere come presidente un socio abitante a Modena, in rispondenza a quanto era stato richiesto da Francesco IV per finanziare la società. I soci compresero che la cosa più conveniente sarebbe stata eleggere il ministro Luigi Rangoni: fu eletto con 21 voti su 33 (Lombardi, 1824, c. 11). Rangoni fondò anche un'Accademia di Stato trasformando nel 1817 l'antica Accademia modenese dei Dissonanti in Reale Accademia di Scienze Lettere e Arti (Cavazzuti, 1958; Barbieri & Taddei, 2006), tuttora con sede a Modena, Reale e non Ducale giacché a Francesco IV spettava il titolo di Altezza Reale. Inoltre volle che le pubblicazioni che fino a quel momento erano finite a casa del segretario Lombardi o depositate presso la Biblioteca Estense, di cui era bibliotecario, fossero raccolte in un unico luogo: per questo avocò a sé la biblioteca e la ordinò nel proprio palazzo che divenne di fatto la sede della Società (Lombardi, 1824, c. 15). Nominò custode Geminiano Riccardi (1784-1857), professore di matematica pura ed applicata. L'archivio sociale e l'amministrazione rimanevano in casa Lombardi (Penso, 1978, pp. 243-248 e figg. 117-121) che pubblicò gli Annali della Società dall'1 gennaio 1833 alla fine del 1836 nel tomo XXI delle Memorie (pp. 21-22), dall'1 gennaio 1837 alla fine del 1840 nel tomo XXII del 1841 (pp. 12-31) e dall'1 gennaio 1841 alla fin dl 1845 nel tomo XXIII (pp. 18-68). Nel 1824 Rangoni venne rieletto presidente; conservò la carica per 22 anni essendo stato successivamente confermato per altre tre volte consecutive: nel 1829 con 31 voti su 35, nel 1835 con 24 voti su 33 e nel 1841 con 22 voti su 38. La sua nomina a presidente come le sue conferme furono favorite dalla sua carica di Ministro di Pubblica Economia e Istruzione da cui dipendevano i finanziamenti alla Società. Nello stesso anno 1824 Rangoni ripropose il progetto della medaglia che era stato approvato nel 1804 sotto la presidenza di Cagnoli (circolare del 13 ottobre): fu approvato da diciotto soci su trenta. Fu deciso di consegnare i disegni delle medaglie, progettate dal Cagnoli, con il compito di metterli in bella copia all'artista modenese Pietro Beroaldi (noto dal 1821) che disegnò quattro dritti e sette rovesci (Penso, 1978, pp. 244-246 e figg. 117-119). Per il rovescio venne scelta la raffigurazione che era stata proposta da Pozzetti con una piccola modifica: il tavolino su cui scriveva Minerva dove stavano una bilancia e un volume delle Memorie della Società (Pozzetti, 1804, pp. XXVIII-XXIX) venne sostituito da un leggio con sopra una pergamena sorretta da un putto con la legenda CONSOLATIO ITALICA AD INCREMENTUM MATHESEOS ET PHYSICES. Al dritto fu scelto il disegno di Beroaldi in cui

figurava il ritratto del fondatore Lorgna con intorno un ramo di alloro appoggiato sopra un volume delle Memorie, a destra la pila di Alessandro Volta e a sinistra una bilancia e un compasso con la legenda ANTONIUS MARIAE LORGNAE; nel contorno QUAESITAM MERITIS CINGE CORONAM e in esergo l'anno A.MDCCCXVI (Lombardi, 1824, c. 13). Per la realizzazione del conio venne incaricato l'incisore fiorentino Pietro Cinganelli (1760-1827) che lo consegnò nell'estate 1828: la medaglia venne coniata nella zecca di Bologna (Penso, 1978, pp.247-248 e figg. 120-121). Durante la presidenza di Rangoni venne organizzata a Pisa nel 1839 la prima riunione degli scienziati italiani, in base a un "Regolamento generale per le annuali riunioni italiane dei cultori delle Scienze Naturali" edito a Pisa nel 1839. L'iniziativa però venne presa al di fuori della Società: dei cinque organizzatori solo due ne facevano parte: Giovanni Battista Amici (1786-1863), ottico astronomo naturalista, e Gaetano Giorgini (1795-1874), matematico e provveditore generale all'Università di Pisa (Lombardi, 1824, c. 15). Gli altri tre erano Carlo Luciano Bonaparte (1803-1857), naturalista nipote di Napoleone Bonaparte, Paolo Savi, (1798-1871) professore all'Università di Pisa, e Maurizio Bufalini (1787-1875), professore di Clinica Medica all'Università di Firenze (Penso, 1978, pp. 249-251 e figg. 122-123). Questa riunione forse tolse alla Società delle Scienze la prerogativa di rappresentare tutti gli scienziati italiani: certamente durante la presidenza Rangoni crebbe la presenza di soci modenesi. Il 27 giugno 1844 Rangoni morì dopo lunga malattia. Per il funerale celebrato il 2 luglio il fratello Giuseppe, podestà di Modena, fece erigere un monumento funebre altissimo disegnato appositamente dal pittore Luigi Manzini (1805-1866) (Penso, 1978, pp. 260-262 e figg. 127-129).

12. Stefano Marianini presidente (1844-1866)

Dopo la morte di Rangoni nel 1844 Lombardi scrisse ai soci invitandoli a eleggere un nuovo presidente: se non fosse stato un socio residente a Modena sarebbe stato necessario nominare una rappresentanza in questa città. I 4 soci modenesi che avrebbero potuto essere eletti erano: l'astronomo Giuseppe Bianchi (1791-1866) direttore dell'Osservatorio astronomico (Corradini, 2024), il segretario Lombardi, il professore di geometria e architettura Giuseppe Tramontini (1768-1852), il fisico Stefano Marianini (1780-1866) (Mor & Di Pietro, 1975, pp. 270 e 316). Fu eletto Marianini (Lombardi, 1824, cc.16-18): la nomina gli venne comunicata da Lombardi il 4 settembre 1844. Marianini aveva studiato a Pavia dove era stato allievo di Alessandro Volta ed era stato chiamato all'Università di Modena dove gli era stata affidato l'insegnamento di Fisica: nel 1848 venne nominato preside della Facoltà Fisico Matematica, carica che mantenne fino alla messa a riposo nel 1864 (Penso, 1978, pp. 264-268 e figg. 132-133; Marini Bettolo, 1986, pp. 33-35). Lombardi morì a 80 anni il 29 aprile 1847: la sua memoria manoscritta conservata presso la Biblioteca Estense Universitaria di Modena termina in quell'anno, dopo che era stato pubblicato il tomo XXIII nel 1844 ed era già avviata la raccolta dei testi per il tomo XXIV pubblicato nel 1848 (Lombardi, 1824, c. 19). A Lombardi succedette nella carica di segretario Giuseppe Bianchi con cui si avviò un altro significativo periodo di storia della Società che fu sempre più legata al sovrano estense, Francesco V (1819-1875) che era succeduto al padre Francesco IV, morto nel 1846. Marianini mantenne la carica di presidente anche dopo l'unità l'Italia fino al 1866: a lui spettò il difficile e complesso compito del passaggio della Società nel nuovo Regno d'Italia (Penso, 1978, pp. 269-315). L'attività della Società è proseguita ininterrottamente fino ai giorni nostri con il nome di *Accademia Nazionale dei XL* a partire dal 1949 e di *Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL* dal 1979 e continua con la regolare pubblicazione dei tomi delle Memorie disponibili online a partire dal tomo I nell'articolato sito che dà anche conto, oltre che delle pubblicazioni, delle attività scientifiche che l'Accademia ha svolto e sta svolgendo (https://www.accademiaxl.it).

Ringraziamenti

Ringrazio i colleghi e le colleghe della Biblioteca di Scienze Lettere e Arti di Modena e della Biblioteca Estense Universitaria di Modena che con grandissima cortesia e disponibilità seguono le mie ricerche.

Bibliografia

"Annali della Società Italiana delle Scienze" (1802). *Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze*, IX, pp. III-XXI.

Barbieri, F. & Taddei, F. (2006), *L'Accademia Nazionale di Scienze, Lettere e Arti di Modena dalle origini (1683) al 2005*, Modena: Mucchi.

Cagnoli, O. (1809), "Annali della Società Italiana delle Scienze dal gennaio MDCCCVII al marzo MDCCCIX", *Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze*, XIV, pp. 1-12.

Cavazzuti, G. (1958), *I duecentosettantacinque anni della Accademia di Scienze, Lettere e Arti. Modena*, Modena: Accademia di Scienze, Lettere e Arti.

Corradini, E. (2006). *Conquiste artistiche nelle collezioni estensi*. Cinisello Balsamo: Arti Grafiche Amilcare Pizzi.

Corradini, E. (2024). "Giuseppe Bianchi astronomo, fisico e matematico della Restaurazione nello Stato Estense", in Di Mauro, M., Romano, L. & Zanini, V. (eds.), *Atti del XLIII Convegno Annuale della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia*, Padova 5-8 settembre 2023, Napoli: Federico II University Press, pp. 213-220.

Farinella, C. (1993). *L'Accademia Repubblicana. La Società dei Quaranta e Anton Maria Lorgna*, Milano: Franco Angeli.

Lombardi, A. (1824). *Notizia sulla vita e gli scritti di Paolo Ruffini*, Modena: Tipografia Camerale.

Anton Maria Lorgna nel 250° anniversario della nascita (1985), convegno, 28 settembre 1985, Verona Palazzo Erbisti. Verona: Grafiche Fiorini.

Marini Bettolo, G.B. (ed.) (1986). *Lo Stato e i Quaranta. Documenti dal generale Bonaparte ai tempi odierni*, Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.

Mor, C.G. & Di Pietro, P. (1975). *Storia dell'Università di Modena*. Firenze: Olschki.

Penso, G. (1978). *Scienziati italiani e unità d'Italia. Storia dell'Accademia Nazionale dei XL*. Roma: Bardi Editore.

Piva, F. (1993). *Anton Maria Lorgna e l'Europa*. Verona: Accademia di Agricoltura Scienze e Lettere.

Pozzetti, P. (1803). "Annali della Società Italiana delle Scienze", *Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze*, X, pp. XV-XXVI.

Pozzetti, P. (1804), "Annali della Società Italiana delle Scienze", *Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze*, XI, pp. XV-XXXVII.

Pritanio, L. (1704), *Primi disegni della Repubblica letteraria d'Italia rubati al segretario e donati alla curiosità degli altri eruditi da Lamindo Pritanio*. Napoli.

Soli, G. (1756). *Vita del proposto Ludovico Antonio Muratori già bibliotecario del Serenissimo Sig. Duca di Modena*. Venezia: Giambatista Pasquali.

Venturi Barbolini, A.R. (1999). "Percorsi della cultura", in Bini, M. (ed.), *Gli Estensi. La corte di Modena*. Modena: Il Bulino, pp. 141-262.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_27, pp. 235–242
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-27

La divulgazione dell'astronomia in Italia: il passaggio della Cometa di Halley del 1910 nelle conferenze di Elia Millosevich e Augusto Righi[0]

Matteo Boni[1]

[1]Sisfa, Sassuolo, matteob26@gmail.com.

Abstract: In recent decades, the history of science has developed a certain interest in the communication of disciplines to a non-specialist audience, referred to as scientific popularization. We want to provide here a case study for Italian popularization in the early twentieth century, which allows us to observe how astronomy and physics were communicated and how they interacted in the diffusion of new scientific ideas: the passage of Halley's Comet in 1910 in the words of the physicist Augusto Righi and the astronomer Elia Millosevich. To contextualize them, we address the history of scientific popularization and the evolution of knowledge on comets over the centuries. We then identify the analysis criteria applied to the texts considered, starting from the research literature in the history and sociology of science. The historical, social and cultural context in which Millosevich and Righi moved is addressed. A starting point is proposed for possible future studies regarding the changes in scientific communication that occured during the twentieth century, with the return of the comet in 1986. This essay highligths the key topics and contributions of the master's degree thesis titled *The popularization of astronomy in Italy: the case of the passage of Halley's Comet.*

Keywords: Halley's Comet, scientific popularization, History of Astronomy, History of Scientific Dissemination

1. Introduzione

Per due volte nel Novecento è stato atteso e osservato il passaggio della cometa di Halley nei cieli terrestri, creando occasioni per la comunicazione scientifica a tema comete. Nel presente articolo si affronta l'analisi svolta sui testi di due conferenze tenute in Italia in occasione del primo passaggio, nel 1910. Per contestualizzare i due testi è necessario considerarne gli autori e il pubblico cui si rivolgevano, nonché le conoscenze scientifiche disponibili all'epoca sulle comete. Per questo motivo, nei prossimi paragrafi si partirà da una panoramica sull'evoluzione storica delle conoscenze sulle comete e sullo sviluppo della comunicazione scientifica. Successivamente si concentrerà l'attenzione sulla situazione italiana di inizio secolo e l'interesse per la cometa di Halley. Si discuteranno quindi i contenuti e l'analisi dei due testi, dopo aver presentato i criteri utilizzati per l'analisi. Si presenteranno, infine, alcuni possibili sviluppi futuri di questo studio.

2. Evoluzione delle conoscenze scientifiche sulle comete

Due interpretazioni della visione di una cometa hanno prevalso nel mondo mediterraneo ed europeo sin dall'antichità: una che vedeva nelle comete dei "mostri celesti" (Bertozzi, 2023) portatori di grandi eventi, calamità o celebrazioni; l'altra che riteneva le comete un fenomeno meteorologico dovuto all'evoluzione degli elementi aristotelici.

[0] Premio di Laurea SISFA 2024

Queste due interpretazioni del passaggio di una cometa rimasero fino a tutto il Medioevo e al Cinquecento, con rare eccezioni. Nel 1577 Tycho Brahe (1546-1601) misurò la parallasse di una cometa, ricavandone una distanza superiore a quella della Luna e mostrando che si tratta di oggetti celesti. Tale misurazione non fu tuttavia accettata subito e ancora nel 1623 Galileo Galilei (1564-1642) criticava questa interpretazione:

> Quelli che per via della paralasse voglion determinar circa 'l luogo della cometa, ànno bisogno di stabilir prima, lei esser cosa fissa e reale, e non un'apparenza vaga, atteso che la ragion della paralasse conclude ben negli oggetti reali, ma non negli apparenti... aggiunge poi, la mancanza di paralasse rendere incompatibili le due proposizioni d'Aristotile, che sono, che la cometa sia un incendio, ch'è cosa tanto reale, e sia in aria molto vicina alla Terra. (Galilei, 2008, pp. 43-44)

Nella seconda metà del Seicento, però, le comete sono ormai definitivamente considerate oggetti celesti e la discussione si spostò sulla determinazione delle loro orbite. Isaac Newton (1643-1727) propose nei suoi *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) un metodo per calcolare le orbite con poche osservazioni. Applicando tale metodo alle ventiquattro comete apparse tra il 1337 e il 1698 di cui aveva dati a disposizione, Edmond Halley (1656-1742) osservò che:

> E invero ci sono molte cose che mi fanno credere che la cometa che Apiano osservò nel 1531, fosse la stessa che Keplero e Longomontano più accuratamente descrissero nell'anno 1607; e che io stesso ho visto tornare e osservato nell'anno 1682... penso di potermi azzardare a predire che ritornerà di nuovo nell'anno 1758. (Halley, 1929, pp. 94)

Nel corso del Settecento viene migliorata la precisione dei metodi per i calcoli orbitali in attesa del ritorno previsto da Halley e si iniziò a discutere della costituzione e origine delle compete. I primi progressi su questi temi avvennero però solo nella seconda metà dell'Ottocento con l'applicazione della fotografia e, soprattutto, della spettroscopia all'ambito astronomico. In particolare, Giovanni Battista Donati (1826-1873) ottenne il primo spettro di una cometa, mentre Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910) identificò l'orbita di alcuni sciami meteorici con quella di alcune comete, dimostrando il legame tra i due fenomeni. Tra gli anni Settanta e Ottanta dell'Ottocento si sviluppò il primo modello di nucleo cometario a mucchio di sassi, nel quale il nucleo è visto come un insieme di rocce e pietrisco che orbita insieme intorno al Sole immerso in un'atmosfera gassosa. Essa si attiva quando la cometa si avvicina troppo al Sole nella sua orbita generando la chioma e le code. Questo modello di nucleo cometario sarà superato a metà Novecento con il modello della palla di neve sporca di Fred Lawrence Whipple (1906-2004), in cui il nucleo è un corpo unico costituito principalmente di ghiacci e con qualche componente rocciosa. Le osservazioni tramite sonda avvenute a partire dagli anni Ottanta del Novecento hanno ulteriormente modificato il modello di nucleo cometario, dall'idea di una "icy dirtball" (Keller, 1989) che inverte essenzialmente il modello di Whipple, con la componente rocciosa come principale, ai più recenti risultati dovuti alla missione ESA Rosetta (2004-2016).

3. Comunicare le scienze

La comunicazione della scienza da parte di specialisti verso un pubblico non è un'attività recente.

> Se con "divulgazione scientifica" s'intende uno strumento della comunicazione scientifica che si forma al crocevia tra un mercato per il libro, le esigenze e le curiosità di un pubblico di non esperti e quelle degli scienziati di comunicare con i colleghi di altre specialità e con la società, è con le prime fasi dell'uso della stampa che compaiono i primi testi di divulgazione. (Govoni, 2002, p. 43)

Nel corso del Seicento si inizia ad ampliare la platea di possibili lettori interessati a questioni scientifiche e si sviluppano diversi generi per comunicare a pubblici differenti. Le *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686) di Bernard Le Bovier de Fontenelle (1657-1757) furono uno dei primi libri di grande successo della divulgazione scientifica europea in età moderna, nella forma di dialogo che sarà diffusa

nella divulgazione del secolo successivo in quanto utile per gli scopi educativi e di sviluppo sociale caratterizzanti la scienza come sapere utile nel Settecento illuminista.

La progressiva specializzazione degli studi scientifici porta nel corso dell'Ottocento alle riviste di scienza per tutti, strumento di dialogo tra esperti di settori di ricerca differenti e di diffusione di sapere pratico o che desti meraviglia nel lettore non esperto. Con le innovazioni tecnologiche e le scoperte celebrate dal Positivismo come segni di modernità, si afferma una distinzione netta tra produttori e consumatori di scienza, pur rimanendo un'idea di continuità tra questa e il senso comune. Si sviluppano gradualmente e parallelamente una scienza accademica ed una scienza popolare, fatta da appassionati. Le comunità degli esperti e degli appassionati possono ancora contribuire allo sviluppo delle scienze e comunicare tra loro, ma la differenziazione si farà sempre più netta fino ai primi decenni del Novecento.

Nel corso del Novecento la comunicazione della scienza verso la popolazione non esperta cambierà notevolmente. Dalla scienza per tutti si passa inizialmente a una volgarizzazione scientifica in cui l'esperto semplifica i contenuti per un pubblico ignorante e non in grado di capire le terminologie scientifiche (deficit model). A partire dalla seconda metà del secolo si sviluppano nuovi approcci, volti a migliorare il rapporto tra esperti e pubblico, che porteranno alla nascita del Public Understanding of Science (PUS), formalmente associata alla pubblicazione del *Bodmer Report* (1985) ed ai successivi sviluppi, quali i modelli di coinvolgimento del pubblico del nuovo millennio.

3.1. La situazione italiana tra l'Ottocento e la Belle Époque e la comunicazione delle scienze

Mentre l'industrializzazione e gli ideali positivisti si sviluppano in Regno Unito, la penisola italiana è divisa e percorsa dai moti risorgimentali. Raggiunta l'unificazione, il nuovo Stato si deve confrontare con diversi problemi, tra i quali l'alto tasso di analfabetismo: "nel 1861 il primo censimento svela che il 75% degli italiani è analfabeta e, secondo i calcoli degli storici, in realtà non più del 10-12% della popolazione è davvero alfabetizzata" (Govoni, 2002, pp. 811-812), con enormi differenze tra le diverse regioni. Questo comporta che i lettori della scienza popolare sono soprattutto uomini e donne della ricca borghesia e delle nuove classi media e medio-bassa. Nonostante gli sforzi comunicativi della prima generazione di scienziati post-unitari, solo nelle poche zone industriali le opere di scienza per tutti riescono a raggiungere qualche lettore delle classi più povere.

Tra l'ultimo decennio dell'Ottocento e l'inizio del Novecento la diminuzione di titoli di scienza popolare, legata anche ad altri fattori contingenti quali la crisi economica internazionale di fine XIX secolo, è indice di un diverso impegno nella comunicazione per non specialisti della generazione di scienziati che si è formata nei primi decenni successivi all'Unità d'Italia, concentrati nell'aumentare la qualità della produzione scientifica nazionale. Non mancano comunque pubblicazioni e conferenze divulgative.

4. La società italiana del 1910 e il passaggio della Cometa di Halley

All'inizio del Novecento l'alfabetizzazione della popolazione italiana è in lento miglioramento: nel censimento del 1901 risulta analfabeta il 48% della popolazione (Govoni, 2002, p. 109), mentre nel 1911 il valore è sceso poco sotto il 40%[1] (ISTAT, 2012, "7. Istruzione", p. 349). Gli scienziati comunicano con un pubblico di non esperti o esperti di altri settori tramite conferenze, lezioni nelle università popolari, scrivendo libri e articoli su riviste di scienza popolare, come *La Scienza per Tutti* (1879-1943).

[1] Le curve nella figura 7.1 sono divise per genere, mostrando per il 1911 valori approssimativamente del 32% di analfabetismo per i maschi e del 42% per le femmine.

4.1. L'interesse per il passaggio della Cometa di Halley

Il passaggio della cometa di Halley nei cieli terrestri era previsto per la primavera del 1910. Vi erano molte attese nel mondo scientifico per il ritorno di un astro così noto alla luce delle novità tecniche sviluppate dopo il suo precedente passaggio nel 1835, in particolare la fotografia e la spettroscopia. A seguito delle prime osservazioni dell'orbita della cometa dopo il suo avvistamento nel 1909, gli astronomi avevano calcolato che la Terra avrebbe potuto attraversare la coda della cometa di Halley nella notte tra il 19 e il 20 maggio 1910, quando il nucleo sarebbe stato a circa 24 milioni di chilometri di distanza dal pianeta. Ciò generò interesse tra la popolazione soprattutto grazie alle dichiarazioni di alcuni celebri astronomi, come quelle del francese Camille Flammarion nel "Bulletin de la Société astronomique de France" riprese anche su riviste italiane:

> Non è probabile che l'umanità perisca per avvelenamento prodotto da gas deleteri della coda della cometa. Una combinazione fra l'ossigeno dell'atmosfera e l'idrogeno della cometa vorrebbe dire la soffocazione completa del genere umano. Se invece avvenisse una diminuzione di azoto, la razza umana perirebbe in un parossismo di gioia, di delirio e di follia universale. L'ossido di carbonio porterebbe invece l'intossicazione dei polmoni. Ma l'analisi spettrale non ci ha ancora rivelato quali gas predomineranno nella coda della cometa. (Flammarion, 1910, p. 39)

Tra i gas rilevati negli spettri di precedenti comete, destava qualche preoccupazione il tossico cianogeno (molecola composta da due ioni cianuro, $(CN)_2$) che, se presente nella coda della cometa di Halley, si pensava potesse mescolarsi con l'aria e venire respirato, nella notte dell'incontro. Inoltre, l'inattesa apparizione di un'altra cometa molto luminosa a fine gennaio (la Grande Cometa del 1910, C/1910 A1) contribuì all'interesse pubblico per questi corpi celesti. Nei mesi precedenti l'incontro tra la Terra e la coda della cometa, gli astronomi svolsero conferenze sul tema in circoli e accademie in cui ridimensionavano le attese: "La tenuità della massa della cometa [è tale che] la terra non ha nulla da temere, così come non ha nulla da temere il Monte Bianco quando viene investito da una nuvola" (Celoria, 1910); sui giornali si trovano, soprattutto nei giorni intorno al previsto incontro, pubblicità a tema e articoli che ironizzano su episodi legati all'osservazione della cometa o che la utilizzano come metafora nella cronaca.

5. Le conferenze di Elia Millosevich e Augusto Righi

Tra le conferenze riguardanti il passaggio della cometa di Halley tenute nel 1910, ci sono giunti i testi integrali di due conferenze. La prima, *Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley*, fu tenuta il 26 febbraio 1910 all'Istituto di Fisica di Roma da Elia Millosevich (1848-1919), astronomo del Collegio Romano, e pubblicata nella rivista "Conferenze e Prolusioni" del maggio 1910 (Millosevich, 1910). La seconda, *Comete ed elettroni*, tenuta il 22 giugno 1910 quale discorso inaugurale della seduta plenaria della R. Accademia delle Scienze di Bologna da Augusto Righi (1850-1920), fisico presso l'Università di Bologna, riportata nel "Supplemento delle Memorie della Reale Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna" e pubblicata come volume, con lo stesso titolo, da Zanichelli più tardi (Righi, 1910; 1911) e tradotta in tedesco nel 1911.

5.1. I temi affrontati nella conferenza di Millosevich

Dopo una breve introduzione sull'evoluzione storica delle conoscenze relative alle comete, Millosevich si sofferma sui problemi orbitali: in particolare, il dubbio che tutte le orbite cometarie siano ellittiche e le perturbazioni dovute ai grandi corpi del Sistema Solare. Millosevich accenna successivamente a diversi fenomeni osservati (la disgregazione dei nuclei cometari operata dal Sole, il legame tra comete e sciami meteorici), alla costituzione delle comete e ai loro spettri, per introdurre i dubbi e le teorie fisiche in studio con le quali si provano a spiegare le osservazioni di questi corpi celesti:

> D'onde viene il riscaldamento della materia cometaria e la sua luce propria? Si può mai ammettere

> che la semplice energia termica del sole sia capace di giustificare anche a grandissime distanze dal sole gli spettri degli idrocarburi? È probabile che avvengano scariche elettriche fra le particelle solide enormemente piccole attraverso i gas che le inviluppano, scariche dovute all'azione induttiva del sole sulle nubi cometiche. . . Forse tanto la teoria elettrica quanto quella della pressione della luce potrebbero coesistere, poiché quest'ultima è dovuta ad una reazione elettromagnetica, e non è improbabile che le minutissime particelle di materia abbiano cariche elettriche. (Millosevich, 1910, p. 163)

Nell'ultima parte della conferenza, Millosevich si concentra sulla cometa di Halley, ripercorrendo la storia delle previsioni dei suoi passaggi passati e parlando infine del prossimo passaggio, per il quale afferma che l'incontro tra pianeta e coda della cometa "è incerto in tutte le sue parti, e qualora si verificasse, l'inconcepibile tenuità della coda. . . può dar luogo soltanto a qualche tenue fenomeno luminoso e forse a qualche innocua azione elettromagnetica di ben difficile previsione, e forse anche a nulla di tutto ciò" (p. 164).

5.2. I temi affrontati nella conferenza di Righi

Sin dall'introduzione, il testo di Righi definisce il particolare approccio del fisico all'argomento:

> vi parlerò di comete... dal punto di vista dei fenomeni fisici che in esse hanno sede, o che per esse possono sorgere in altri corpi celesti e nella nostra terra in particolare. Ciò che mi permetterà di presentare alcune nuove vedute e di fare qualche utile ravvicinamento. Si tratta in realtà di congetture non direttamente controllabili; ma tali congetture sono giustificate, direi quasi imposte, da leggi e risultati sperimentali incontroversi, e particolarmente da quelli che, scoperti nel corso di questi ultimi anni, hanno generato una evoluzione così profonda nei concetti fondamentali della filosofia naturale, che si stenterebbe forse a trovarne una analoga nella storia del pensiero umano. Dovrò dunque parlarvi, non solo di onde elettromagnetiche o luminose, ma altresì di ioni e di elettroni; però cercherò di farlo colla massima discrezione procurando di non dimenticare, che non tutti quelli che mi ascoltano possono avere con quei vocaboli quotidiana famigliarità. (Righi, 1911, p. 2)

Righi utilizza le comete come un ideale laboratorio di fisica in cui osservare alcuni fenomeni, dopo una loro descrizione sperimentale. Parla di pressione di radiazione e della sua applicazione ai gas e alla creazione delle code cometarie, della teoria atomica (in particolare di ioni ed elettroni) e dei fenomeni elettrici che potrebbero avvenire nelle comete, e svolge una serie di ragionamenti che lo portano ad affermare che la parte visibile della coda di una cometa è solo una parte di essa, quella in cui le particelle che la costituiscono non scarseggiano e pertanto: "il passaggio della terra entro le parti periferiche d'una coda cometaria può avvenire anche quando, stando alle osservazioni dirette, si sarebbe indotti a credere, che il nostro globo passi invece a qualche distanza" (p. 50). Poiché la conferenza avvenne circa un mese dopo il previsto incontro, Righi poté concludere l'intervento raccontando i primi risultati sperimentali degli studi svolti durante l'incontro tra la Terra e la coda della cometa di Halley, concludendo "che nessun effetto grandioso si è rivelato per opera della cometa di Halley, e che tutt'al più non ci ha regalato che un poco di pulviscolo, il quale finirà per cadere sino alla superficie del suolo" (p. 57).

6. I criteri di analisi dei testi utilizzati

I testi delle due conferenze considerate in questo articolo sono stati analizzati secondo i criteri proposti in tre articoli scelti dalla letteratura di storia e sociologia della scienza (Fahnestock, 1986; Turney, 2004; Kapon, 2014), per comprendere come è costruito il discorso in generale e per evidenziare l'utilizzo di eventuali strumenti retorici o letterari specific.

Fahnestock applica alla scrittura scientifica la retorica classica e tecniche di close reading tipiche dell'analisi del discorso per osservare cosa accade quando la comunicazione scientifica passa dalle pubblicazioni per gli esperti a quelle per un pubblico generale. Dei metodi proposti nell'articolo, nell'analisi

delle conferenze di Millosevich e Righi sono stati utilizzati la classificazione nei tre tipi di oratoria aristotelica ("forense, deliberativo, epidittico") e la "tassonomia dei tipi di affermazione nel discorso scientifico", che identifica cinque tipi di affermazioni a seconda del grado di certezza portato: dal tipo 5, le affermazioni più certe, al tipo 1, le affermazioni più apertamente speculative. Fahnestock nota, comunque, come la sensibilità a piccoli cambiamenti di questa tassonomia possa introdurre un rigore eccessivo poiché il grado di certezza veicolato da una affermazione può dipendere più dal contesto che dalla formulazione.

Turney propone una analisi dei testi divulgativi che parte dalla centralità della spiegazione nella comunicazione di novità scientifiche ad un pubblico generico attraverso una storia (con un cast, una messa in scena e delle conseguenze), in modo simile a quanto avviene nell'insegnamento di argomenti scientifici consolidati. Identifica quindi quattro fasi della spiegazione: "creare differenze", in cui la diversa conoscenza dell'argomento tra autore e lettore mette in moto la comunicazione; "costruire entità", in cui si creano le risorse su cui sarà costruita la spiegazione (anche con l'utilizzo di analogie, metafore, marcatori di imprecisione); "trasformare la conoscenza", in cui si utilizzano le risorse e si trattano anche estesamente singoli argomenti per sviluppare la spiegazione (con un ruolo chiave per metafore, analogie e narrative); "dare significato alla materia", in genere tramite il racconto di esperimenti reali, l'uso di esperimenti mentali o dimostrazioni e di alcuni espedienti retorici e letterari come l'immedesimazione nell'entità di cui si tratta, che ne consolidano la spiegazione e la compression.

Kapon mostra come in un articolo divulgativo sia possibile sviluppare una argomentazione alternativa a quella strettamente scientifica per spiegare al pubblico generalista un concetto, mantenendone il senso di derivazione, ma ponendolo su basi differenti. In particolare, utilizzando la storia della scienza e la natura dell'indagine scientifica. In particolare, Kapon individua cinque criteri: l'utilizzo di "analogie" e metafore; la "estensione di categoria", cioè un ampiamento delle proprietà di certe categorie per consentire di inserirvi nuovi elementi; l'utilizzo di "stories" e narrazioni, tra le quali l'uso della storia della scienza come narrativa, di esperimenti reali o mentali raccontati e descritti, l'utilizzo e risoluzione di un conflitto cognitivo; il "rivolgersi esplicitamente al pubblico", per evidenziare l'importanza di un argomento o con domande vicine al senso comune; l'uso della retorica aristotelica, richiamato da Fahnestock (1986).

7. Risultati dell'analisi dei testi

Il testo in volume della conferenza di Righi è suddiviso in sei capitoli, che sono stati analizzati separatamente. Il testo della conferenza di Millosevich è diviso in due parti: la prima generale sulle comete, la seconda riguardante la cometa di Halley. Ai fini dell'analisi, la prima parte è stata divisa in due blocchi: i primi cinque paragrafi, che svolgono un'introduzione storica e parlano del moto delle comete; i due paragrafi successivi, che accennano alla fisica delle comete.

Applicando i criteri individuati da Fahnestock (1986) si nota che in entrambi i testi domina una oratoria "forense". In entrambi i testi l'oratoria "deliberativa" è assente mentre quella "epidittica", celebrativa, è limitata a poche occasioni: il paragrafo iniziale e quello finale nella conferenza di Millosevich; il primo e l'ultimo capitolo, oltre a due paragrafi sul metodo scientifico e in memoria di Adolfo Bartoli (1851-1896) in altri capitoli, nel testo di Righi. Per quanto riguarda la tassonomia dei tipi di affermazione, nel testo di Millosevich dominano affermazioni di *tipo 3* (informazione leggermente discutibile) e *4* (certezza esplicita), mentre sono completamente assenti affermazioni di tipo 1 (speculazione). Nel testo di Righi, pur dominando le affermazioni di *tipo 4*, sono invece molto presenti le affermazioni speculative e discutibili (*tipo 1-3*). Delle quattro fasi della spiegazione indicate da Turney (2004) non si riesce a identificare con certezza tutto il percorso: nel testo di Millosevich non si individua il "creare differenze" iniziale (se non per il ruolo di esperto di Millosevich stesso), mentre le altre fasi sono riscontrabili in maniera abbastanza chiara nella costruzione del concetto di orbita di una cometa e della incerta

composizione fisica della cometa. Nel testo di Righi si osservano quasi tutte le fasi solo nello sviluppo del concetto di pressione di radiazione, mentre il "costruire entità" è riscontrabile in quasi tutti i capitoli, con marcatori di imprecisione frequenti, a testimoniare la natura incerta dei ragionamenti sulla costituzione della coda delle comete e i fenomeni elettrici in esse presenti. Rispetto ai criteri individuati da Kapon (2014), nel testo di Millosevich si individuano "l'utilizzo della storia" della scienza come narrativa, nel primo blocco e nella parte riguardante la cometa di Halley, la "estensione di categoria" e lo "evidenziare l'importanza" di alcuni concetti nella prima parte. Nel testo di Righi si osserva soprattutto il "rivolgersi esplicitamente al pubblico", sia per evidenziare l'importanza di qualche osservazione che utilizzando domande vicine al senso comune. In entrambi i testi, la selezione delle frasi che rientranti in alcune delle categorie individuate da Kapon (2014) potrebbe risultare molto soggettiva.

8. Conclusioni

Dall'analisi dei due testi si osserva il diverso approccio di Millosevich e Righi allo stesso tema: le comete. Nella sua conferenza, l'astronomo Millosevich focalizza l'attenzione sulle conoscenze certe e usa una narrazione di tipo storico per raccontarne lo sviluppo. Il fisico Righi nel suo intervento si focalizza soprattutto sulle novità, rendendo partecipe il suo pubblico dello sviluppo in corso nella fisica del periodo. Utilizza le comete come un laboratorio di fisica da analizzare, svolgendo una serie di ragionamenti concatenati e spesso speculative. Mentre i criteri di analisi più generali dei testi individuati per l'analisi sono risultati utili per identificare somiglianze e differenze tra le due conferenze, i criteri di analisi più specifici spesso non sono risultati di facile applicazione nei testi. Infine, in prospettiva futura si potrebbero studiare altre fonti relative alla comunicazione avvenuta in Italia per il passaggio della cometa di Halley nel 1910. Inoltre, si potrebbe studiare come è cambiata la comunicazione scientifica in Italia in occasione del successivo passaggio della cometa di Halley, nel 1986, tenendo in considerazione le differenti conoscenze scientifiche disponibili, la diversa società raggiungibile e i nuovi media disponibili per la comunicazione scientifica.

Ringraziamenti

Il presente articolo deriva dalla tesi di laurea magistrale sulla divulgazione dell'astronomia in Italia a inizio Novecento, dal titolo *La divulgazione dell'astronomia in Italia: il caso del passaggio della Cometa di Halley*, nata nel contesto degli studi sul fisico Augusto Righi in occasione del centenario dalla scomparsa su proposta del relatore, prof. Eugenio Bertozzi, che ringrazio per la guida e il confronto nello sviluppo del lavoro. Vorrei ringraziare la SISFA e in particolare il Comitato per il Premio di Laurea 2024 per aver ritenuto la mia tesi di laurea magistrale degna di riconoscimento. Vorrei infine ringraziare tutti coloro che hanno fornito preziosi spunti su questo lavoro durante il XLIV Congresso Nazionale SISFA, spunti che sono confluiti in questo articolo.

Bibliografia

Bertozzi, E. (2023) "Dal cielo delle regolarità al cielo dell'eccezionalità: i mostri celesti di Ulisse Aldrovandi", *Aldrovandiana*, 2(1), pp. 35–60.

Celoria, G. (1910). "Supposte influenze e pericoli delle comete", *Conferenze e prolusioni*, III(9), pp. 178-180

Fahnestock, J. (1986). "Accommodating Science: the Rethorical Life of Scientific Facts", *Written Communication*, 3(3), pp. 275-296.

Flammarion, C. (1910). "Probabile incontro della cometa di Halley colla Terra", *La Scienza per tutti*, p. 39.

Galilei, G. (2008). *Il Saggiatore*. 2nd ed. Milano: Feltrinelli.

Govoni, P. (2002). *Un pubblico per la scienza: la divulgazione scientifica nell'Italia in formazione*. Roma: Carocci.

Govoni, P. (2012). "La scienza e il suo pubblico", in Eco, U. (ed.) *L'Ottocento: l'età del Romanticismo. Filosofia, scienze e tecniche*. Roma: Gruppo L'Espresso, pp. 801-815.

Halley, E. (1929). "A Discussion of Elliptical Orbits of Comets", in Shapley, H. & Howarth, H.E. (eds.) *A Source Book in Astronomy*. New York: McGraw-Hill, pp. 94-102.

Istat (2012). *L'Italia in 150 anni: sommario di statistiche storiche 1861-2010*. Roma: Istat.

Kapon, S. (2014). "Bridging the knowledge gap: an analysis of Albert Einstein's popularized presentation of the equivalence of mass and energy", *Public Understanding of Science*, 23(8), pp. 1013-1024.

Keller, H.U. (1989). "Comets – Dirty snowballs or icy dirtballs?", in Hunt, J.J. & Guyenne, T. (eds.) *Physics and Mechanics of Cometary Materials*, Proceedings of an International Workshop, Münster, Germany, October 9-11, 1989. Noordwijk: Esa, pp. 39-45.

Millosevich, E. (1910). "Sulle comete e in ispecial modo sulla cometa di Halley", *Conferenze e Prolusioni*, III(9), pp. 161-164.

Righi, A. (1910). "Comete ed elettroni", *Memorie della R. Accademia delle scienze dell'Istituto di Bologna. Supplemento*, ser. 6, 7, pp. 10-31.

Righi, A. (1911). *Comete ed elettroni*. Bologna: Zanichelli.

Turney, J. (2004). "Accounting for explanation in popular science texts-an analysis of popularized accounts of superstring theory", *Public Understanding of Science*, 13(4), pp. 331-346.

History of Physics and Astronomy
(20th century)

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_28, pp. 245–252
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-28

Presentation of a 'Mach Corpus' and its preliminary analysis

Enrico Gasco[1]

[1]Zirak S.r.l., Mondovì (Cn), enrico.gasco@zirak.it.

Abstract: In recent years, an increasing amount of digitally available historical texts has become available, and the use of computational tools to explore such masses of sources can be of invaluable help to historians of science. The computational approach has made new tools and models available for historical analysis which have allowed an interpretation of historical texts less linked to the preferences of the scholar. For example, in the history of ideas/concepts, the computational approach has allowed the interpretative models constructed by science historians to be verified in a more precise manner. In this presentation, we want to introduce a corpus of Mach's English-language writings in such a way that it can be used for computational analysis. In particular, the corpus will be annotated for subsequent conceptual analysis. Furthermore, we will try to highlight some characteristics of the corpus as a whole and its initial studies with Machine Learning techniques.

Keywords: Mach, Machine Learning, Computational History

1. Introduction

In recent years, an increasing amount of digitally available historical texts has become available, and the use of computational tools to explore such masses of sources can be of invaluable help to historians of science. Managing the explosion of electronic document archives requires new tools to automatically organize, search, index, and browse large collections.

Using computational tools to explore the history of science opens up exciting possibilities for deepening our understanding of the past. These tools allow historians to manage large data sets, create connections between different disciplines, and interact with historical documents in entirely new ways.

One of the most frequently used computational tools is the one based on Natural Language Processing (NLP) used in studying concepts and their interconnections in large collections of historical texts. For example, Van Wierst et al. (2016) developed a computational approach to analyze the degree of similarity between different books by comparing the number of occurrences of certain key terms. A similar approach was provided by Alfano (2018), who analyzed a set of books by a given author – in his case Nietzsche – taking into account the passages in which certain terms are present. Another interesting way of using NLP was proposed by Betti et al. (2019) and Overton (2013). Both use NLP to identify passages or sequences of words. Still, while the former subsequently uses human experts to classify these passages according to previously defined criteria, the latter applies a series of algorithms on a random selection of articles and then generalises the result to the entire data set. One of the advantages of using computer tools – such as NLP – is that they provide tools to visualize the results (graphs, diagrams, networks) that facilitate subsequent second-level analysis by historians.

The identification of concepts in a given set of texts is facilitated by the machine learning technique of topic modelling; through it, texts are classified based on the topics that represent them. Among the various algorithms that are most used, it is worth mentioning the Latent Dirichlet Allocation (LDA) that for example Hall et al. (2008) used to study the evolution of some ideas in the field of Computational Linguistics in a given period (1978-2006). The topic modelling technique and its use in the social sciences

have been analysed by Pääkkönen and Ylikoski (2021) who highlighted how these techniques allow the discovery of unexpected information in large and diversified corpora, thus improving the transparency of the interpretative process. Starting from 2010, with the work on word-embedding techniques, a 'geometric' approach has been attempted to identify the relationships between concepts in a corpus of texts: an example of this is the project by Bloem et al. (2019) who address the problem of consistency of semantic space by focusing on a dataset that collects Quine's contributions. On a different line – which does not contemplate a historical analysis – is the work by De Sanctis and Rizzi (2023) who use word-embedding algorithms to build conceptual spaces with the task of representing a set of articles downloaded from an online repository. On the use of conceptual spaces in the historical context, the present author also proposed a contribution to a SISFA conference in 2012 (Gasco, 2012), where some passages by Mach and Einstein relating to Mach's Principle were analyzed. One of the difficulties that had been encountered in that project was the small number of texts for an appropriate analysis from a computational/geometric point of view; this article represents a continuation of that project and focuses on the proposal of a Machian Corpus and its initial analysis with machine learning techniques.

2. Mach Corpus

Since the middle of the last century – in computation linguistics and model language – collections of texts have been created – which take the name of corpora – structured in such a way as to be able to be treated with automatic tools. Since the 2000s, numerous corpora have been created in the most varied fields and in languages not strictly related to English (for example, there are corpuses of texts in ancient Greek); in the historical field, some non-strictly standard corpora have been built by recovering texts from online archives (arXiv, Gutenberg project, Jstor) and other more specific ones such as the Royal Society Corpus which includes the articles of the 'Philosophical Transactions of the Royal Society of London' from 1665 to 1920.

In building a corpus – in addition to identifying the texts contained in it – one of the main problems is to establish its representation and which data must be included. In general, the representation is built through meta-data that encapsulates the information that you want to preserve and is implemented through tag-based languages, such as HTML, XML, or JSON so that the corpus can be read by automatic tools. This information can be the most varied; it ranges from the organization of text – subdivision into chapters, paragraphs, sentences – to the syntactic structure of sentences – through post taggers – to end with specific annotations related to the content of some paragraphs. Therefore, the choice of the corpus format is important and we have decided to use the vertical text format (VRT) which represents the input format for the Corpus Workbench (CWB), a set of tools that allow you to efficiently encode and query corpora[1] . As for the information to be saved, we will focus on the text structure, images, formulas, and notes, leaving out the pos tagging information which is the least significant for historical research.

In this article, we want to present a corpus that collects some of Mach's works downloaded from English-language online repositories and formatted in VRT. The works of Mach that we will discuss are the following:

- HCE: *History and root of the principle of the conservation of energy* (1872): traduced by P. E. B. Jourdain (1911)
- PSL: *Popular Scientific Lectures* (1894): traduced by T.J. McCormack (1895)
- PTH: *Principles of the theory of heat – Historically and Critically Elucidated* (1896): traduced by T.J. McCormack (1904)

[1] . There is a command line interface (CQP) and a web-based interface (CQPweb)

- SM: *The science of Mechanics* (1883): traduced by T.J. McCormack (1902)
- AS: *The Analysis of Sensations and the Relation of the Physical to the Psychical* (1905): traduced by C.M. Williams (1914)
- KE: *Knowledge and error – Sketches on the Psychology of Enquiry* (1905): traduced by T.J. McCormack (1926)
- SG: *Space and geometry in the light of physiological, psychological and physical inquiry* (1906): traduced by T.J. McCormack (1907)
- PPO: *The principles of physical optics* (1913): traduced by J.S. Anderson and A.F.A Young (1926)

3. Mach Corpus: construction and first analysis

The construction of a corpus in VRT format requires a rather complex process consisting of several steps that we will list below, avoiding describing in detail the XML structure that is the basis of the VRT.

First of all, all the works must be obtained in text format[2] so that they are processable through Python – the programming language we have chosen. Fortunately, this first point is relatively easy to pursue since the works are downloaded in PDF format, from which it is possible to easily extract the ASCII content[3]. The text is also analyzed by the NLTK library[4] that allows us to divide it into sentences, and tokens and possibly use the library's POS tagging to obtain the fine structure that interests us to build the VRT format. However, there are still some aspects that must be done manually and that require a lot of time: first of all, it is necessary to determine semi-automatically the subdivision into chapters, pages, and paragraphs. Secondly, it is necessary to determine the images, formulas, and notes that are present in considerable quantities in Mach's work. The images are obtained from the text in PDF format through a simple application developed in C#, as well as the formulas, which are typed by hand in Latex format and transformed into images through a simple function: for both types of images, the corresponding file name is indicated in the corpus. Finally, as regards the notes, they must be determined by hand, they are not divided into sentences and determine a paragraph uniquely. All this information is represented in XML format, through tags and attributes, which as mentioned we will not go into detail.

Corpus/Book	N. words	N. sentences
MC (Mach Corpus)	45861	83171
HCE	4503	1160
AS	8824	4323
KE	19343	5011
PSL	9558	4291
PPO	7504	5646
PTH	15717	4083
SM	7253	4852
SG	4584	1538

Tab. 1: General information on Mach corpus

With the documents in VRT format available, it is now possible to give some general information about the Machian corpus. If you apply some simple Python scripts you can obtain the number of unique words in the corpus and the number of sentences present: the data are reported in Tab. 1.

[2] A binary format like MS Word is not usable.

[3] The text is also cleaned from spurious characters.

[4] Downloaded from www.nltk.org

As can be observed, the corpus presents a relatively small number of words compared to the standards, especially for its geometric treatment where a vocabulary with millions of terms is required. Despite this difficulty, we can proceed to determine the most important concepts of the entire corpus and of the individual texts. As we indicated in the introduction, a possible strategy is to use LDA to determine the topics of the corpus, but this algorithm also requires a very large dataset; we, therefore, limit ourselves to using a simpler algorithm such as TFIDF (term frequency-inverse document frequency) which is a function used in information retrieval to measure the importance of a term concerning a document or a collection of documents.

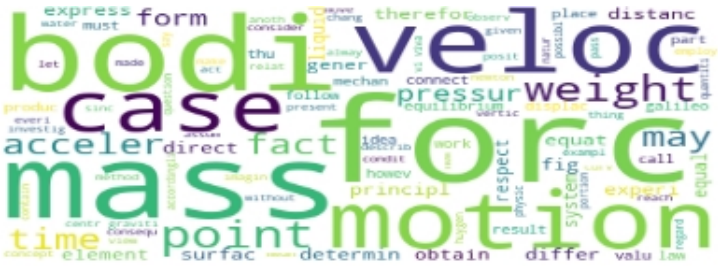


Fig. 1: Words cloud of SM.

It is also necessary to make further assumptions: to focus on significant terms we will not consider the 'stop words'[5] (for example conjunctions), we will use a stemming algorithm[6] and finally, we will use the subdivision into paragraphs used to create the VRT file in order to divide the texts into sub-documents. If we limit ourselves to SM – given the brevity of the intervention – the most significant terms are: 'weight', 'veloc', 'bodi', 'case' 'direct', 'distanc', 'equal', 'equilibrium', 'fact', 'forc', 'form', 'liquid', 'mass', 'may', 'motion', 'point', 'pressur', 'principl', 'time', 'acceler'. As you can see, some words correspond to the main concepts discussed in Science of Mechanics, such as force, mass, and motion. A useful representation of this list is given by the word cloud of the document, where the most significant terms have a larger size, which is shown in the Fig. 1.

We can also ask ourselves how different the texts are from each other; a difference that also indicates the diversity of concepts addressed. To this end – following Degaetano-Ortlieb and Teich (2022) – we can use the relative entropy or Kullback–Leibler Divergence (KLD) which is a widely used method of comparing probability distributions measuring the number of additional bits needed to encode a given dataset A when a (non-optimal) model based on a dataset B is used. The KLD formula is:

$$D\,(A||B) = \sum_i p(item_i|A)\log_2 \frac{p(item_i|A)}{p(item_i|B)} \tag{3.1}$$

where $p(item_i|A)$ is the probability of a linguistic unit in corpus A and $p(item_i|B)$ is the probability of the same unit in corpus B. Note that the formula is not symmetric and therefore, in general, we have that $D(A||B) \neq D(B||A)$; this leads us to choose a particular text – e.g. AS – and then compare it with all the others. The calculation of KLD[7] is shown in the Tab. 2 where the texts most similar to AS are KE and PSL, which are the works with the least technical content.

4. The concept of 'relative' in Mach Corpus

The concept of 'relative' has been studied frequently in the history of ideas and a central role has been given to Machian work. In a previous article (Gasco, 2016) we investigated the concept from a philosophical point of view using the tool of Dynamic Frames. We showed that the concept could be represented with a relation between elements and that this relation was distinguished based on its

[5] Stop words are terms which are filtered out before or after processing of natural language data.

[6] Stemming is the process of reducing the inflected form of a word to its root form, called the "stem".

[7] In the calculation of KLD we used a Jelinek–Mercer smooth function with lambda 0.05 .

BOOK	KLD
AS	0
HCE	1.58
KE	1.10
PLS	0.98
PPO	1.57
PTH	1.46
SM	1.54
SG	1.23

Tab. 2: KLD based on AS

complexity; the simplest form of relation was co-existence, then there was a metric relation (the elements are compared), and finally a functional relation.

Book	N. occur.	Context words
HCE	10	-
AS	116	funtional[4], dependence[4], elements[8], physical[7], mass[8], stand[8], sensation[7], standing[4], body[10], position[8], rotation[4], part[6]
KE	85	fact[4], closely[9], space[8], will[6], have[4]
PSL	61	point[4], closely[4], have[5], motion[4], will[4]
PPO	103	object[12], physical[5], light[14], made[7], depend[4], space[8]
PTH	77	must[5], made[7], same[6], heat[12], equation[4], process[5]
SM	121	things[4], force[13], equal[4], produced[4], have[4], obtain[12], subsist[4], principle[5], time[6], motion[23], acceleration[7], position[6], mass[13], will[6], velocity[25], body[16], absolute[11], universe[4], part[7]
SG	20	-

Tab. 3: 'relative' concept on Mach's books

Following the strategy proposed by Betti (2019), we can build a model of a concept by examining the terms that characterize it and the set of words that fall into the contexts of their use. In this way the concept of 'relative' is determined by a model constituted by the set of occurrences of the following terms: 'relation', 'relative', 'relatives', 'related', 'reference'[8]. As mentioned, we cannot limit ourselves to these single words to frame the concept univocally and since there is no precise definition of 'relative' in Machian work, but its application in different fields and in different examples, we must consider the context of use of these concepts to have a richer representation. Let us therefore examine a context composed of a window of 10 words to the left and right of the target term; in this way, we obtain a series of words that occur with a certain frequency and that show how the concept of 'relative' is characterized by other specifically Machian words that clarify its meaning. In the tab. 3 we report the results obtained for the individual texts, considering a minimum word length of 3 characters[9] and several occurrences greater than 3.

[8] We don't use stemming in this case.

[9] The choice of a maximum word length is to avoid the presence of prepositions that are not significant.

The second column indicates the number of occurrences of the target terms, while the third column specifies the context terms with the relative number of occurrences in square brackets. From Tab. 3 it can be observed that the target terms in some texts are few and the corresponding context words are absent (e.g. HCE), while the texts with a greater number of occurrences are AS, PPO, and SM. It has not been indicated in the table, but the target term that occurs most is 'relation' with a percentage of 55.5%, while the one with the lowest percentage is 'relate' (2.2%).

If we observe the context terms instead, we notice the presence of a few adjectives, some verbs with a precise meaning, and some nouns. Let us try to analyse the context terms in more detail, to have further information on the meaning and use of the concept 'relative'. The adjectives are 'functional', 'physical', 'closely', 'same', and 'absolute'. If we use bi-grams around the target words we notice for example that the adjective 'functional' is always paired with the term 'relation', as can be seen from the following sentence from AS: '. . . *reduce everything to a functional relation of sensational elements*. . . '. Similarly, 'closely' is associated with the term 'related' as evidenced by the sentence extracted from KE: '*the parts of the body are very closely related*'.

More complex is the analysis of the nouns that are present in the relative concept window. To identify the terms that intervene in a relationship we study the bi-grams centered on the word 'relation' to determine some patterns useful for our purpose. The most common bi-grams are listed in the tab. 4 [10]:

Bi-gram	N. occurrence
relation between	46
relation of	73
relation to	33
relation is	13
same relation	11

Tab. 4: bi-gram around 'relation' word

If we consider the bi-gram 'relation between' we note that it establishes a relationship between two entities. We can therefore consider the terms following the bi-gram in a window of a certain size to determine the entities that appear in the relationship most frequently; using a window of 10 words we obtain that the most used terms are 'force', 'space', 'distance' and 'heat'. Among the highlighted terms there is not necessarily a relationship, but we assume they are those that represent the first term of the relationship. For example, if we take 'heat' into consideration and identify the terms that co-occur with it and 'relation between' we obtain that the most significant terms are 'work', 'law', and 'force': we can therefore assume that they represent the second term of the relationship. Using the same procedure, if we consider the term 'space' as the first term of the relationship we obtain that the possible second terms are 'sensation' and 'object'. With this simple methodology, we have determined which terms-concepts intervene in the Machian passages where a relationship between entities is expressed.

At this level it is not possible to establish the type of relationship that exists between the terms that constitute it; let us then try to follow another path to identify whether the types of relationship that he has in mind are indicated in Mach's writings. To this end, let us consider the 'context word surprise' defined as:

$$s_w^d = \log_2 p(w) \tag{4.1}$$

[10] The table does not contain bi-grams which have no particular meaning such as "the relation", "a relation".

where w is the word present in a context of size d, and p(w) is its probability. To interpret the formula, consider that the higher the probability of the word, the lower its surprise value, and similarly, the less frequent the word, the higher its degree of surprise. In the analysis of the contexts of the word 'relation', we will be interested in determining the terms with the lowest surprise value, that is, those that most characterize the relationship under examination. If we consider a context of 3 words around the term 'relation' and determine the degree of surprise for each word that falls within the context, we obtain that the word with the lowest degree of surprise is 'physic'[11], which indicates a physical relationship.

5. Conclusions

In this article, we have presented the strategies for building a Mach Corpus based on documents available online and its preliminary analysis with the tools made available by Machine Learning.

Bibliography

Alfano, M. (2018). "Digital Humanities for History of Philosophy: a Case Study on Nietzsche", in Levenberg, l., Neilson, T. & Rheams, D. (eds.), *Research Methods for the Digital Humanities*. Cham: Palgrave Macmillan, pp. 85-101.

Betti, A. *et al*. (2019). "History of philosophy in ones and zeros", in Curtis, M & Fischer, E. (eds.), *Methodological advances in experimental philosophy*. New York: Bloomsbury Academy, pp. 295-332.

Bloem, J., Fokkens, A. & Herbelot, A. (2019). "Evaluating the consistency of word embeddings from small data", in Mitkov R. & Angelova, G. (eds.), *Recent Advances in Natural Language Processing*, International Conference on Recent Advances in Natural Language Processing, RANLP 2019, Varna, Bulgaria, September 2-4, 2019, pp. 132-141. Available at: acl-bg.org (Accessed on 19 November 2024).

De Santis, E. & Rizzi, A. (2023). "Prototype Theory Meets Word Embedding: a Novel Approach for Text Categorization via Granular Computing", *Cognitive Computation*, 15(3), pp. 976-997.

Degaetano-Ortlieb, S. & Teich, E. (2022). "Toward an optimal code for communication: the case of scientific English", *Corpus Linguistics and Linguistic Theory*, 18(1), pp. 175-207.

Gasco, E. (2012). "Semantic Spaces and History of Physics: a case study", in *Abstracts of XXXII Congresso SISFA 2012*.

Gasco, E. (2016). "The concept of relativity in Mach". Available at: pitt.edu (Accessed on 18 November 2024).

Hall, D. & Jurafsky, D. & Manning, C.D. (2008). "Studying the history of ideas using topic models", in Lapata, M & Ng, H.T. (eds.), *Proceedings of the 2008 conference on empirical methods in natural language processing*, Honolulu, Hawaii, pp. 363-371.

Pääkkönen, J., & Ylikoski, P. (2021). "Humanistic interpretation and machine learning", *Synthese*, 199(1), pp. 1461-1497.

Overton, J.A. (2013). " 'Explain' in scientific discourse", *Synthese*, 190, pp. 1383-1405.

Van Wierst, P., *et al*. (2016). "Phil@Scale: Computational Methods Within Philosophy", in Wieneke, L. *et al.* (eds.), *Digital Humanities Luxembourg*, 3rd Conference on Digital Humanities, Luxembourg, December 5-6. Available at: ceur-ws.org (Accessed on 19 November 2024).

[11] In this procedure we used the Porter algorithm for stemming.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_29, pp. 253–260
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-29

At Home in a Super-Copernican Cosmos, Part II: The Nature of the Observer and Wheeler's 'It from Bit'

Stefano Furlan[1] and Daniele Puleio[2]

[1]Universiteit Utrecht, Urtrect & Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, s.furlan@uu.nl.
[2]Liceo "Giuseppe Parini", Venice & Pontificia Università Lateranense, Rome, daniele.puleio@gmail.com.

Abstract: After his controversial speech in honor of Copernicus in 1973, John Wheeler's new ideas about the observer-participator and our place in the cosmos underwent more than a single metamorphosis. During the 1980s, they would flow into the grand (and admittedly sketchy) vision labeled by the famous slogan "it from bit". In this contribution, we will document how, in the late 1970s, Wheeler's views about the role of consciousness and of the observer in quantum physics became more and more de-anthropomorphised, but also how, at the same time, did not result in a demotion of mankind to a marginal accident in the universe.

Keywords: Cosmology, Geometrodynamics, Quantum Mechanics, Super-Copernican Principle

We had the experience but missed the meaning, And
approach to the meaning restores the experience In
a different form

T.S. Eliot, *Four Quartets, The Dry Salvages*

1. Introduction

In a previous contribution (Furlan & Puleio, 2024), we outlined the genesis of John Wheeler's idea of "participatory universe" in the early 1970s and explained the meaning of the later enigmatic expression "super-Copernican", which refers to the effect that, according to Wheeler, the community of observers across spacetime is supposed to have on cosmogony itself. As detailed in the aforementioned paper, the adjective "super-Copernican" is meant to imply that, as Copernicus freed us from "here-centredness", now it is time to get rid of "now-centredness". After all, Wheeler had come to believe, as a result of two decades of work in general relativity (or "geometrodynamics") and its implications, that time could not be a fundamental concept and that a deeper "wiring up" of what we commonly refer to as past and future, no matter how remote, was at play in the genesis of the universe itself. A central role was ascribed to the loop involving the cosmos and the observer (the observer-participator, as Wheeler put it), which are responsible, in a time paradox, for each other's existence. This, of course problematic, proposal is also to be associated with a fundamental change in Wheeler's attitude toward natural inquiry, as symbolised in his own words by Leibniz (Furlan, 2020): no longer would he naively think of uncovering the fundamental elements of the universe out there, but he would take into account the role of the observer in any physical experience we put at the basis of our knowledge. We then hinted at a change in Wheeler's views, which somehow made such claims less extreme and emphasised instead the polycentrism of a community of observers-participators across space and time. If, at this point, we focus on the late 1970s and the 1980s, we can notice a series of subtle shifts in Wheeler's ideas, which however seem to be characterised by a double tendency. On the one hand, when the "observer" is placed within the context of quantum foundations, Wheeler was clearly leaving behind a form of Wigner-like conscientialism (as well

as anthropomorphism) that had some influence on him in the early 1970s. On the other hand, however, consciousness and mankind were not demoted or downgraded to a marginal accident in the economy of the universe, but remained a crucial link in what Wheeler now called "the meaning circuit". In this contribution, we will better contextualize and clarify these tensions and, at the same time, we will get further insights on the slogan that would summarize Wheeler's late vision: "it from bit".

2. "Solipsism, no; communication, yes": toward the super-Copernican community

In the very same speech in which Wheeler began to speak about the new "Copernican" revolution, he also evoked "the Merlin principle" (Wheeler, 1974, p. 690), namely the quantum principle. The phrasing is, needless to say, odd and idiosyncratic, but even the expression "quantum principle" is no less tricky than Merlin. Wheeler's *quête du Graal*, at that point, aimed at identifying and understanding a core idea of quantum physics, somehow laying at a deeper level than all quantum formulations and interpretations[1] , and accounting for them. It was, in other words, a comparative analysis, seemingly (and *de facto*) rather ecumenic, but mainly aimed, heuristically, at going beyond each one of these forms of the quantum principle, as elusive as Merlin the magician and shapeshifter. From that moment on, "How come the quantum?" (Wheeler, 1986) would become Wheeler's refrain till the end of his days. It was an approach, or better an attitude, quite resonant with American pragmatism:[2] Wheeler's chase of Merlin was after new insights on how the central notions of quantum physics work, rather than an elucidation of the ontology implied in its various versions[3] . This attitude helps explain Wheeler's changing positions about the nature of the observer, too. As a matter of fact, already a few years after the Copernicus speech, the results of this comparative work were starting to show: Wheeler's Varenna lectures in summer 1977 (Wheeler, 1978) represent a crucial document to understand the development of his reflections. What particularly concerns us here is the section that Wheeler dedicates to his friend Wigner's ideas about the role of consciousness in the process of quantum measurement (Wheeler, 1978, p. 19, *passim*), how he compares them to other views, notably Niels Bohr's (pp. 18-19, *passim*), and how he also wonders about the role that computers or similar devices could possibly have in replacing the conscious observer (pp. 20-21). Wheeler is now clearly stating that the core of "the quantum" has not to do with consciousness: a rather neat shift from his previous conflation of anthropic considerations, the "mystery" of consciousness, and the role of the observer in quantum mechanics and even in cosmogony. A couple of years later, in 1979, after finding himself, due to a misunderstanding, in the midst of a parapsychology conference, Wheeler would reiterate his position much more assertively: "Not Consciousness but the Distinction between the Probe and the Probed as Central to the Elemental Quantum Act of Observation" (Wheeler, 1981).

Although Wheeler was clearly deflating his previous (tentative) assumptions, or more specifically de-anthropomorphizing and de-conscientializing them, his *suite du Merlin* would be no less imaginative in its phrasing or metaphors than his former phase. His "upgraded" monadology (Furlan 2020; Wheeler, 1982) can be seen as a step in the same direction: even in Leibniz, after all, monads are not characterised by an anthropomorphic kind of consciousness. Wheeler's new *mantra*, after the Varenna lectures, became Bohr's "no elementary phenomenon is a phenomenon until it is an observed phenomenon" (Wheeler, 1978, p. 17): anything that could work as a centre of registration *lato sensu* ("monads", even when referred to Leibniz's thought, are often characterised somehow as centres of representation) is enough.

[1] Wheeler did not make such a distinction, putting on equal footing the Heisenberg picture, the Schrödinger picture, von Neumann and Birkhoff's attempt at formulating a quantum logic, Everett interpretation, and so on.

[2] Some other work will be dedicated, in the not-too-distant future, to Wheeler's references to Peirce, James, and other pragmatist thinkers.

[3] Only later - eschatologically, so to speak -, once we are able to answer "How come the quantum?", will we also know "how come existence", in its more radical form of "Why something instead of nothing?" – and why *this* something (Wheeler, 1986).

The process of quantum measurement seems thus a natural phenomenon among others, *sic et simpliciter*.[4] Was Wheeler, then, going back to a naturalistic outlook, forgetting about the loop in which the mind of the "observer" was involved? Why, then, persisting in emphasizing the importance of our role in the cosmos? And does there not seem to be a tension, at the very least, between a picture of the universe as a computer, impersonally processing information (as the common way of thinking about "it from bit" would suggest), and a worldview in which we are "at home in the universe" (Wheeler, 1994)? It would be ironic if someone like Wheeler, who had made the act of pushing ideas to their extreme consequences – "daring conservatism" – the trademark of his heuristics, had been so inconsequential, or possibly even consolatory. Perhaps we should make a further hermeneutic effort to understand what he was trying to say. Framing Wheeler's shifting opinion on the nature of the observer (who or what to assign that role to) as an ontological question would be partly misleading, because of the clear pragmatist tones we have already highlighted. Rather than asking what the observer is, he rather seemed to be guided by the question "What can work in a quantum process of observation?" Realizing that he did not need consciousness or some "classically" macroscopic apparatus, Wheeler was just taking a step toward a more radical "relational" view. The move he made, actually, can already be seen, for instance, in Bohr's answer to Einstein-Podolsky-Rosen (Bohr, 1935, p. 699), since Bohr explicitly applies the same considerations first to a case in which there is a just single particle plus a diaphragm with a slit, and then to the EPR case in which there is a second particle instead of the slit. It is also clear that Wheeler's move does not amount to getting rid of the observer *tout court* and to flattening the indispensable epistemological considerations to a naive pre-Kantian naturalism[5]: it is the experimenter that decides to use one of the two particles as "probe", to say it in Wheeler's later lexicon. This element of decision is even more evident in the famous delayed-choice experiment that Wheeler proposed toward the end of the 1970s (Wheeler, 1978, pp. 47-ff). Although the experimenter's gestures, so to speak, could be replaced even by a servomechanism (Wheeler, 1978, p. 162), the "interpretive" element should not, according to Wheeler, be thrown outside of the picture: there must be a community of observers-participators that gives rise to "meaning", beyond flat "information". That was reason enough for him to try and articulate the crucial role played by a community of interpreters – another pragmatist idea[6]. As Wheeler is reported to have said, bizarrely taking his cue from a modern version of Frederick II's alleged experiment on language,

> The Los Angeles girl locked from babyhood to age 13 (when the neighbors found out and called the police) in an attic room, given food but never spoken to, had by that time lost the power not merely to speak, but even to think. There is not a word we utter, a concept we use, an idea we form, that does not directly or indirectly depend on the larger community for its existence. (Bernstein, 1991, p. 94)

But how to link all this to the grand new plan of physics that Wheeler was trying to envisage? Here again we see the shadow of Bohr:

> Physics gives rise... to light, pressure, and sound. They provide means of communication, of the importance of which Niels Bohr notes, '... every analysis of the conditions of human knowledge must rest on considerations of the character and scope of our means of communication'. Physics is also the foundation of chemistry and biology, out of which arise communicators. Communicators plus means of communication permit the development of meaning in the sense elucidated by leading English and American schools of philosophy in recent decades, as summarized, for example, by D. Føllesdal: 'Meaning is the joint product of all the evidence available to those who communicate' (Wheeler, 1986, p. 304).

[4] As suggested in (Furlan, 2020, p. 150), it is intriguing to think of Wheeler's monadology as a sort of scaffolding that led him in the 1980s to ideas close to that of decoherence, with the role that the "environment" plays therein.

[5] In other words, even if Wheeler is mainly thematizing the distinction between probe and probed, what he had in mind is actually closer to a Peircean triad, with the additional vertex of an "interpreter".

[6] A stimulating topic for further investigation could be whether this emphasis on a community of interpreters got intertwined with coeval attempts, among quantum foundations researchers, at going beyond a "single-user" view of quantum mechanics.

The reader should not be easily fooled by that reference to "meaning" in Anglo-American philosophy: it should be rather obvious, at this point, that Wheeler did not resonate much with the so-called "analytic philosophy" that tried to wink at mathematised sciences (was there any physicist whose relationship with words was more distant than Wheeler's from a restrained Reichenbach-like conception of language?). Sure, he was interested in how meaning is produced, but the horizons, assumptions, methods, and even historical awareness were very different. In a later paper, Wheeler would make more explicit what he had in mind (and the passage that follows also summarizes, in a sense, our section here):

> doesn't Marie Sklodowska Curie tell us, 'Physics deals with things, not people'? Using such and such equipment, making such and such a measurement, I get such and such a number. Who I am has nothing to do with this finding. Or does it? Am I sleepwalking? Or am I one of those poor souls without the critical power to save himself from pathological science? Under such circumstances any claim to have 'measured' something falls flat until it can be checked out with one's fellows. Checked how? Morton White reminds us how the community applies its tests of credibility, and in this connection quotes analyses by Chauncey Wright, Josiah Royce and Charles Saunders Peirce. Parmenides of Elea... may tell us that 'What is... is identical with the thought that recognizes it'. We, however, steer clear of the issues connected with 'consciousness'. The line between the unconscious and the conscious begins to fade in our day as computers evolve and develop – as mathematics has – level upon level upon level of logical structure. We may someday have to enlarge the scope of what we mean by a 'who'. This granted, we continue to accept – as essential part of the concept of it from bit – Føllesdal's guideline, 'Meaning is the joint product of all the evidence that is available to those who communicate'. What shall we say of a view of existence that appears, if not anthropomorphic in its use of the word 'who', still overly centred on life and consciousness? It would seem more reasonable to dismiss for the present the semantic overtones of 'who' and explore and exploit the insights to be won from the phrases, 'communication' and 'communication employed to establish meaning'. Føllesdal's statement supplies, not an answer, but the doorway to new questions. (Wheeler, 1990, p. 320)

Dismissing, at least for the time being, the "semantic overtones" of who the observer is: that seemed indeed Wheeler's approach, with a clearly pragmatist attitude (and our characterization, evidently, is strongly corroborated by the names he mentioned). "Solipsism, no; communication, yes" (Wheeler, 1988, p. 15). However, we may also ask: are not Wheeler's words about a community of observers-participators, scattered across cosmic spaces and eons, possibly implying, at least in principle, even "transhumanist" horizons, not anchored by anthropomorphism or consciousness as we usually consider it? Wheeler would not fully take this step, but a few lines make clear that he was also thinking about our expansion and dissemination in the universe: "How far foot and ferry have carried meaning-making communication in fifty thousand years gives faint feel for how far interstellar propagation is destined to carry it in fifty billion years" (Wheeler, 1990, p. 319). Among the references that he gave, we can find, curiously enough, a couple of books about the colonization of space: the fourth edition of his former Princeton colleague Gerard K. O'Neill's 1976 *The High Frontier* (O'Neill, 1989) and Robert Jastrow's *Journey to the Stars: Space Exploration - Tomorrow and Beyond* (Jastrow, 1989). Even more explicitly (Wheeler, 1988, p. 14):

> Life and mind: for how much can they be conceived to count in the scheme of existence? Nothing, say the billions of light years of space that lie around us. Everything, say the billions of years of time that lie ahead of us. It cannot matter that man in time to come will have been supplanted by, or will have evolved into, intelligent life of quite other forms. What counts – in the ideal view being explored in this paper – is the rate of asking questions and obtaining answers by elementary quantum phenomena, acts of observers-participancy, exchanges of information.

3. The "meaning circuit" and "it from bit"

When we first started to investigate the genesis of Wheeler's idea of a "super-Copernican" cosmos, we saw how he was trying to kill two, or better three, birds with a single stone: the mystery of the quantum, the mystery of the seeming fine-tuning of the constants in a relativistic universe, and the mystery of consciousness (Wheeler, 1974). It was, admittedly, a heuristic attempt, possibly over-ambitious; nonetheless, thanks to this provocative mental exercise, Wheeler got new insights that he would further elaborate, even after letting go, in a sense, the attempt at solving those three mysteries or puzzles in one go. Iconically but also conceptually, the central idea of the trilogy of papers in which he elaborated on the role of the cosmogonic observer-participator (Wheeler, 1974; 1977; Patton & Wheeler, 1975) is represented by the famous *U* (standing for "Universe") with the eye of the observer (Patton & Wheeler, 1975, p. 565).

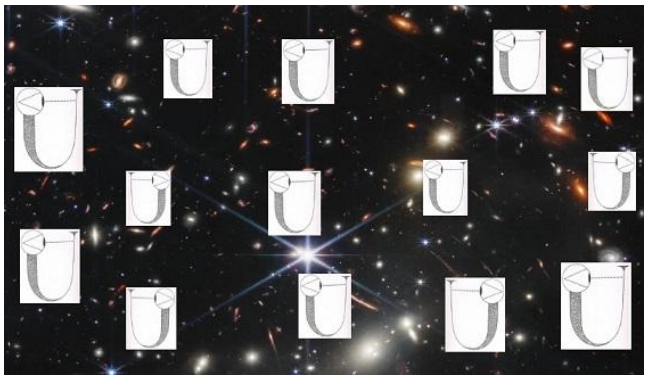
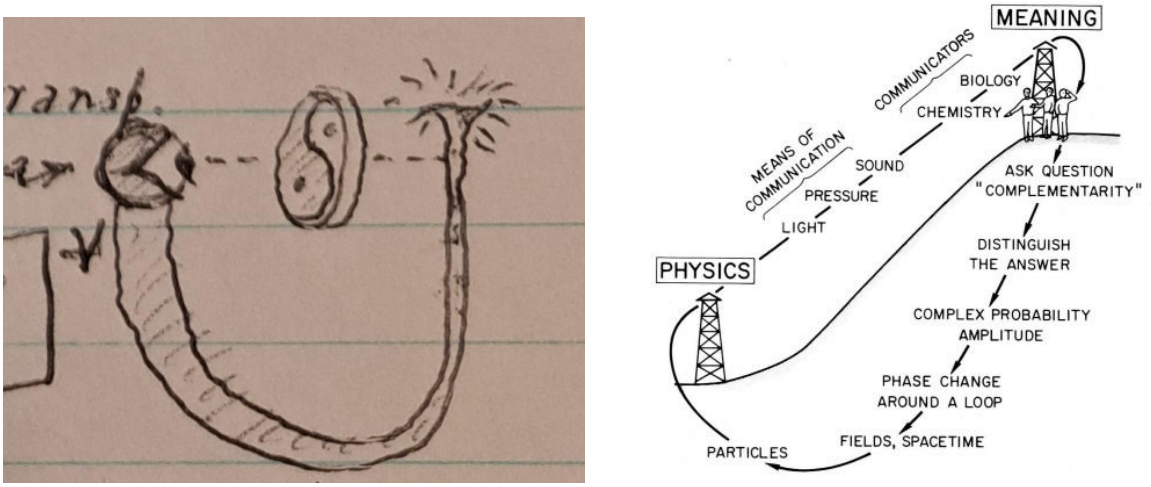


Fig. 1: Wheeler's iconic *U* diagram, originally referred to the whole universe and the cosmogonic observer-participator, is here multiplied across galaxies to symbolize the "acts of observer-participancy" of the super-Copernican community.

In light of our previous considerations, we can now see how, in a sense, the symbolic *U*, all its provocative and anthropic flavor notwithstanding, metamorphosed into the delayed-choice experiment, which can be however taken as "just" highlighting, in a thought-provoking way, a feature of quantum physics. When the photon in the experiment is supposed to have been emitted from a quasar billions of light-years away, we are indeed reaching a scale close to that implied by the cosmogonic observer-participator; and the temporal scale involved makes us understand why Wheeler could write: "The time-bridging power of the elementary quantum phenomenon warns us today to battle against now-centredness. What counts is the rate of asking questions and obtaining answers by elementary quantum phenomena, acts of observers-participancy, exchanges of information" (Wheeler, 1988, p. 14). The "super-Copernican" overcoming of now-centredness, once again.

In this better articulated sense, the *U* diagram thus provided also the blueprint for what Wheeler, in the 1980s, would call quantum acts of observer-participancy. If the first use of the *U* can even have a solipsistic flavor, in the new framework that Wheeler is trying to elaborate the process of observer-participancy takes place in a vertiginous plurality of centres (Fig. 1). That is why we ended our previous contribution (Furlan & Puleio, 2024, p. 312) with a nod to Giordano Bruno: Wheeler's new picture has not a single centre, but centres everywhere, and each one is actively contributing to the whole[7]. The resulting vibe of his participatory universe is, from this point of view, more akin to the enthusiasm that permeates Bruno's universe, with its centre in all places and in no place, teeming with life and activity, than to the hierarchy of a (geo)anthropocentric cosmos, as people wrongly assumed after hearing or reading Wheeler's Copernicus speech (Wheeler, 1974). It is interesting to add at this point that, after Wheeler's late-1970s turn regarding the nature of the observer, we can find in his notebooks a meaningful variation on the *U* diagram (Fig. 2a), which at first may seem even more perplexing, but actually reflects the development of Wheeler's reflections as we have just sketched. The *yin-yang* symbol – the *taijitu* – is of course not a reference to the *Tao of Physic*s and similar vogues, but to Bohr's coat of arms, where

[7] This is even clearer (for what a sketchy proposal like Wheeler's could be "clear" in a scientific sense. . .) if we keep in mind, as we have already remarked, that Wheeler was also thinking in terms of a monadology. Perhaps the so-called "new materialism" of recent years, with its "overcoming" of a "passive" conception of matter, could take note of these developments, instead of referring to cheesy authors with little or no credibility in physics.



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) Research Notebook 71 (June 1983-June 1984), p. 151, John A. Wheeler Papers, American Philosophical Society Library, Philadelphia. (b) The "meaning circuit". Source: (Wheeler, 1986, p. 305).

it stood for complementarity. That on the line of sight of the "eye" there is now that symbol is meant to say that the perceiving eye or consciousness does not have a direct effect: "in-between" the observer and the observed system there is the choice of the experimental apparatus[8]. Possibly in order to avoid further misunderstandings (after his experience at the parapsychology conference!), Wheeler does not seem to have made public use of this modified diagram, but we can see that its content, so to speak, is encapsulated and further articulated in the "meaning circuit" (Fig. 2b). This "circuit", in a sense, is the arrival point of Wheeler's reflections that had started with first use of the *U* and the "Leibniz logic loop" (Wheeler, 1974, p. 689), namely the need to take into account the role of the observer *ab initio* instead of postulating a given ontology "out there". As usual, Wheeler never threw entirely away his ideas, not even the most outlandish ones, and thanks to his rich archival material we can follow their maturation into something else over years, if not decades. We are now in a position to clarify an often misunderstood point: that is, the nature of the "bits" in "it from bit". This by now famous slogan has not to be taken as the "assertion" that somehow everything consists of ontologised bits, perhaps in their qubit version. That would be a form of naïve naturalism with a problematically reified concept of information at its basis – and all of Wheeler's criticism against any given ontology or his insights from the mid-1970s on would thus be thrown away. Had Wheeler's point been merely the "emergence" of spacetime and bodies from something deeper, he would have just repeated what he was saying already in the late 1960s and very early 1970s. This gross misunderstanding does not only reveal that the readers of Wheeler's papers have had, typically, little historical sense of how his ideas and his whole "philosophical" attitude were changing in the phase we are examining here (and one does not really need archival research to realize that...): it is a blatant example of how a lack of understanding can be superseded by the ostentatiousness of technicalities somehow related to information theory or similar areas, projected or back-projected onto a case that, thus, loses all its interesting specificities. We could avoid such self-assured and misleading "explanations" simply by wondering why, in the speculative papers where Wheeler sketched the view underlying "it from bit", he never mentioned Shannon once, for instance (Wheeler, 1986; 1988; 1990). His path to the "bit" had been very different from, and more complex and fascinating than, a rather trivial,

[8] In the "limiting" case (which, of course, is actually a very different perspective) where the *taijitu* is superposed to, or better conflated with, the eye, we get back to Wheeler's anthropic position of the mid-1970s and we thus find an unexpected link, so to say, between two of the most controversial ideas in 20th-century physics: complementarity and (some form of) the anthropic principle. It is as if Wheeler, in a paper like (Patton & Wheeler, 1975), is assigning to our consciousness the role of a filtering setup which, for us, is fixed, and we have to take note of that.

and conceptually problematic, reification of some abstract unity of "information". Wheeler's very notion of information, rather than a mathematical import, seems a conceptual hybridization between different insights. There is not enough space here to detail the various elements that flowed together into Wheeler's vision, from Leibnizian suggestions to engineering-like considerations, not to omit, of course, physical and mathematical clues (Furlan, 2020; 2024). We should nonetheless remark that Wheeler's bits, in a sense, are not given, but produced; or better: they are the result of a process. Which one? Obviously that of observer-participancy in quantum measurements, as we have been discussing in these pages. The simplest experimental situation conceived by Wheeler was that of a quantum system offering just a binary answer to a measurement question: hence the suggestion of a fundamental binarity or bit. The choice and preparation of the experimental setup ("asking a question", or the place of complementarity in the "meaning circuit") unequivocally speaks of the active, constitutive, participatory role of the questioner-observer. "It from bit" is thus a view of the cosmos markedly characterised by processuality and, far from evoking an impersonal computer inexorably processing information, it insists on the active and necessary role of a community of interpreters across space and time.

Nowadays, Wheeler's "epistemological" reflections, or at least questions, seem often superseded by sensationalistic proclaims about exotic ideas that, not rarely, he himself had already had as early as the 1950s and 1960s – see for instance (Halpern, 2024) for some proto-concept of "multiverse". Likewise, we have lost count of the number of different versions of the "anthropic principle"[9], whose origin is usually traced back (with rather superficial and commonplace narratives, by the way) to the exact same context Wheeler's Copernicus speech (Wheeler, 1974) belongs to. Perhaps, to dispel some of the clichés and offer new perspectives, we can recall, not in vain, how Wheeler's reflections had quite a different degree of complexity and charm, and how he himself saw them when compared with trends in vogue more recently:

> There operates on such an ensemble of universes, Charles Pantin argued in 1951, something 'analogous to the principle of Natural Selection, that only in certain Universes, which happen to include ours, are the conditions suitable for the existence of life, and unless that condition is fulfilled there will be no observers to note the fact'. This ensemble concept is common to many of today's versions of the cosmological anthropic principle, reviewed in the comprehensive book of John D. Barrow and Frank J. Tipler. The contrast between the two views could hardly be greater: selection-from-an-ensemble and observer-participancy. The one not only adopts the concept of universe, and this universe as machine, it also has to postulate, explicitly or implicitly, a supermachine, a scheme, a device, a miracle, which will turn out universes in infinite variety and infinite number. The other takes as foundation notion a higgledy-piggledy multitude of existences, each characterized, directly or indirectly, by the soliciting and receiving of answers to yes-no questions, and linked by exchange of information. (Wheeler, 1988, p. 15).

In a sequel to this paper, we will highlight how Wheeler's less taken road has recently had some unexpected (and illustrious) supporters. For now, let us just summarize what we have clarified in these few pages. Wheeler's emphasis on the participatory role of the observer, together with the "super-Copernican" horizons of his reflections, freed from now-centredness, ultimately led him, after bold speculations, to his famous delayed-choice *Gedankenexperiment*, not confined to a laboratory but referred to a cosmic scale. This, together with his renewed consideration of Bohr's complementarity and his distancing from Wigner's conscientialist views, prompted him to realize that he did not need consciousness in the process of quantum measurement, but, nevertheless, the choice and preparation of measurements implied the role of an interpretive community scattered (mainly in the future) across galaxies and eons. This view on the delayed-choice experiment and the observer's role is thus the physical basis, so to speak, of Wheeler's not-nitidly-defined distinction between information and meaning, with the latter being "the joint product of all the evidence available to those who communicate", to echo Føllesdal (to whom Wheeler gives, in

[9] Even in this, nevertheless, Wheeler displayed his creativity: only in his research notebooks, for instance, can we find a "retroanthropic principle", to which we will return in the next installment of this series of papers.

any case, a more pragmatist and possibly even futuristic twist). All this gets synthesised in the "meaning circuit", which in a sense represents a more sophisticated (and tenable) version of the "Leibniz logic loop" and of the *U* diagram of the mid-1970s. In the light of these considerations, it is simply self-evident how much Wheeler's "it from bit" differs from cheap views on the universe as a computer – which, by the way, he, once again, had already used as a metaphor well before these more recent fashions (Wheeler, 1982). Likewise, his vision of our being "at home in the universe" (Wheeler, 1994; 1974) is much more refined and intriguing than some consolatory and reactionary *Weltanschauung*. To borrow a few words from T.S. Eliot's *Four Quartets* again, "the past experience revived in the meaning / is not the experience of one life only / but of many generations".

Bibliography

Bernstein, J. (1991). *Quantum Profiles*. Princeton: Princeton University Press.

Bohr, N. (1935). "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?", *Physical Review*, 48(8), pp.696-702.

Furlan, S. (2020). "Merging Labyrinths: Leibniz in J.A. Wheeler's Quest". *Studia Leibnitiana*, 52(1-2), pp. 123-155.

Furlan, S. (2024). "Aesthetics of Visionaries and Engineering: John Wheeler Between Black Holes and 'It from Bit'", *Physis*, 59(1), pp. 209-240.

Furlan, S. & Puleio, D. (2024). "At Home in a Super-Copernican Cosmos", in Di Mauro, M., Romano, L. & Zanini, V. (eds.) *Proceedings of the Sisfa 43rd Annual Conference*, Padua, 5-8 September 2023. Naples: Federico II University Press, pp. 305-312.

Halpern, P. (2024). "Ambivalent Worlds: John Wheeler's Hesitant Parentage of the Multiverse", *Il Nuovo Saggiatore*, 40(3-4).

Jastrow, R. (1989). *Journey to the Stars: Space Exploration Tomorrow and Beyond*. New York: Bantam.

O'Neill, G.K. (1989). *The High Frontier*, 4th edition. Princeton: Space Studies Institute.

Patton, C.M., & Wheeler, J.A. (1975). "Is Physics Legislated by Cosmogony?", in Isham, C., Penrose, R. & Sciama, D. (eds.) *Quantum Gravity: An Oxford Symposium*. Oxford: Clarendon Press, pp. 538-591.

Wheeler, J.A. (1974). "The Universe as Home for Man", *American Scientist*, 62(6), pp. 683-691.

Wheeler, J.A. (1977). "Genesis and Observership", in Butts, R.E. & Hintikka, J. (eds.) *Foundational Problems in the Special Sciences*. Dordrecht: D. Reidel, pp. 3-33.

Wheeler, J.A. (1978). *Frontiers of Time*. Austin: Center for Theoretical Physics.

Wheeler, J.A. (1981). "Not Consciousness but the Distinction between the Probe and the Probed as Central to the Elemental Quantum Act of Observation", in Jahn, R.G. (ed.) *The Role of Consciousness in the Physical World*. Boulder: Westview Press, pp. 87-111.

Wheeler, J.A. (1982). "The Computer and the Universe", *International Journal of Theoretical Physics*, 21, pp. 557-572.

Wheeler, J.A. (1986). "How Come the Quantum?", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 480, pp. 304-316.

Wheeler, J.A. (1988). "World as System Self-Synthesized by Quantum Networking", *IBM Journal of Research and Development*, 32(1), pp. 4-15.

Wheeler, J.A. (1990). "Information, Physics, Quantum: the Search for Links", in Kobayashi, S. *et al.* (eds.) *Proceedings of the 3rd International Symposium Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology*. Tokyo: The Physical Society of Japan, pp. 309-336.

Wheeler, J.A. (1994). *At Home in the Universe*. College Park: American Institute of Physics.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_30, pp. 261–268
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-30

"Percepire, comprendere e comunicare i luoghi storici della meteorologia ferrarese attraverso la multisensorialità". Un progetto di Public Engagement dell'Università di Ferrara

Anna Maragno[1], Manuela Incerti[2] and Paolo Lenisa[3]

[1]Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, anna.maragno@unife.it.
[2]Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, manuela.incerti@unife.it.
[3]Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, paolo.lenisa@unife.it.

Abstract: The aim of the Public Engagement project of the University of Ferrara entitled "Percepire, comprendere e comunicare i luoghi storici della meteorologia ferrarese attraverso la multisensorialità" is to present places and protagonists of the history of meteorology in Ferrara to a non-specialist public, with a specific emphasis on creating an immersive experience via multi-sensory activities. This paper focuses both on the history of meteorology in Ferrara and on the methodologies designed to present this story, together with the description of their results (a video, a tactile map, a concert, seminars, cultural events and workshops.)

Keywords: History of Meteorology, Giuseppe Bongiovanni, Cultural Sustainability, Spatial Understanding.

1. Introduzione[2]

Il presente contributo espone gli esiti preliminari del progetto di Public Engagement intitolato "Percepire, comprendere e comunicare i luoghi storici della meteorologia ferrarese attraverso la multisensorialità" (coordinamento Paolo Lenisa - Dipartimento di Fisica e Scienze della terra e Manuela Incerti - Dipartimento di Architettura).

Due distinti gruppi disciplinari, il settore della Fisica e quello del Disegno, hanno collaborato per integrare le proprie competenze ed esperienze, realizzando il progetto "Ferrara delle Scienze" (Fig. 1), nato con la finalità di rendere la ricerca scientifica accessibile attraverso l'impiego di modelli fisici, video e realtà aumentata (Fig. 2). Con azioni e prodotti (analogici e digitali), il gruppo di ricerca intende infatti sviluppare metodologie e tecniche che facilitino l'approccio a temi complessi, allo scopo di coinvolgere un pubblico eterogeneo per età, formazione e bisogni specifici.

"Ambiente", "Energia", "Particelle", "Architettura" e "Astronomia Culturale" sono i cinque ambiti tematici già individuati. Le iniziative e i prodotti realizzati nascono dal lavoro degli studiosi: la ricerca scientifica costituisce la base per progettare e realizzare eventi di divulgazione, pensati per coinvolgere la cittadinanza, le scuole e le associazioni attraverso incontri successivi. Tale approccio, adottato in questo e in altri progetti precedenti (Incerti, 2023a, 2023b; 2025), mira a sottolineare l'importanza del contatto fisico e sensoriale con lo spazio e la materia, così come la necessità di valorizzare le diverse modalità con cui ciascuno si avvicina alla conoscenza. Le installazioni e le attività che si stanno sviluppando sono orientate perciò a promuovere l'inclusione e l'accessibilità ai temi scientifici e culturali.

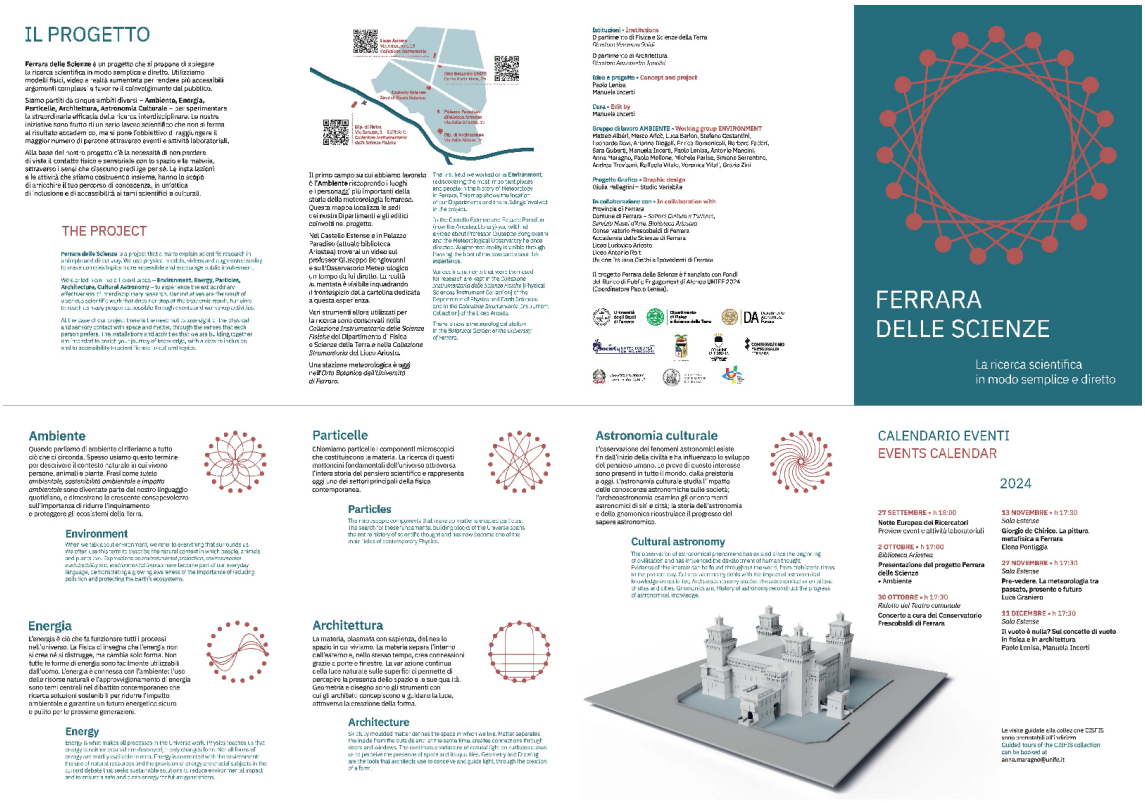


Fig. 1: Flyer di presentazione del progetto "Ferrara delle Scienze".

Fig. 2: Quadro dei prodotti già realizzati.

1.1. I prodotti realizzati e le metodologie di lavoro

Il primo ambito su cui si è posta l'attenzione è l'"Ambiente", partendo dalla figura di un docente dell'Università di Ferrara, Giuseppe Bongiovanni. Il suo contributo allo sviluppo della meteorologia ferrarese, narrato in un video di sette minuti circa, è descritto estesamente nei paragrafi a seguire. I prodotti realizzati comprendono, oltre al video, una tavola tattile relativa alla morfologia e alle

caratteristiche fisiche delle nuvole, la realtà aumentata sull'Osservatorio meteorologico oggi scomparso e, infine, il programma di visite alla "Collezione Instrumentaria delle Scienze Fisiche" del Sistema Museale d'Ateneo (Fig. 2). L'infografica in Fig. 3 illustra le diverse competenze necessarie alla produzione del video: ricerca storico-scientifica, ricerca di immagini fotografiche d'epoca, sopralluoghi, creazione e animazione di modelli 3D, riprese fotografiche e video (anche con drone), sceneggiatura, scrittura dei testi, registrazione della voce narrante, selezione della musica di sottofondo. Tutte queste fasi concorrono, insieme e sinergicamente, alla creazione di una comunicazione visiva e sonora curata ed accessibile. Nella progettazione è stata ricercata l'integrazione multisensoriale mediante il coinvolgimento della vista e dell'udito attraverso i sottotitoli, la modulazione della velocità di narrazione e la coerenza temporale tra i contenuti scritti e orali. Queste scelte possono infatti favorire l'accessibilità e la comprensione dei contenuti anche per chi ha difficoltà sensoriali, rendendo il materiale maggiormente fruibile. Il video è attualmente proiettato nella "Sala dei Comuni" del Castello Estense e nella "Sala Agnelli" della Biblioteca Ariostea, due dei luoghi ferraresi oggetto della narrazione.

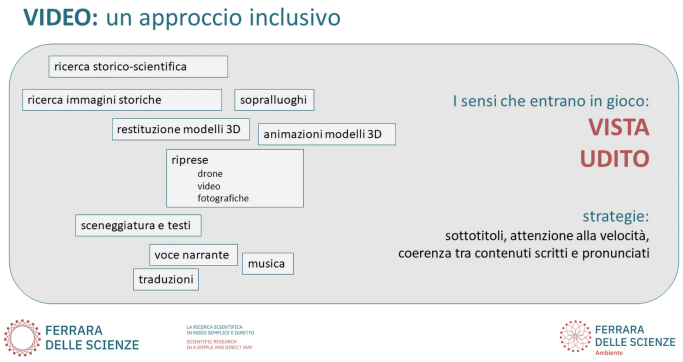


Fig. 3: Workflow del video.

2. I luoghi e i protagonisti della storia della meteorologia ferrarese[1]

2.1. Le origini

Attraverso il progetto di Public Engagement sopra descritto, il gruppo di lavoro intende dunque proporre una 'riscoperta' dei luoghi e delle personalità scientifiche che maggiormente hanno contribuito allo sviluppo della meteorologia ferrarese. Il progetto si concentra, in particolare, sull''epoca d'oro' che caratterizzò la fine del XIX e i primi decenni del XX secolo, quando la direzione dell'Osservatorio meteorologico cittadino era affidata al fisico Giuseppe Bongiovanni (Maragno, 2024, pp. 1, 111-112, 140; Graziani Bottoni, 1997, pp. 21-23). La ricerca scientifica in questo campo, però, è attestata a Ferrara fin dagli ultimi anni del Settecento: appare quindi necessario ripercorrerne – seppur brevemente in questa sede – le tappe principali.

Fu il gesuita spagnolo Antonio Prieto (1742-1795) ad occuparsi per primo di effettuare regolari registrazioni di dati pluviometrici in città. Nello stesso periodo, Antonio Campana (1751 o 1753-1832), titolare della cattedra di "Fisica sperimentale" dell'Università di Ferrara, forniva il Gabinetto di fisica, da poco fondato, di alcuni dispositivi ad uso meteorologico. In seguito, sul finire del primo decennio dell'Ottocento, iniziarono ad essere pubblicati sul quotidiano *Giornale Ferrarese* i dati, registrati presso il locale Orto botanico, relativi alla pressione atmosferica, alla temperatura (all'alba e al tramonto), alla direzione dei venti (all'alba e al tramonto) e allo stato del cielo. Anche il successore di Campana alla cattedra di "Fisica sperimentale", Bartolomeo Ferriani (1794-1863), dimostrò il suo interesse verso la disciplina acquistando alcuni strumenti meteorologici per il Gabinetto di fisica e dedicando alcune delle sue *Proposizioni* ad argomenti quali le composizioni chimiche dell'aria, la misura della pressione atmosferica, la presenza di elettricità nelle nubi temporalesche nonché la spiegazione fisica dell'origine dei lampi e dei tuoni. Nel 1855, la città entrò a far parte della rete meteorologica pontificia istituita da Angelo Secchi grazie all'impegno di Francesco Luigi Botter (1818-1878), allora titolare della cattedra

di “Agraria teorico-pratica” (Maragno, 2024, pp. 55-58).

2.2. *L’Osservatorio a Palazzo Paradiso*

Il 1864 segna una significativa ‘svolta’ per gli studi meteorologici ferraresi: in quell’anno Curzio Buzzetti fu nominato Professore di “Fisica sperimentale”, con l’espressa richiesta di tenere insegnamenti in ambito meteorologico e di assumere l’incarico di Direttore dell’Osservatorio meteorologico (che doveva ancora essere progettato e costruito). Le istituzioni cittadine mostrarono quindi speciale cura verso la materia. La fiducia riposta in Buzzetti fu ripagata: egli si adoperò, con perseverante pazienza, affinché la disciplina raggiungesse un’importanza tale da essere riconosciuta non soltanto nel contesto accademico ma altresì dalla comunità cittadina. La costruzione dell’Osservatorio appariva una questione urgente e il luogo prescelto fu individuato in Palazzo Paradiso, allora sede dell’Università ferrarese.

Inizialmente si suggerì di impiegare i locali del piano superiore della “Torre dell’Orologio”, ma l’idea fu accantonata dopo pochi mesi, dal momento che gli spazi erano quasi del tutto occupati dal meccanismo dell’orologio.

Quindi, nel 1865, si propose di erigere una “Torricella” nell’angolo di nord-ovest del Palazzo. Nel corso di un anno la costruzione poteva dirsi ultimata: mancavano solamente interventi di minore importanza (quali rendere agibile una scala, riparare una finestra, riporre gli strumenti di misura sugli appositi scaffali e collocare gli arredi necessari). Questi lavori continuavano ad essere rimandati o sospesi, nonostante i continui reclami e le pressanti sollecitazioni da parte dello stesso Buzzetti. Soltanto dal 1 luglio 1878 fu possibile dare inizio alle registrazioni di dati meteorologici nell’Osservatorio presso la “Torricella” (Maragno, 2024, pp. 60-81).

Nei quattordici anni che intercorsero tra la nomina a Direttore e l’avvio delle osservazioni presso la “Torricella”, Buzzetti aveva comunque eseguito la raccolta dei dati meteorologici, anche se con notevoli difficoltà. Fino al 1870, lo studioso aveva effettuato le registrazioni nella propria abitazione con l’ausilio di pochi strumenti; il pluviometro e l’anemoscopio erano stati invece collocati presso l’Orto botanico. In quell’anno, Buzzetti fu costretto a trasferirsi in un nuovo domicilio, dove non gli era possibile effettuare alcuna osservazione. Come sappiamo, i lavori di costruzione dell’Osservatorio erano lungi dall’essere completati e dunque, fino al 1878, furono registrate presso l’Orto botanico soltanto le misure relative all’altezza dell’acqua caduta (per pioggia o per neve), alla direzione dei venti e allo stato del cielo. Dal 1 luglio 1878, infine, le osservazioni meteorologiche furono condotte presso la “Torricella”. Nel 1884, Buzzetti dovette ritirarsi da tutti i suoi incarichi a causa di problemi di salute, lasciando in eredità ai suoi successori un efficace sistema di raccolta dati supportata da un’adeguata, benché limitata, strumentazione. Grazie al suo impegno, nel 1865 Ferrara aderì alla rete delle 21 stazioni originarie del primo servizio meteorologico ufficiale del Regno d’Italia. Nonostante le ristrettezze nelle quali era costretto ad operare, Buzzetti registrava giornalmente i dati e trasmetteva i risultati decadici alla Direzione della Statistica del Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio. Inoltre, si occupava della pubblicazione di un bollettino meteorologico quotidiano sulle pagine della *Gazzetta Ferrarese* e (anche se solo per pochi mesi) sul periodico *Giornale di Agricoltura, Industria e Commercio* (Maragno, 2024, pp. 53-54, 61-82).

Tra il 1884 e il 1885, il fisico ‘normalista’ Giuseppe Bongiovanni (1851-1918) subentrò a Buzzetti. Bongiovanni era giunto a Ferrara già nel 1877 con la nomina di docente presso il Liceo “Ariosto”. Il fisico lughese fu dunque successore di Buzzetti anche nell’incarico di Direttore dell’Osservatorio (Maragno, 2024, pp. 1, 17-20, 23-25, 61, 81-82).

Nell’Osservatorio presso la “Torricella” di Palazzo Paradiso le osservazioni giornaliere erano effettuate alle ore 9, alle 12, alle 15 e alle 21; se ne aggiunse poi una quinta a partire dal 1894, condotta alle ore 7 (dal 1 aprile al 30 settembre) o alle ore 8 (dal 1 ottobre al 31 marzo). I dati registrati riguardavano la pressione atmosferica, le temperature massima e minima, il grado di umidità dell’aria, la direzione dei

Fig. 4: Pireliometro di Pouillet, igrometro a condensazione di Regnault e psicrometro di August a ventilazione forzata a molla, in dotazione dell'Osservatorio meteorologico e oggi conservati presso la "Collezione Instrumentaria delle Scienze Fisiche" (fotografie a cura dell'Ufficio Servizi e-learning e multimediali dell'Università di Ferrara).

venti, lo stato del cielo e la quantità di acqua caduta. La "Torricella" era composta da due locali circolari sovrapposti. Il primo, posto al piano inferiore, era adibito a studio e ad archivio; il secondo, al piano superiore, ospitava la quasi totalità della strumentazione. Infine, sulla terrazza sovrastante trovavano posto i rimanenti dispositivi. Nonostante la struttura fosse stata da poco costruita, necessitava già di manutenzione. Innanzitutto, il muro sottostante la volta mostrava macchie di umidità ed efflorescenze di salnitro in corrispondenza del tubo del pluviometro collocato sulla terrazza. Inoltre, le nicchie nella stanza inferiore erano insufficienti per la collocazione di strumenti come il sismografo. Infine, mancavano ancora elementi di arredo quali sedie e mensole. Queste mancanze, tuttavia, apparivano ben poca cosa rispetto ai gravi difetti che la "Torricella" non aveva tardato a mostrare. La mera presenza della stessa rappresentava un serio danno al tetto dell'intero Palazzo Paradiso. Si aggiunga che alcuni strumenti avevano trovato collocazione in luoghi inidonei e, a causa di ciò, come Bongiovanni denunciava, si riscontravano errori di misura non trascurabili. Più in dettaglio, i termografi, posti sul davanzale della finestra a nord, restituivano dati non corretti perché erano colpiti dai raggi del sole riflessi dal tetto di una delle sale della biblioteca e perché erano posizionati a distanza troppo ravvicinata dalle stufe della biblioteca stessa. Errori di misura nelle osservazioni erano causati altresì dalla costante presenza di persone che salivano e scendevano le attigue scale di legno. Si aggiungeva, infine, la consapevolezza che spazi tanto angusti non sarebbero stati sufficienti ad accogliere il sempre maggiore numero di strumenti a disposizione dell'Osservatorio (Maragno, 2024, pp. 61, 78-80, 82-83, 101, 112).

2.3. L'Osservatorio nel Castello Estense

La soluzione ai problemi della "Torricella" non poteva che essere radicale: l'Osservatorio fu trasferito nella Torre di nord-ovest del Castello Estense, denominata "Torre di Santa Caterina" o "Torre Panfilia". Nella nuova sede le osservazioni iniziarono ad essere eseguite tra la fine del 1895 e l'inizio del 1896. Pochi mesi dopo, la "Torricella" di Palazzo Paradiso fu demolita.

Nella Torre di Santa Caterina, un locale al piano inferiore fungeva da archivio, mentre una stanza più ampia al piano superiore e la terrazza che la circonda accoglievano gli strumenti di misura. L'Osservatorio

era inoltre dotato di una biblioteca (colpita da un incendio nel 1911), di una stazione aerologica e di una radiotelegrafica (quest'ultima fu operativa dal 1913 al 1914 e tornò in funzione in tempi successivi a Bongiovanni) (Maragno, 2024, pp. 37-38, 84-87).

L'attività scientifica presso l'Osservatorio comportava, per il suo Direttore, una routine particolarmente impegnativa. Bongiovanni non si limitava ad interpretare i dati raccolti eseguendo calcoli e medie, ma spesso si sostituiva ai collaboratori nelle osservazioni, oltre a testare personalmente gli strumenti di misura. L'invio dei dati per numerosi enti avveniva a ritmo quotidiano, decadico, mensile e annuo. Le osservazioni furono inoltre pubblicate con regolarità e crescente frequenza. Il preciso e rigoroso metodo scientifico che aveva caratterizzato lo stile di Buzzetti fu adottato e addirittura migliorato da Bongiovanni. Questi annotava più volte al giorno i dati relativi alla pressione atmosferica, alla temperatura (media, massima, minima ed escursione diurna), alla direzione e alla velocità dei venti, all'umidità assoluta e relativa (media, massima e minima), all'insolazione, all'evaporazione, alle precipitazioni (durata e forma, altezza dell'acqua caduta, numero di giorni con pioggia, con pioggia-neve, con neve, con temporali, con grandine, con nebbia – compresa quella all'orizzonte e la caligine –, con brina e con gelo), all'aspetto dell'atmosfera (numero di giorni sereni, misti, coperti, con precipitazioni, con nebbia, con nebbia bassa, con caligine). La nebulosità era indicata sulla base della quantità delle nubi (con numeri da 0 a 10), accanto a una accurata descrizione della tipologia delle stesse (cirri, cumuli, strati, nembi, cirro-cumuli, cirro-strati). Termini ancor più minuziosi specificavano le caratteristiche della nebbia, delle precipitazioni, del gelo, dei fulmini, dell'intensità dei venti. Bongiovanni giunse ad indicare persino la presenza di "meteore diverse" e di aloni lunari serali.

È sorprendente sottolineare quanto un apparato metodologico così raffinato poggiasse su una strumentazione che non superava le trenta unità (si trattava principalmente di strumenti meteorologici, oltre ad alcuni astronomici e sismologici). La quasi totalità di questi dispositivi era stata messa a disposizione dal Regio Ufficio Centrale di Meteorologia. Appare particolarmente degno di nota il fatto che tre apparati in uso presso l'Osservatorio erano stati progettati e realizzati da Bongiovanni stesso: un anemoscopio a trasmissione elettrica, un pluviografo a galleggiante e un udometro contatore "Brassart" convertito in udografo. Altre registrazioni, relative alla temperatura e alla quantità di acqua caduta, erano svolte presso stazioni termo-udometriche provinciali, istituite da Bongiovanni poco dopo la sua nomina a Direttore. Tali stazioni erano situate ad Argenta, Bando, Bondeno, Cento, Codigoro, Portomaggiore, Copparo (fino al 1909) e Comacchio (fino al 1915). In sei di queste otto stazioni erano altresì raccolti dati anemometrici (Maragno, 2024, pp. 87-91, 101-102, 111-140, 171-173).

Come Buzzetti prima di lui, anche Bongiovanni si occupava di pubblicare una tabella giornaliera sul quotidiano *Gazzetta Ferrarese*. I due studiosi dimostravano così una non scontata attenzione verso la collettività. Buzzetti, oltre a curare il bollettino sul quotidiano suddetto affinché tanti, nelle sue parole, potessero beneficiare delle osservazioni per "accrescere la prosperità" di una "regione eminentemente agricola", teneva non di rado letture pubbliche in città su argomenti di meteorologia ed astronomia. Da parte sua, Bongiovanni divenne una figura familiare ai cittadini ferraresi grazie alla sua assidua abitudine di affiggere personalmente i bollettini meteorologici, ogni giorno, sotto il loggiato del Teatro Comunale. Gli interessi culturali di Bongiovanni, che si estendevano oltre i confini delle discipline scientifiche, gli permisero di rafforzare ulteriormente il suo legame con la città di Ferrara. Infatti, egli strinse una profonda amicizia con i principali esponenti dell'arte metafisica, quali i fratelli Giorgio de Chirico e Alberto Savinio, Carlo Carrà e Filippo de Pisis, tutti operanti a Ferrara durante l'infuriare della Prima guerra mondiale. L'intenso rapporto degli artisti con lo studioso è testimoniato dai molti riferimenti – più o meno espliciti – nelle loro opere a Bongiovanni, all'Osservatorio presso la Torre di Santa Caterina e ad alcuni strumenti da lui utilizzati (Maragno, 2024, pp. 1, 40-43, 65-67, 91; Bertelli *et al.*, 2017, pp. 354, 356-358; Domenicali, 2015, pp. 226-231).

Nel corso della Prima guerra mondiale, la Torre di Santa Caterina fu impiegata come postazione di osservazione e difesa: di conseguenza, parte degli apparati meteorologici posizionati sulla terrazza furono spostati sul tetto. L'improvvisa scomparsa di Bongiovanni, avvenuta a Siena il 24 agosto 1918, segnò l'inizio della decadenza per l'Osservatorio ferrarese. Le attività si protrassero per alcuni decenni, nonostante le esigue risorse economiche a disposizione, ma si ridussero progressivamente fino a cessare del tutto nel 1954, anno della chiusura definitiva. Si suggellava, così, l'indissolubile legame tra Bongiovanni e l'Osservatorio che egli aveva elevato ai più alti standard nazionali. Il riservato studioso "a capo chino" era riuscito a radicare la meteorologia nella cultura storico-scientifica ferrarese, collocandola simbolicamente "in cima" all'edificio forse più rappresentativo della città: il Castello Estense (Maragno, 2024, pp. 1, 38, 43, 87, 92-95, 192, 219).

Fig. 5: La tavola tattile esposta in occasione della "Notte Europea dei Ricercatori".

3. Altre iniziative[1–3]

Il presente progetto di Public Engagement - che, come detto, rappresenta l'avvio di "Ferrara delle Scienze" nella sezione "Ambiente" - si sviluppa anche in una serie di iniziative volte a permettere al pubblico una "esplorazione culturale" nel segno della multisensorialità. Accanto a tre conferenze dedicate a temi inerenti al progetto (la previsione del tempo nella storia, nel presente e nel futuro; il periodo 'ferrarese' di Giorgio de Chirico; il concetto di vuoto in fisica e in architettura), è in programma un concerto, organizzato in collaborazione con il Conservatorio "Girolamo Frescobaldi" di Ferrara, che propone un percorso nella storia della musica incentrato sui fenomeni meteorologici. A corredo di queste attività, sono proposte visite guidate alla "Collezione Instrumentaria delle Scienze Fisiche" (Sistema Museale d'Ateneo) nella quale è conservata parte della strumentazione dell'Osservatorio meteorologico ferrarese. In occasione di altre iniziative organizzate dall'Università di Ferrara alle quali il progetto aderisce (ad esempio la "Notte Europea dei Ricercatori" e "Porte Aperte al Polo Scientifico-Tecnologico"), è esposta la tavola tattile (Incerti *et al.*, 2024) (Fig. 5). Inoltre, nel corso di tutti gli eventi citati, è proiettato il video sopra brevemente descritto. Il progetto rappresenta, infine, l'occasione per coinvolgere e stimolare gli studenti del Corso di Studi in Fisica a redigere tesi di laurea nel campo della meteorologia.

Immagini, musica, esperienze tattili, realtà aumentata: sono questi gli strumenti impiegati per comunicare una storia dalla natura multidisciplinare e multisensoriale, allo scopo di costruire una memoria collettiva aperta a tutti e fortemente legata al territorio.

Il gruppo di lavoro "Ferrara delle Scienze - Ambiente" è composto da Matteo Albéri, Marco Aricò, Luca Barion, Stefano Costantini, Leonardo Davì, Arianna Diegoli, Enrica Domenicali, Barbara Fabbri, Sara Guberti, Manuela Incerti, Paolo Lenisa, Antonio Mancini, Anna Maragno, Paolo Mellone, Michele Parise, Giulia Pellegrini, Simone Serrentini, Andrea Trevisani, Raffaela Vitale, Veronica Vitali, Grazia Zini.

Bibliografia

Bertelli, S., Lenisa, P., Zini, G. (2017). "Fisica e Metafisica?": science at the time of de Chirico and Carrà", in Esposito, S. (ed.), *Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia. Atti del XXXVI Convegno annuale*, Napoli, 4-7 ottobre 2016. Pavia: Pavia University Press, pp. 353-360.

Graziani Bottoni, M. (1997). *Perché lei deve essere così letterato? Profilo di Giuseppe Bongiovanni, Professore di Fisica del Liceo Ginnasio Ariosto dal 1877 al 1917*. Ferrara: Quaderni del Liceo Classico L. Ariosto e Tipo-Litografia Artigiana.

Domenicali, E. (2015). "Le Muse inquietanti nel telescopio della Torre Panfilia", in *Il silenzio e la cura. Vite di medici e cittadini ferraresi nelle Grandi Guerre del Novecento*. Ferrara: Faust Edizioni, pp. 224-231.

Incerti, M. (2025). "Toccare per conoscere: esperienze tattili per il Museo di Casa Romei", in Farroni, L. & Mancini, M.F. (eds.), *Ambienti flessibili. Creatività, inclusione, ecologia, reale e virtuale*, Roma, 7-8 novembre 2024, Roma: RomaTrE-Press.

Incerti, M. *et al*. (2023a). "Casa Romei, museo dei 5 sensi. Un *focus* sulla vista/Casa Romei, Museum of the 5 Senses. A Focus on Sight", in Cannella, M., Garozzo, A. & Morena S. (eds.), *Transizioni. Attraversare Modulare Procedere*, 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Congresso della Unione Italiana per il Disegno. Milano: FrancoAngeli, pp. 1457-1478.

Incerti, M., Costantini, S. (2023b), "Attraversa i tuoi sensi: accessibilità e inclusione nel Museo di Casa Romei a Ferrara", in Sdegno, A. & Riavis, V. (eds.), *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione. Atti del II convegno DAI*, Udine, 1-2 dicembre 2023. Alghero: Publica, pp. 682–697.

Incerti, M. *et al*. (2024). "Comunicare la meteorologia attraverso esperienze tattili", in Empler, T., Caldarone, A. & Fusinetti, A. (eds.), *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*, Atti del III convegno DAI, Roma, 5-6 dicembre 2024. Alghero: Publica, pp. 476-491.

Maragno, A. (2024). *"Centinaia di gradini". Giuseppe Bongiovanni e la meteorologia a Ferrara*, Tesi di Dottorato, Ferrara: Università degli Studi di Ferrara.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_31, pp. 269–276
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-31

La prima misura della carica dell'elettrone: le ricerche di J. J. Thomson e di R. Millikan a confronto

Matteo Leone[1], Francesca Monti[2] and Nadia Robotti[3]

[1]Università di Torino, Dipartimento di Filosofia e Scienze dell'Educazione, Torino & Centro Ricerche Enrico Fermi, Roma, matteo.leone@unito.it.
[2]Università di Verona, Dipartimento di Informatica, Verona & Centro Ricerche Enrico Fermi, Roma, francesca.monti@univr.it.
[3]Università di Genova, Dipartimento di Fisica, Genova & Centro Ricerche Enrico Fermi, Roma, nadia.robotti@gmail.com.

Abstract: In this study we analyse the status, meaning and implications, also at the educational level, of J. J. Thomson's and R. Millikan's respective research concerning the discovery of the electron and the measurement of its electric charge. In this regard, two experiments are usually addressed in secondary school and university textbooks as well as in many websites and Encyclopaedic entries: the measurement of the *e/m* ratio in the case of cathode rays in 1897 by the English physicist Sir J. J. Thomson, labelled as the "discovery of the electron" experiment, and the oil-drop experiment in 1911 by the American physicist R. Millikan, labelled as the "measurement of the electron charge". Filling this 14 years' jump against the background of the historical conceptual difference between the terms "electron" (already coined by G.J. Stoney in 1891) and "corpuscle", we will show that Thomson was in fact the first one to measure the electron (his "corpuscle") charge in 1899, and that Millikan was not even the first one to use an experimental method consisting in catching ions on droplets and measuring their speed inside vertical electrical and gravitational fields. This does not mean, of course, that Millikan's role was not fundamental: his interest was in the *elementary charge* and his great merit was that of demonstrating that all charges are integer multiples of an elementary charge, which is the same as the charge of the electron. Thus, Thomson and Millikan had two completely different research programs and as such they should therefore be disentangled.

Keywords: Electron charge, Elementary charge, History of Physics

1. Introduzione

In questo studio analizziamo le ricerche di J. J. Thomson e di R. Millikan sulla scoperta dell'elettrone e sulla misura della sua carica elettrica, con l'obiettivo di chiarirne il significato e le implicazioni anche a livello didattico. Infatti, nei libri di scuola, nei manuali universitari, e nella maggioranza dei siti web e delle voci enciclopediche, la storia della scoperta dell'elettrone e della misura della sua carica elettrica viene presentata attribuendo al fisico inglese Sir J. J. Thomson la misura, nel 1897, del rapporto carica/massa (*e/m*) nel caso dei raggi catodici (esperimento al quale ci si riferisce come quello "della scoperta dell'elettrone") e poi, con un salto di quattordici anni, indicando, a completamento dell'esperimento di Thomson, l'esperimento delle gocce d'olio nel 1911 del fisico americano R. Millikan, al quale ci si riferisce come quello "della misura della carica elettrica dell'elettrone" (Leone, Monti & Robotti, 2023).

Obiettivo del nostro studio è colmare questo salto di quattordici anni e dimostrare che:

- Thomson e Millikan avevano programmi di ricerca completamente diversi e come tali le loro scoperte andrebbero presentate e distinte;
- Thomson è stato il primo a misurare la carica dell'elettrone ("corpuscolo") nel 1899;
- Millikan non è stato il primo né a utilizzare il metodo sperimentale della cattura degli ioni in gocce

né a misurarne la velocità di caduta in presenza e in assenza di un campo elettrico;
- è un errore storico e culturale presentare gli esperimenti di Millikan come un completamento dell'esperimento di Thomson del 1897.

A tale fine, presenteremo in successione, seguendone il filo dei ragionamenti, i tre lavori di Thomson pubblicati nel 1897 (misura di e/m dell'elettrone nel caso dei raggi catodici), nel 1898 (misura di e per gli ioni prodotti dai raggi X in aria in presenza di vapore d'acqua), e nel 1899 (misura di e dell'elettrone nel caso dell'effetto fotoelettrico), e la serie dei cinque lavori di Millikan pubblicati tra il 1907 e il 1913 sulla misura del valore della carica elettrica elementare.

2. Il percorso di Thomson

Per comprendere appieno la distinzione fra i due programmi di ricerca di Thomson e di Millikan, occorre tenere presente che Thomson chiamò *corpuscolo* – e non *elettrone* – la nuova particella elementare da lui scoperta nel 1897. All'epoca, infatti, il termine "elettrone" esisteva già, ma aveva un significato molto diverso. Coniato da Stoney (1891), la parola "elettrone" indicava il valore specifico della carica elettrica con cui gli atomi tendevano a combinarsi chimicamente, come risultava dallo studio dei processi elettrolitici. Stoney aveva calcolato questo valore pari a 3×10^{-11}ues (1.03×10^{-20} C, essendo 1 ues = 3.3×10^{-10} C). Si può, quindi, affermare che, alla fine del XIX secolo, i concetti di carica unitaria, "atomo di elettricità" o "elettrone", e di ione erano già ben consolidati nel linguaggio scientifico.

Al contrario, credere che l'atomo non fosse indivisibile, che potesse essere scisso, e che esistessero particelle subatomiche con una propria identità, era tutt'altra cosa. Fu proprio questa la rivoluzionaria intuizione introdotta da Thomson con la sua scoperta del 1897.

2.1. La prima misura della carica elettrica elementare associata agli ioni: Thomson 1898

Nel suo classico articolo del 1897, ben noto e ampiamente descritto, Thomson mirava a misurare il rapporto m/e dei raggi catodici. A questo riguardo è importante sottolineare che tale rapporto risultò pari a circa 10^{-7}g/ues, ossia molto più piccolo rispetto al valore misurato per lo ione idrogeno nell'elettrolisi, che era di circa 10^{-4} g/ues. Ciò poteva essere dovuto sia a una massa molto più piccola, sia a un valore della carica elettrica molto maggiore, sia a un insieme di queste due cose.

Allo scopo di caratterizzare compiutamente questo nuovo costituente atomico, bisognava, quindi, misurarne separatamente la massa o la carica. Thomson si rese conto che era più semplice misurare la carica e da essa derivare la massa. Per effettuare questa misurazione, in tutti i suoi esperimenti Thomson sfruttò una tecnica, sviluppata al Laboratorio Cavendish da lui diretto, da C.T.R. Wilson (1897) basata sull'espansione adiabatica di aria satura di vapore d'acqua, in seguito alla quale, attorno a particelle cariche eventualmente presenti, si formano, per condensazione, delle goccioline d'acqua visibili e che, quindi, possono essere contate.

Inizialmente, Thomson tentò di misurare direttamente la carica dei corpuscoli nei raggi catodici, ma senza successo. Dovette, quindi, passare a un'altra fenomenologia, e scelse di misurare la carica degli ioni (positivi e negativi insieme) prodotti in un gas (tipicamente l'aria) ionizzato da raggi X.

Per la misura, Thomson aveva a disposizione una tecnica, anch'essa sviluppata al Laboratorio Cavendish, che permetteva di stimare la carica totale Q associata a tutti gli ioni presenti nell'unità di volume n, cosicché si poteva determinare la carica di un singolo ione dalla relazione $Q = ne$ una volta misurato il numero totale di ioni. Per misurare questo numero, Thomson sfruttò, appunto, il fenomeno della condensazione di goccioline d'acqua attorno alle particelle cariche: nell'ipotesi in cui ad ogni gocciolina corrisponda un solo ione, il numero di ioni coincide, infatti, con il numero di goccioline osservate.

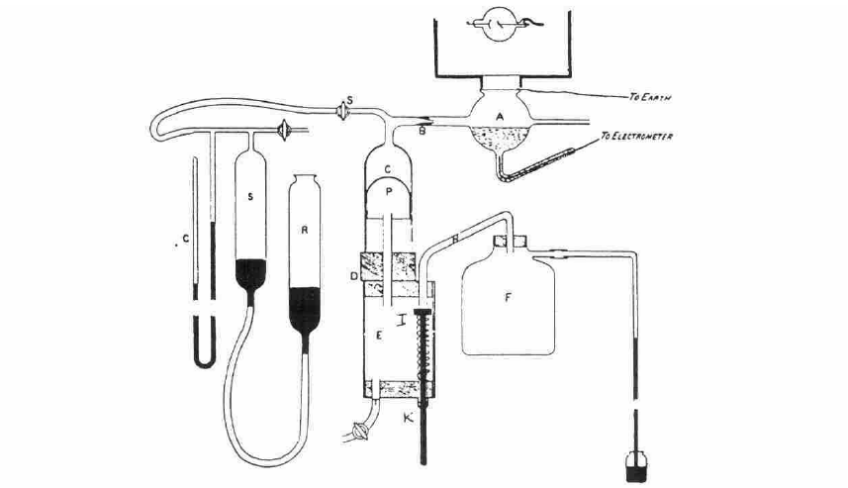


Fig. 1: Apparato di Thomson per la misura della carica sugli ioni prodotti da raggi X

2.1.1. Misura del numero degli ioni, n, in un gas ionizzato da raggi X

Il numero di goccioline per unità di volume di gas, n, può essere determinato a partire dalla massa di acqua condensata per unità di volume di gas, M, che è misurabile. Infatti, nell'ipotesi in cui le goccioline siano tutte uguali, posta uguale a 1 la densità dell'acqua:

$$M = nm = n(\frac{4}{3}\pi a^3) \tag{2.1}$$

dove a è il raggio delle goccioline.
Per trovare a, ipotizzando che la legge di Stokes sia valida anche per gocce così piccole, se ne misura la velocità di sedimentazione v in un fluido viscoso:

$$v = \frac{2}{9}\frac{a^2 g}{\mu} \tag{2.2}$$

dove μ è il coefficiente, noto, di viscosità cinematica del fluido.
La velocità v veniva a sua volta determinata osservando il tempo impiegato dallo strato superiore della nebbia (illuminato da una luce ad arco) a scendere di una determinata distanza. Conoscendo M era così possibile ricavare n da (2.1).

L'apparato utilizzato da Thomson è illustrato in Fig. 1. In pratica, abbassando bruscamente il pistone P, il volume complessivo aumenta e la temperatura si abbassa. In A si forma una nebbiolina visibile, e misurandone la velocità di sedimentazione v, è possibile determinare il raggio a e la massa di una singola gocciolina $m = 3.1 \times 10^{-9} v^{\frac{3}{2}}$. Si misura quindi la massa totale dell'acqua $M = nm$, da cui si può risalire al numero di goccioline corrispondente al numero di ioni n.

2.1.2. Misura della carica elettrica totale Q

Sempre con riferimento alla Fig. 1, per determinare la carica degli ioni per unità di volume Q si misura la densità di corrente I che, sotto un debole campo elettrico E, fluisce in A tra la superficie dell'acqua e la parete superiore del recipiente (una placca di alluminio), e dalla relazione $I = (ne)uE$, dove E è noto, n è il numero di ioni (positivi e negativi) per unità di volume e u è a velocità media degli ioni (positivi e negativi) - già misurata da Zeleny al Laboratorio Cavendish nel 1897 (Zeleny, 1898) - è possibile determinare il prodotto $ne = Q$. Noto il numero di ioni si può così ricavare la carica di un singolo ione $e = \frac{Q}{n}$. Thomson trovò così il valore $e = 6.3 \times 10^{-10}$ ues $(2.1 \times 10^{-19}$ C).

Per inciso, nel 1903 Thomson ripeté la misura di e fatta nel 1898 tenendo conto di quanto scoperto poco prima da C.T.R. Wilson e cioè che, nel caso dell'espansione utilizzata da Thomson ($\frac{V_f}{V_i} = 1.3$), le gocce si formavano in realtà solo sugli ioni negativi. Questa nuova misura diede come risultato per lo ione negativo un valore medio pari a 3.4×10^{-10} ues $(1.1 \times 10^{-19}$ C) che è circa la metà del valore trovato negli esperimenti precedenti (Thomson, 1903).

2.2. *La prima misura in assoluto della carica elettrica del "corpuscolo": Thomson 1899*

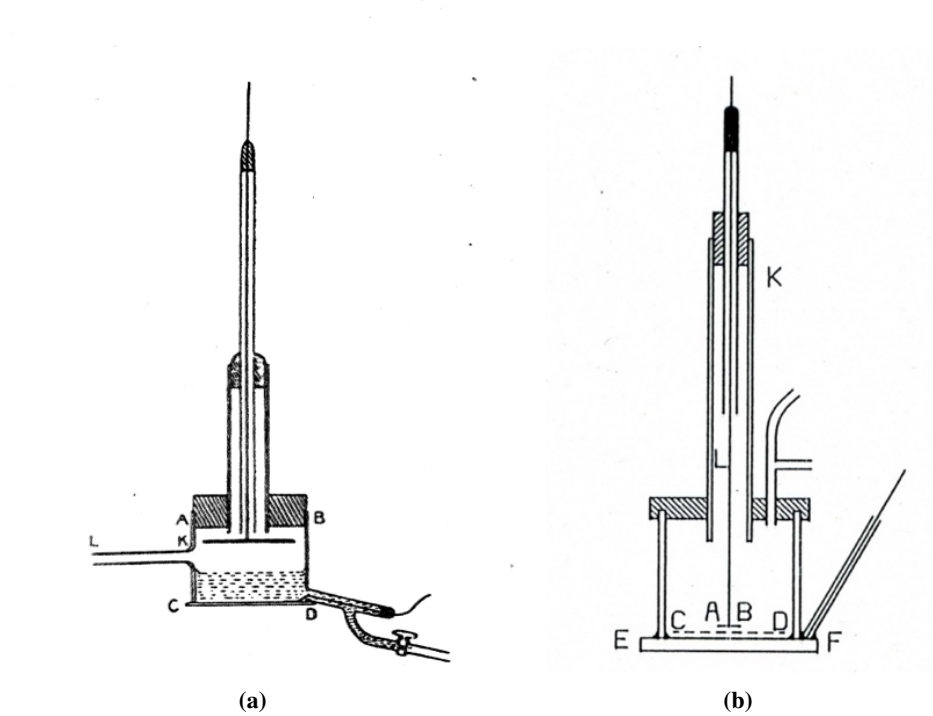
Le misure di Thomson del 1898 indicavano che le cariche sugli ioni hanno lo stesso valore indipendentemente dal tipo di gas e che sono dello stesso ordine di grandezza della carica dello ione idrogeno già osservata nell'elettrolisi. Tuttavia, non era possibile trarre alcuna conclusione riguardo a un possibile legame tra questa carica, associata agli ioni, e quella dell'elettrone o "corpuscolo", sia perché la carica misurata rappresentava il valore medio delle cariche degli ioni positivi e negativi, sia perché non era comunque possibile, in quel momento, identificare lo ione negativo con il "corpuscolo".

Di conseguenza, era necessario cercare una nuova fenomenologia che potesse essere interpretata in termini di "corpuscoli", e che consentisse al tempo stesso la misura sia della carica sia del rapporto carica/massa. La prima fenomenologia individuata da Thomson per queste misure fu l'emissione fotoelettrica.

2.2.1. La prima misura di "e": Thomson 1899

Per misurare la carica, Thomson seguì lo stesso procedimento del 1898. Il nuovo apparato è illustrato in (Fig. 2a): K è una lastra di Zn del diametro di 3.2 cm, posta a 1.2 cm dalla superficie dell'acqua; CD è una lastra di quarzo che consente il passaggio della luce ultravioletta; LK è il tubo che porta all'apparato per l'espansione adiabatica. Le goccioline che si formano per condensazione in seguito all'espansione adiabatica questa volta corrispondono ai corpuscoli emessi da K per effetto fotoelettrico.

Le misure effettuate da Thomson diedero un valore per la carica e in aria pari a 7.3×10^{-10} ues $(2.4 \times 10^{-19}$ C), in idrogeno pari a 6.7×10^{-10} ues $(2.1 \times 10^{-19}$ C).



(a) **(b)**

Fig. 2: Apparati di Thomson per la misura (**a**) della carica dei corpuscoli prodotti per effetto fotoelettrico e (**b**) del rapporto massa/carica dei corpuscoli prodotti per effetto fotoelettrico.

Questi valori sono dello stesso ordine di grandezza della carica trasportata dagli ioni prodotti dai raggi X (misurata nel 1898) e della carica trasportata dallo ione di idrogeno misurata nell'elettrolisi.

2.2.2. Misura di m/e

Per determinare il rapporto m/e dei corpuscoli emessi per effetto fotoelettrico (Fig. 2b), riferendosi a un fenomeno descritto nel 1890 da Elster e Geitel, riguardante l'attenuazione, in certe condizioni, del flusso di carica da parte di un campo magnetico, Thomson pose, nello spazio tra AB (la lastra di Zn, illuminata attraverso la lastra di quarzo EF) e CD (una reticella metallica), un campo elettrico X perpendicolare ad AB e un campo magnetico H parallelo ad AB. La distanza massima tra AB e CD era di 4 mm, e la pressione interna era molto bassa (1/100 mmHg). Come illustrato in Fig. 3, i corpuscoli di carica negativa emessi da AB verso CD descrivono una cicloide di raggio $d = 2X(m/e)H^2$. Detta x la distanza variabile tra la lastra AB (mobile) e CD, quando, all'aumentare di x il flusso di carica in CD si annulla significa che x è uguale a d. Conoscendo d, X e H è dunque possibile ricavare il rapporto m/e, che risultò pari a $m/e = 1.3 \times 10^{-7}$ g/ues.

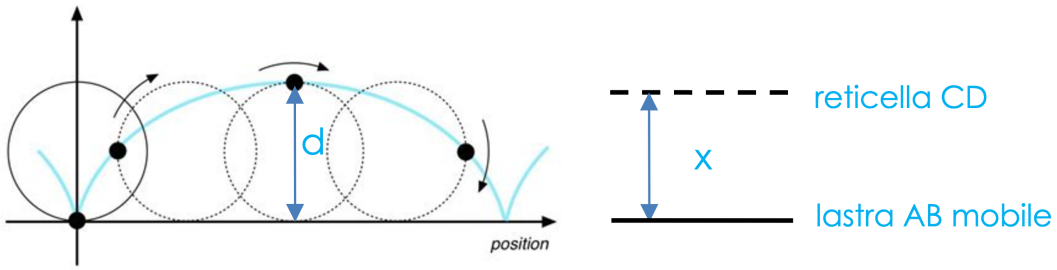


Fig. 3: Cicloide di raggio "d "descritta dai corpuscoli emessi da AB verso CD

Questo valore è dello stesso ordine di grandezza di quello misurato per i raggi catodici nel 1897, dimostrando così sia che l'effetto fotoelettrico è l'emissione degli stessi "corpuscoli" dalla lastra metallica illuminata sia che la carica elettrica misurata, e, è proprio la carica elettrica dei "corpuscoli".

Nello stesso articolo del 1899 Thomson ricavò il rapporto m/e anche nel caso di un altro fenomeno che pure interpretò come emissione di corpuscoli, ossia l'emissione di carica negativa da un filamento di carbone incandescente in atmosfera di idrogeno a bassa pressione (effetto termoionico). L'apparato sperimentale era simile a quello utilizzato per studiare l'effetto fotoelettrico, anche se con alcune modifiche, e la misura diede come risultato $m/e = 1.2 \times 10^{-7}$ g/ues. Questo risultato era in accordo con i valori trovati per l'effetto fotoelettrico e per i raggi catodici, dimostrando che anche l'effetto termoionico è dovuto alla emissione degli stessi corpuscoli.

A conclusione di questo importante articolo, Thomson stimava la massa del corpuscolo dell'ordine di 3×10^{-26} g, ossia circa un millesimo della massa dello ione H, e affermava:

> Nel trasporto di elettricità negativa a basse pressioni abbiamo qualcosa di ancora più piccolo dell'atomo, qualcosa che comporta la scissione dell'atomo, dal momento che abbiamo prelevato una parte, sebbene molto piccola, della sua massa. (Thomson, 1899, p. 563) (traduzione degli autori).

È importante sottolineare come l'esperimento di Thomson del 1899 suggerisca anche di guardare all'effetto fotoelettrico sotto una prospettiva nuova e diversa rispetto a quella solitamente adottata. L'effetto fotoelettrico riveste una importanza fondamentale nella storia della fisica, ancora prima dell'interpretazione di Einstein con riguardo alla nascita del concetto di fotone: porta all'identificazione di un costituente atomico distinto dall'atomo stesso e alla violazione del principio dell'indivisibilità dell'atomo. È sulla base di questo esperimento che le proprietà della materia potranno essere ricondotte al numero e alla distribuzione dei corpuscoli (come per primo fece Thomson stesso con l'efficace modello atomico da lui

successivamente proposto) e che si pongono le fondamenta della fisica moderna.

3. Il percorso di Millikan

Diversamente da Thomson, l'obiettivo di Millikan, da lui stesso dichiarato, era determinare con grande precisione il valore della carica elementare senza fare esplicito riferimento all'elettrone come particella:

> Tra tutte le costanti fisiche ce ne sono due che ... sono di importanza fondamentale, la velocità della luce ... e la carica elettrica elementare (Millikan, 1910, p. 226)(traduzione degli autori).

Il fatto che Millikan fosse interessato alla carica elementare e alla sua accurata determinazione emerge anche dal suo libro (Millikan, 1917) "L'elettrone", nel quale egli neppure menziona gli esperimenti di Thomson del 1899 sul corpuscolo ma cita solo la prima misura del valore della carica elementare da parte di Thomson (1898) (si veda il precedente par. 2.1) e quella di H.A. Wilson (1903) (si veda il successivo par. 3.1). È chiaro come, rispetto alle precedenti misure, l'obiettivo di Millikan fosse quello di arrivare alla determinazione più accurata possibile del valore della carica elementare analizzando e correggendo le imprecisioni dei precedenti esperimenti

3.1. Misura della carica elementare associata agli ioni: H. A. Wilson 1903

La serie di misure portate avanti da Millikan inizia nel 1907, quando Millikan recupera e modifica un esperimento nel frattempo fatto da H.A. Wilson (1903) al Cavendish sulla scia dell'esperimento di Thomson del 1898, basato sulla misura di due velocità di sedimentazione in assenza e in presenza di un campo elettrico per misurare la carica elettrica

Infatti, se si applica un campo elettrico X, la forza che agisce sulla goccia diventa $Xe + mg$ e la conseguente velocità di caduta v_2 in un fluido viscoso rispetto a quella in assenza di campo elettrico v_1 diventa:

$$\frac{mg}{mg + Xe} = \frac{v_1}{v_2} \tag{3.1}$$

Utilizzando il precedente risultato di Thomson del 1898 (par. 2.1.1) per la massa di una gocciolina in funzione della velocità di caduta in assenza di campo elettrico, $m = 3.1 \times 10^{-9}(v_1)^{3/2}$, era possibile ricavare e dalla equazione:

$$e = 3.1 \times 10^{-9}(g/X)(v_2 - v_1)v_1{}^{\frac{1}{2}} \tag{3.2}$$

senza bisogno di passare attraverso la misura della carica totale Q (par. 2.1.2). Con questo procedimento H.A. Wilson misurò $e = 3.1 \times 10^{-10}$ ues $(1.0 \times 10^{-19}$ C).

3.2. Prime misure della carica elementare da parte di Millikan: 1907 e 1910

La prima misura della carica elementare fatta da Millikan nel 1907 insieme a un suo studente, L. Begeman, fu uno studio presentato nel 1908 al congresso della Società Fisica a Chicago, del quale esiste solo un riassunto molto sintetico (Millikan & Begeman, 1908). Lo studio, come detto, si basava sul precedente lavoro del 1903 di H.A. Wilson. Millikan e Begeman usarono una sorgente di radio invece dei raggi X per ionizzare il gas (la cui natura non è precisata nell'abstract) e corressero alcuni errori (anch'essi non precisati) commessi da Wilson, ottenendo $e = 4.03 \times 10^{-10}$ ues $(1.35 \times 10^{-19}$C).

Il 23 ottobre 1909, al successivo congresso della Società Fisica a Princeton, Millikan, questa volta da solo, presentò uno studio che fu poi pubblicato nel 1910 (Millikan, 1910). Il cambiamento più significativo fu quello di osservare singole gocce sospese invece di uno strato di nebbia, per un tempo che variava dai 30 ai 60 secondi. Millikan utilizzò l'equazione di Wilson (3.2), con distanze e tempi inferiori e valori più accurati delle viscosità. Misurò diversi valori delle cariche elettriche portate dalle

gocce e trovò il loro massimo comun divisore, che identificò con il valore della carica elementare: $e = 4.65 \times 10^{-10}$ ues $(1.53 \times 10^{-19}\text{C})$.

3.3. Misura della carica elementare da parte di Millikan: 1911/1913/1917

Il salto di qualità avvenne poco più di un anno dopo, quando Millikan (1911) pubblicò i risultati del suo famoso esperimento con le goccioline d'olio, successivamente perfezionato (Millikan, 1913, 1917). Millikan non utilizzò più le goccioline create da un'espansione adiabatica, ma goccioline d'olio, una sostanza non volatile prodotta direttamente da un vaporizzatore, eliminando così gli errori dovuti soprattutto all'evaporazione dell'acqua. Un "nebulizzatore commerciale" (Fig. 4) generava una nube di minuscole gocce d'olio nella camera C, caricandole per attrito durante l'uscita dal nebulizzatore. Una o più di queste goccioline venivano fatte cadere attraverso un piccolo foro p nello spazio tra le piastre M e N di un condensatore piano, distanti 16 mm; successivamente il foro veniva richiuso. Illuminando le gocce su uno sfondo nero, esse apparivano, per utilizzare l'espressione dello stesso Millikan, come "stelle luminose" (traduzione degli autori). Un campo elettrico di intensità variabile fra 3000 e 5000 V poteva essere attivato o disattivato tra le piastre M e N. Questo metodo sperimentale, secondo quanto evidenziato dallo stesso Millikan, gli permise di catturare su una singola goccia una o più cariche, fino a un massimo di 150; di dimostrare la quantizzazione della carica elettrica in quanto tutte le cariche elettriche, qualunque fosse il loro metodo di produzione, risultavano essere multipli esatti di una carica elementare ben definita; di determinare così grande accuratezza il valore della carica elementare. Millikan trovò $e = (4.774 \pm 0.009) \times 10^{-10}$ ues $(1.575 \times 10^{-19}\,\text{C})$, con una precisione da lui stesso stimata come almeno 15 volte superiore a quella ottenuta con qualsiasi metodo precedente.

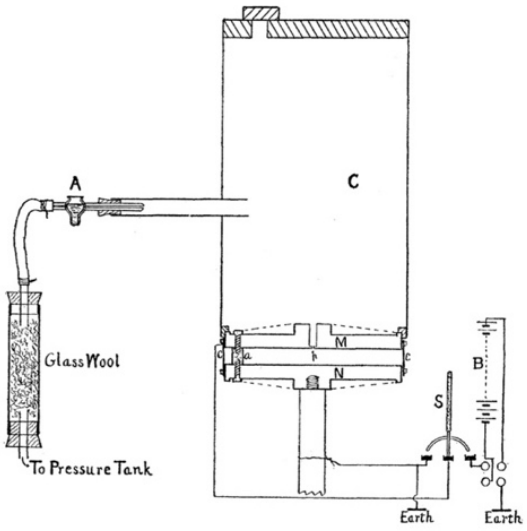


Fig. 4: Apparato di Millikan per la misura della carica elementare

Conclusioni

La ricostruzione presentata in questo studio permette di avere un quadro complessivo e completo dello sviluppo storico della misura della carica elettrica dell'elettrone e del valore della carica elettrica elementare.

Fu Thomson, nel 1898, il primo a realizzare la prima misura diretta della "carica elementare" associata agli ioni. Lungo questo filone si mossero H.A. Wilson (1903), Millikan con Begeman (1907) e Millikan da solo (1910). Millikan, poi, nel 1911, 1913 e 1917 si spinse verso misurazioni sempre più precise della "carica elementare" riconoscendo la quantizzazione della carica elettrica. Millikan stesso evitò deliberatamente di riferirsi alla "carica dell'elettrone", usando invece proprio il termine "carica elettrica elementare".

E fu sempre Thomson nel 1899 a realizzare, a partire dall'effetto fotoelettrico, la prima vera misura diretta della carica dell'elettrone (all'epoca chiamato "corpuscolo"), concepito come particella subatomica con una sua propria massa e una sua propria carica elettrica. Questa misura era indispensabile per

confermare la scoperta del corpuscolo. Determinando la carica e e il rapporto e/m, Thomson riuscì a ricavarne la massa dimostrando l'esistenza di particelle con massa circa un millesimo di quella dello ione H e la divisibilità dell'atomo.

Questo studio fornisce anche un esempio particolarmente significativo degli errori che vengono tipicamente commessi nelle presentazioni standardizzate della Fisica e del suo sviluppo "quasi-storico" nonché del valore didattico, formativo e culturale della storia della fisica sia nel merito della comprensione e dell'applicazione delle leggi della Fisica e degli aspetti più strettamente tecnici e sperimentali, sia con riferimento alla *natura della scienza*, sia al fine di stimolare il senso critico e le capacità argomentative.

Bibliografia

Leone, M., Monti, F. & Robotti, N. (2023). "History of physics research and physics education", *Il Nuovo Cimento C,* 46, pp. 208-224.

Millikan, R.A. & Begeman, L. (1908). "On the charge carried by the negative ion of an ionized gas", *Physical Review*, 26(2), pp. 197-198.

Millikan, R.A. (1910). "A new modification of the cloud method of determining the elementary electrical charge and the most probable value of that charge", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 19, pp. 209-228.

Millikan, R.A. (1911). "The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stokes's law", *Physical Review*, 32, pp. 349-397.

Millikan, R.A. (1913). "On the elementary electrical charge and the Avogadro constant", *Physical Review*, 2, pp. 109-143.

Millikan, R.A. (1917). "A new determination of e, N, and related constants", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 34, pp. 1-30.

Robotti, N. (1995). "J.J. Thomson at the Cavendish Laboratory: the history of an electric charge measurement", *Annals of Science*, 52, pp. 265-284.

Thomson, J. J. (1897). "Cathode rays", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 44, pp. 293–316

Thomson, J. J. (1898). "On the charge of electricity carried by the ions produced by Röntgen rays", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 46, pp. 528-545.

Thomson, J. J. (1899). "On the masses of the ions in gases at low pressure", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 48, pp. 547–567.

Thomson, J. J. (1903). "On the charge of electricity carried by a gaseous ion", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5, pp. 346-355.

Wilson, C.T.R. (1896). "The effect of Röntgen rays on cloudy condensation", *Proceedings of the Royal Society of London*, 59, pp. 338-339.

Wilson, C.T.R. (1897). "Condensation of water vapour in the presence of dust-free air and other gases", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, 189, pp. 265-307.

Wilson, H.A. (1903). "A Determination of the Charge on the Ions Produced in air by Röntgen Rays", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5, pp. 429-441.

Zeleny, J. (1898). "On the ratio of the velocities of the two ions produced in gases by Röntgen radiation; and on some related phenomena", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 46, pp. 120-154.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_32, pp. 277–284
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-32

Dirac and Quantum Times

Enrico Giannetto[1]

[1]University of Bergamo - Department of "Lettere, Filosofia, Comunicazione", Bergamo, enrico.giannetto@unibg.it.

Abstract: In 1926, Dirac attempted to give a relativistic generalization of his mechanics of q-numbers, defining a new "quantum time" starting from the relation: $tW - Wt = -ih$. In the 1927 article, Heisenberg starts from this relationship by Pauli and Dirac which implies this new concept of quantum (relativistic) time. All the historical formulations of quantum mechanics were time irreversible. Time was a matrix in Heisenberg matrix mechanics and all the physical variables obeyed a matrix evolution, time irreversible equation. Schrödinger equation was written as representing the propagation of an irreversible physical wave. One has been able to state that quantum mechanics is time reversible only by defining the time reversal operator in a new way, involving also complex conjugation, just to obtain reversibility. This new formal insight was obtained for the first time only in 1932, in the paper *Über die Operation Zeitumkehr der in der Quantenmechanik* by Eugene Wigner. He introduced some sort of mathematical trick by defining the time reversal operator in a new way involving complex conjugation. Irreversibility of quantum mechanics is shown by giving a new insight into quantum time and motion.

Keywords: Quantum Time, Time Reversal Operator, Irreversibility; Quantum Mechanics

1. The Introduction of a *Quantum Time*

After the revolution of special relativity and general relativity, there was an unknown revolution in the concept of time also in quantum physics. It occurred very early, but was then denied and finally sent back to quantum gravity. At this level, it was then further denied, based on a classical idea of time. Quantum time is a discrete, discontinuous, multiple, irreversible time, linked to all the variety of processes and physical quantities that characterize them. It must not be identified with the idea of the existence of a minimum time, the so-called chronon (Kragh & Carazza, 1994). The concept of quantum time dates back at least to a work by Henri Poincaré (1854-1912) published in 1912 in which he presented an early form of quantum mechanics (Poincaré, 1912a, 1912b; Giannetto, 2005). The deepest recent search for a fundamental quantum time was done by David Finkelstein. It was through Dirac's work that in 1926 the concept of quantum time finally entered physics (Dirac, 1926). Dirac not only attempted to create a new mechanics as a synthesis of wave mechanics and matrix mechanics, but even before that Dirac had attempted to give a relativistic generalization of his q-number mechanics, defining a new quantum time starting from the relation: $tW - Wt = -ih$, where W indicates the energy (Giannetto, 2005).

Quantum numbers, *q-numbers*, are indeed ordinal numbers, temporal numbers: they do not commutate because of the temporal order: they indicate temporal irreversibility of measurement operations and general, temporal, physical processes.

Dirac, in his theory of transformations, had pointed out how the Schrödinger wave function corresponded to nothing other than a transformation from a scheme with diagonal position to one with diagonal energy in the language of matrices. That the system is described by a certain wave function means considering it as a process that can never be stationary in position energy or momentum or any other variable, except within the limits of a wave characterization.

This implied to Heisenberg that the fundamental concept of wave mechanics could be traced back to matrix mechanics. Matrices described temporal processes, thus wave functions did not describe states of a system, but temporal wave processes of some physical variable. Matrices, on the other side, were defined by Heisenberg in terms of a finite sum of Fourier analysis, which allows a decomposition of every physical variable change in terms of elementary sinusoidal and co-sinusoidal waves. Heisenberg considered the breakdown of the solar system model of the atom since Max Born has shown that an $N = 2$ atom presented an unsolvable three-body problem (Born, 1924). Thus, Heisenberg thought to describe electron motions as planet motions in Babylon algebraic astronomy, where the problem was the irregularity of trajectories, or the non-existence at all of a definite trajectory because the planets have many retrograde motions: Heisenberg introduced ephemeris-like (sinusoidal) time tables (Heisenberg, 1925) for electron motions, then interpreted as matrices (Born & Jordan, 1925; Born, Heisenberg & Jordan, 1926).

The problem of the concept of time played a very important role in Heisenberg's uncertainty relations.

Pauli had already hinted at the idea of defining time in terms of energy in a letter to Bohr dated 17 November 1925 (Pauli, 1979, vol. I, pp. 257-261). In the 1926 encyclopedia article, he highlighted how energy transitions were not describable according to exact times, as there was an imprecision in the moment of the transition and a problem regarding its duration.

In response to a letter from Heisenberg dated 27 January 1926, Pauli, in a letter dated 31 January 1926 (Pauli, 1979 vol. I, pp. 281-288), gives a new physical definition of time through the relationship, in a matrix formalism,

$$Wt - tW = \frac{1h}{2\pi i} \tag{1.1}$$

where W indicates the energy.

The concept of quantum time was therefore already born in the context of a synthesis between quantum mechanics and special relativity: if the position is a q-number, the Lorentz transformations imply that time is also a q-number.

In the 1927 article, Heisenberg starts from this relationship by Pauli and Dirac which implies this new concept of quantum (relativistic) time (Heisenberg, 1927). Even if Heisenberg's indeterminacy relations do not contain all the relativistic implications, which make them even more limiting, they arise within a relativistic consideration.

Quantum-relativistic complete implications indeed amount to the fact that it is no longer possible to obtain measurements relating to momentum and energy in an instant or in a short time since their accuracy would require an infinite amount of time (as regards momentum, the indeterminacy is around $\frac{\hbar}{c}$ for the inverse of temporal indeterminacy, $\Delta p \Delta t \sim \frac{\hbar}{c}$. The error on the position of a particle can end up coinciding with the De Broglie wavelength, $\Delta x \sim \frac{\hbar}{mc}$ or $\frac{\hbar}{p}$, which implies that the photon is never localizable) (Landau & Lifshitz, 1958).

It follows that uncertainty relations cannot be formulated in terms of simultaneous measurements of conjugated variables, as simultaneity is relativistically dependent on the reference system and can be rigorously defined only for events that occur at the same spatial point. The wave function of a certain size at a given instant is not definable, it does not correspond to observable and physically available information: it must be interpreted in terms of a space-time process, that is of an actual (ontological) finite, discontinuous multiplicity of quantum physical wave fields. The indeterminacies on the momentum and energies correspond to those of possible processes of creation and destruction of a particle-antiparticle pair $\Delta p \sim mc$ and $\Delta E \sim mc^2$, which means that the possibility of attributing them to a specific material particle is no longer valid, which means that particles can no longer be considered isolated and localizable objects, but waves.

In Heisenberg's 1927 formulation, which took Dirac's quantum time into account, the two indeterminacy relations, $\Delta q \Delta p \sim \hbar$ and $\Delta E \Delta t \sim \hbar$ were interpreted symmetrically. The Δt was not interpreted as a simple duration of the process but as an effective error on a quantum variable that can only be known probabilistically (Heisenberg, 1927).

In the letter to Pauli dated November 23, 1926 (Pauli, 1979, vol. I, pp. 357-360), Heisenberg wrote that "it is completely impossible for the world to be continuous" and "what the word 'wave' or 'particle' means is no longer known". And he added: "if space-time is discontinuous, the velocity in a defined point cannot have any meaning, because, to define the velocity in a point, there is a need for a second point infinitely close to the first: that is impossible in a discontinuous world".

Mathematically, Heisenberg's reflection can be translated as follows: $v = \frac{ds}{dt}$ and this also makes the definition of the momentum impossible, and being $E = h\frac{\omega}{2\pi} = \frac{d\theta}{dt} \cdot \frac{h}{2\pi}$ that is, since the pulsation ω is associated with an angular velocity, even the definition of energy becomes impossible if space-time is discontinuous. It is not possible to calculate the limit of the incremental ratio that defines the speed: time intervals, such as spatial or angular ones, cannot tend to zero, and mathematical discontinuities correspond to finite and irreducible experimental indeterminacies of physical quantities. Quantum time means discontinuous time, linked to discontinuous physical processes of change. Indeterminacy and discontinuity imply irreversibility. Usually, however, this irreversibility has been confined to the act of measurement. In classical mechanics, motion is considered reversible and so is time, as a spatial trajectory can be traveled in both directions. In quantum mechanics, it is not possible to trace a motion trajectory linked to a motion time law that gives the position as a continuous function of time. In the matrix mechanics of Heisenberg, Bohr, and Jordan, time is a matrix, and the matrices representing the physical processes of change (transition) are linked to temporally irreversible equations.

In any case, since Dirac's, Pauli's, and Heisenberg's works the concept of quantum time changed the concept of time: while, before them, it was connected to space and therefore to the process which, from Aristotle onwards, is called local motion, Heisenberg, under the suggestion of Pauli and Dirac, with the relations of indeterminacy, defines quantum time by connecting it to more general energetic processes of energy change. And here an irreversible, discontinuous, quantum time emerges. It was not discontinuity, discreteness of time to be not accepted. Now, the concept of an irreversible quantum time encountered very strong opposition when one wanted to consider quantum mechanics as temporally reversible like classical mechanics. Reversibility prepares a return to a time that can only be classical, like a simple mathematical parameter, to which no reality of irreversible change corresponds.

From a Heraclitean vision in which time was the constitutive foundation of *Physis*, we returned to a Parmenidean timeless vision also in quantum physics (Prigogine & Stengers, 1979).

2. The transformation of the time reversal operator

Quantum mechanics is usually considered as time reversible (Messiah, 1961, vol. II, pp. 664-675; Landau & Lifshitz, 1958), even if sometimes this "axiom" has been challenged (Racah, 1937; Schrödinger, 1950; Watanabe, 1955, 1965; Jauch & Rohrlich, 1955, pp. 88-96; Costa de Beauregard, 1980; Healey, 1981; Callender, 2000). Schrödinger's wave mechanics is considered as time-reversible and the other (Heisenberg's or Dirac's) formulations of quantum mechanics are considered as equivalent to wave mechanics (Giannetto, 1999). Quantum time asymmetry is so usually limited to the act of measurement (Reichenbach, 1956; Davies, 1974; Sachs, 1987; Zeh, 1989). However, it is not clear at all that this property of quantum mechanics is a theoretical or better an epistemic postulate. The deep reason for this postulate is related to the continuity (analogy) with classical mechanics. Quantum mechanics should be

time-reversible because classical mechanics is time-reversible. In classical mechanics, motion should be time-reversible because a spatial trajectory is time-reversible.

However, all the historical formulations of quantum mechanics were time irreversible. Time was a matrix in Heisenberg matrix mechanics and all the physical variables obeyed a matrix evolution, time irreversible equation. Schrödinger equation was written as representing the propagation of an irreversible physical wave (Giannetto, 1999).

One has been able to state that quantum mechanics is time reversible only by defining the time reversal operator in a new way, involving also complex conjugation, just to obtain reversibility. This new formal insight was obtained for the first time only in 1932, in the paper *Über die Operation Zeitumkehr der in der Quantenmechanik* by Eugene Wigner. It must be remembered that the time reversal operator must be defined in a new way to yield a time-symmetrical quantum mechanics. This was realized for the first time by Eugene Wigner (1931, 1932). Time reversal τ is defined an antiunitary operator, associating the transformation θ of t into $-t$ with a conjugation operation $*$ changing i into $-i$, in such a way that

$$\tau = \theta^* \tag{2.1}$$

$$\tau[\psi(x,t)] = \psi^*(x,-t) \tag{2.2}$$

where ψ is the wave function of a quantum mechanical system.

This definition is such that Schrödinger equation

$$H\psi(x,t) = i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t} \tag{2.3}$$

where H, the Hamiltonian operator, is invariant under τ transformation.

For a free particle

$$H = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 \tag{2.4}$$

and

$$p = -i\hbar\nabla \tag{2.5}$$

is invariant under τ transformation and the change in i is counterbalanced by the change of sign in t and the temporal partial derivative. This corresponds to the requirement that momentum changes its sign and energy does not change under time reversal as in classical mechanics and the canonical commutator between x and p is invariant: $[x,p] = i\hbar$.

However, these requirements are related to the classical concepts of momentum and energy and one cannot neglect that within quantum mechanics momentum and energy are no more classical variables but are associated with operators, which has no intrinsic physical meaning.

Within quantum mechanics, in the usual representation of eq. 2.5 momentum does no more depend on time, and so it does not change by changing t into $-t$. And even if one does not associate energy to an operator $i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$, Schrdinger equation is not invariant by changing t into $-t$ by transformation θ and makes energies change into negative values.

From

$$\theta[H\psi(x,t)] = \theta[i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t}] \tag{2.6}$$

it follows:

$$H\psi(x,t) = -i\hbar\frac{\partial\psi(x,-t)}{\partial t} \tag{2.7}$$

that is, $\psi(x, -t)$ does not obey the same equation.

However, this result cannot be a reason to change the definition of time reversal operator into an antiunitary operator. On the contrary, this must be taken as proof that quantum mechanics is not invariant under time reversal, just because a time inversion would change energies to negative values. Evolution operator $e^{-iH\frac{t}{\hbar}}$ under time reversal would imply negative energy values. For a θ time reversal transformation there is no probability (P) conservation and so no information conservation: $\frac{\partial P(x,-t)}{\partial t} = \nabla J(x, -t)$. Thus, time inversion cannot have any physical meaning.

This does not allow any dualism between a time-reversible, quantum dynamics and an irreversible quantum measurement.

3. Pauli against Dirac's Quantum Time

The need for classical time, as a parameter and not as a quantum operator, was due to the maintenance of temporally reversible quantum mechanics.

The main argument against quantum time is paradoxically due to Wolfgang Pauli:

> In the older literature on quantum mechanics, we often find the operator equation $Ht - tH = \frac{\hbar}{i}I$
> It is generally not possible, however, to construct a Hermitian operator (e.g. as a function of P and Q) which satisfies this equation.
> This is so because, from the C.R. written above, it follows that H possesses all eigenvalues from $-\infty$ to ∞ whereas on the other hand, discrete eigenvalues of H can be present. We therefore conclude that the introduction of an operator t is basically forbidden and the time t must necessarily be considered an ordinary number ("c-number") in Quantum Mechanics. (Pauli, 1980, p. 63)

Pauli's objection to the possibility of a time operator was linked to the fact that since energy is classically the generator of (continuous) time translations, every time operator must be conjugated to an energy operator (Hamiltonian) that has a spectrum unlimited continuum, a property which is not satisfied by the Hamiltonian of typical systems and which also leads to negative energy values.

However, Pauli presupposed here the continuity of time and the connection to energy. Paradoxically, the attempt to avoid quantum time linked to energy opens the way to a new concept of a multiplicity of quantum times linked to the rates of variation of each physical quantity.

4. A Plurality of Quantum Times

One has to consider also Dirac's Heisenberg operator equation for every operator A:

$$[A, H]_- = i\hbar\frac{\partial A}{\partial t} \tag{4.1}$$

that is not invariant for θ time reversal:

$$\theta[A, H]_- = \theta[i\hbar\frac{\partial A}{\partial t}] \tag{4.2}$$

implies

$$[A(-t), H]_- = -i\hbar\frac{\partial A(-t)}{\partial t} \tag{4.3}$$

Indeed, indeterminacy relations take the form:

$$\langle\Delta A\rangle\langle\Delta H\rangle \geq \frac{1}{2}\left|[A, H]_-\right| \tag{4.4}$$

so that

$$\langle \Delta A \rangle \langle \Delta H \rangle \geq \frac{1}{2} \left| [A, B]_{-} \right| \tag{4.5}$$

and

$$\langle \Delta A \rangle \langle \Delta H \rangle \geq \frac{\hbar}{2} \frac{\partial A}{\partial t} \tag{4.6}$$

In general, indeterminacy relations define a new concept of quantum time as a function of quantum operators: it can be associated with any change of physical variable that is irreversible by the Heisenberg equation. There is a multiplicity of quantum times (operators): there is no single temporal order. It is no longer necessary or possible to define time in terms of uniform spatial variation, but there is a different type of quantum time internal (proper) to each type of physical process. Due to the indefinability of a trajectory, local motion is also quantum unpredictable and an irreversible process (it is not possible to define a state of motion, i.e. motion as a state).

Therefore, we have that the energy-time indeterminacy relations are:

$$\langle \Delta E \rangle \langle \Delta t \rangle = \frac{\langle \Delta E \rangle \langle \Delta A \rangle}{\frac{\partial A}{\partial t}} \geq \frac{\hbar}{2} \tag{4.7}$$

and the quantum time for each A is defined:

$$\tau_A = \frac{\partial A}{\partial t} \tag{4.8}$$

Thus, if we carry out a time reversal transformation θ, we obtain

$$\langle \Delta E \rangle \langle \Delta t \rangle = \langle \Delta E \rangle \langle \Delta A(-t) \rangle > \frac{\partial A(-t)}{\partial t} \leq \frac{\hbar}{2} \tag{4.9}$$

which cannot be accepted because there is a violation of indeterminacy relations.

In this new definition of a multiplicity of quantum times linked to the variations of physical quantities, the time derivative is calculated in relation to a classical macroscopic time which acts as a reference sample. The quantum time of Heisenberg's uncertainty relations is therefore no longer directly connected to energy processes, but intrinsically to all physical variations in their discontinuity and irreversibility and is a further generalization of the concept of time. The attempt to maintain a reversible and continuous classical time has meant that the issue of a quantum time has been postponed until quantum gravity where it is unavoidable for space-time quantization, and here too the obsession with the classical concept of time does not allow it to emerge: it is said that time cannot be defined. However, if one accepts the rigorous original formulation of quantum mechanics, one has to deal with a plurality of discontinuous, discrete, finite, and irreversible quantum times.

Bibliography

Born, M. (1924). "Über Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik*, 26, pp. 379-396

Born, M. & Jordan, P. (1925). "Zür Quantenmechanik I", *Zeitschrift für Physik*, 34, p. 858.

Born, M., Heisenberg, W. & Jordan, P. (1926). "Zür Quantenmechanik II", *Zeitschrift für Physik*, 35, pp. 557-615;

Callender, C. (2000). "Is Time Handed in a Quantum World?", *Proceedings of Aristotelian Society*, 121, pp. 247-269.

Costa de Beauregard, O. (1980). "CPT Invariance and Interpretation of Quantum Mechanics", *Foundation of Physics*, 10(7/8), pp. 513-531.

Davies, P.C.W. (1974). *The Physics of Time Asymmetry*. Guildford: Surrey University Press.

Dirac, P.A.M. (1926). "Relativity quantum mechanics with an Application to Compton Scattering", *Proceedings of Royal Society of London A*, 111, pp. 405-423.

Giannetto, E. (1999). "La rivoluzione della meccanica delle matrici di Heisenberg, Born e Jordan", in Gembillo, G. & Giannetto, E. (eds), *Heisenberg, W.: Lo sfondo filosofico della fisica moderna*. Palermo: Sellerio, pp. 25-37.

Giannetto, E. (2005). *Saggi di storie del pensiero scientifico*. Bergamo: Sestante.

Healey, R. (1981). "Statistical Theories, Quantum Mechanics and the Directedness of Time". in Healey, R. (ed.), *Reduction, Time and Reality*. Cambridge: Cambridge University Press, pp.99-127.

Heisenberg, W. (1925). "Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen", *Zeitschrift für Physik*, 33, pp. 879-893.

Heisenberg, W. (1927). "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik, *Zeitschrift für Physik*, 43, pp. 172-198.

Jauch, J.M. & Rohrlich, F. (1955). *The Theory of Positrons and Electrons*. New York: Addison-Wesley.

Kragh, H. & Carazza, B. (1994). "From Time Atoms to Space-Time Quantization: The Idea of Discrete Time, ca 1925-1936". *Studies in History and. Philosophy of Science*, 25(3), pp. 437-462.

Landau, E.M. & Lifshitz, L. (1958). *Course of Theoretical Physics*, vol. III, *Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory.* New York: Pergamon Press.

Messiah, A. (1961). *Quantum Mechanics*. Amsterdam: North Holland.

Pauli, W. (1979). *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg*, (von Meyenn, K., ed). Berlin: Springer.

Pauli, W. (1980). *General Principles of Quantum Mechanics*. Berlin: Springer.

Poincaré, H. (1912a). "L'hypothèse des quanta"*, Revue Scientifique*, 50, pp. 225-232.

Poincaré, H. (1912b). "Sur la théorie des quanta", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 153, pp. 1103-1108.

Prigogine, I. & Stengers, I. (1979). *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la Science*, Paris : Gallimard.

Racah, G. (1937). "Sulla Nascita di Coppie per Urti di Particelle Elettrizzate", *Nuovo Cimento*, 14, p. 93.

Reichenbach, H. (1956). *The Direction of Time*. Berkeley: University of California Press.

Sachs, R. G. (1987). *The Physics of Time Reversal*. Chicago: University of Chicago Press.

Schrödinger, E. (1950). "Irreversibility", *Proceedings Royal Irish Academy*, 53, pp 189-195.

Watanabe, S. (1955). "Symmetry of Physical Laws. Part 3. Prediction and Retrodiction", *Review of Modern Physics*, 27(1), pp. 179-186.

Watanabe, S. (1965). "Conditional Probability in Physics", *Progress Theoretical Physics, Supplement*, pp. 135-167.

Wigner, E. (1931). *Gruppentheorie und ihre Anwendungen auf die Quantenmechanik der Atomspektren*. Braunschweig: Vieweg Verlag.

Wigner, E. (1932). "Über die Operation der Zeitumkehr in der Quantenmechanik", *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 31, pp. 546-559.

Zeh, H.D. (1989). *The Physical Basis of the Direction of Time*. Berlin: Springer.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_33, pp. 285–288
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-33

La corrispondenza italiana di Bruno Pontecorvo dal 1945 al 1950

Paolo Rossi[1]

[1]Università di Pisa, Dipartimento di Fisica, Pisa, paolo.rossi@unipi.it.

Abstract: A systematic reconnaissance of the Pontecorvo Fund at the Churchill Archives Centre, of the Wick Fund at the Scuola Normale Superiore in Pisa and of the Amaldi Fund in Rome "La Sapienza" has allowed an extensive reconstruction of the correspondence between Bruno Pontecorvo and some other members of the Roman nuclear physics group (Amaldi, Bernardini, Wick, Segré) in the years 1945-1950. What emerges are significant elements for understanding the relationships between former collaborators after the diaspora caused by the racial laws and the war. There are also important references to ongoing research and clues to the evolution of some of Pontecorvo's scientific ideas, in particular on neutrino physics.

Keywords: Correspondence, Pontecorvo, Amaldi, Bernardini, Segrè, Wick

1. Introduzione

La straordinaria stagione scientifica romana che negli Anni Trenta del Novecento portò a un'evoluzione di portata mondiale nell'ambito della fisica nucleare fu il risultato del lavoro di un piccolo gruppo di giovani fisici, guidati da Enrico Fermi e divenuti poi collettivamente noti come "i ragazzi di via Panisperna". Le vicende successive portarono ben presto a disperdere per l'Italia, e poi per il mondo, i membri di quel gruppo. Furono dapprima eventi puramente accademici. Agli inizi del 1936 vi fu il trasferimento di Emilio Segrè sulla cattedra di Fisica sperimentale di Palermo, dove presto lo raggiunse come assistente Nestore Bernardo Cacciapuoti, e nel 1937 arrivò a Palermo anche Gian Carlo Wick, che aveva appena vinto il secondo concorso a cattedra di Fisica teorica. Sempre nel 1936 Bruno Pontecorvo partì per Parigi con una borsa di studio per lavorare con i Joliot-Curie. Anche Edoardo Amaldi nel 1937 dovette lasciare Roma per occupare la cattedra di Fisica sperimentale di Cagliari che aveva appena vinto. Ma la vera svolta fu dovuta all'emanazione delle leggi razziali nell'autunno del 1938, a seguito delle quali Segrè, che si trovava in quel periodo negli U.S.A., decise che non era il caso di fare ritorno in Italia, e anche per Pontecorvo fu definitivamente esclusa l'opzione di tornare in patria su un posto di assistente, come si era in quegli anni ipotizzato. Ma il colpo di grazia fu la partenza di Enrico Fermi, che approfittò del viaggio a Stoccolma per la premiazione del Nobel nel dicembre 1938 per organizzare il proprio definitivo trasferimento negli Stati Uniti. Franco Rasetti a sua volta nel 1939 accettò il posto di direttore del dipartimento di fisica dell'Università Laval a Quebec, e allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale l'unico componente del gruppo originario ancora presente a Roma era Edoardo Amaldi, rientrato da Cagliari alla fine del 1938, anche se alla fine del 1939 riuscì a farsi raggiungere a Roma da Wick, che nel frattempo era transitato da Palermo a Padova.

La guerra impedì poi per lunghi anni che tra molti membri del gruppo ormai disciolto si mantenessero i contatti, non solo scientifici ma anche umani: Amaldi e Wick erano rimasti a Roma, mentre Fermi, Segrè, Rasetti e Pontecorvo erano in America settentrionale, ma sparsi in varie località del grande continente, e in più i primi due si trovarono ben presto impegnati nelle attività coperte da segreto militare legate al

Manhattan Project, del quale persino la sede di Los Alamos doveva restare sconosciuta.

Dato questo scenario di lunghe separazioni dopo pochi anni di collaborazione, non sarebbe stato impensabile che la diaspora dei "ragazzi di via Panisperna" producesse un allentamento pressoché irreversibile dei rapporti scientifici e personali. Ma non fu così, e la fine del conflitto vide un impegno di molti dei protagonisti, volto a ristabilire le relazioni interrotte e a cercare occasioni di incontro e di scambio di idee. Di questo impegno sono testimoni, oltre i viaggi anche intercontinentali, soprattutto i numerosi scambi di lettere intercorsi nel periodo tra il 1945 e il 1950.

È veramente interessante osservare la profondità dei legami che la comune esperienza romana aveva creato tra personalità anche molto diverse per cultura e mentalità, ma accomunate dalla passione per la fisica, che emerge particolarmente negli scambi di missive tra Pontecorvo e Wick, ma è spesso presente nelle lettere di Bernardini. Alcune lettere di Pontecorvo contengono importanti anticipazioni delle sue più profonde intuizioni teoriche. Un altro elemento che caratterizza in particolare le lettere di Amaldi e Bernardini è il tentativo di convincere Pontecorvo al rientro in Italia, come parte del grande progetto di ricostruzione della fisica italiana che vide i due scienziati impegnati con forza nel decennio successivo alla conclusione della guerra. Non manca poi l'elemento dell'amicizia collettiva, che spinge gli scriventi a chiedere continuamente notizie relative agli altri membri del gruppo con cui si hanno minori contatti.

2. Contenuti del carteggio

La corrispondenza di Amaldi e Wick con Fermi e con Segrè è già stata accuratamente studiata da Battimelli, De Maria e La Rana nel volume *Da Via Panisperna all'America* che contiene anche la trascrizione di un importante manoscritto di Amaldi sullo stato della fisica italiana durante e subito dopo la guerra. Mancava invece completamente, fino ad oggi, la trascrizione e l'analisi della corrispondenza intercorsa tra Wick e Pontecorvo negli anni dal 1945 al 1948, e del carteggio Amaldi-Pontecorvo, particolarmente significativo per il periodo 1949-1950, cui è parso opportuno aggiungere anche la trascrizione delle lettere inviate a Pontecorvo da Bernardini, che si era trasferito a Roma nel 1946. È parso utile in questo contesto prendere in esame anche la corrispondenza intercorsa tra Pontecorvo ed Emilio Segrè dal 1945 all'inizio del 1949, incentrata inizialmente sulle possibilità di lavoro negli U.S.A. per Pontecorvo, e in seguito sull'annosa trattativa per la cessione del brevetto sugli effetti dei neutroni lenti.

I documenti su cui si basa il volume sono stati reperiti, per quanto riguarda la corrispondenza ricevuta da Pontecorvo, al Churchill Archives Centre di Cambridge (UK) [AP], mentre la corrispondenza di Wick è conservata nel Fondo Wick della Scuola Normale Superiore di Pisa [AW], e quella di Amaldi è stata gentilmente fornita da Gianni Battimelli, che aveva provveduto a ordinare il Fondo Amaldi depositato presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza" [AA]. La corrispondenza Pontecorvo-Segrè è stata in gran parte fornita dall'Online Archive of California [AS] Il carteggio Pontecorvo-Wick va dal luglio 1945 al marzo 1948 e comprende 23 lettere: 10 di Wick (di cui due perdute) e 13 di Pontecorvo.

Il carteggio Pontecorvo-Amaldi va dall'estate 1945 al giugno 1950, con una lunga pausa nel 47/48, e comprende 19 lettere: 11 di Amaldi e 8 di Pontecorvo (più alcune certamente mancanti).

Il carteggio Pontecorvo-Bernardini va dal marzo 1945 al giugno 1950 e comprende 8 lettere di Bernardini, mentre le lettere di Pontecorvo, citate da Bernardini, sono perdute.

Il carteggio Pontecorvo-Segrè va dall'agosto 1945 al febbraio 1949, con una lunga pausa nel 1947/48, e comprende 24 lettere, 11 di Segrè (di cui una perduta) e 13 di Pontecorvo.

La corrispondenza con Wick è certamente la più interessante dal punto di vista scientifico. Vi sono affrontati diversi temi di ricerca, tra cui la diffusione dei neutroni, l'asimmetria nella fissione, le proprietà dei muoni e dei pioni. Particolarmente importante è la Lettera di Pontecorvo dell'8 maggio 1948, dedicata

ai muoni, in cui Pontecorvo anticipa alcune intuizioni che saranno oggetto di successive pubblicazioni, tra cui l'idea di una forma di universalità tra elettrone e muone, l'ipotesi che il muone abbia spin semintero, la proposta di un esperimento per verificare la possibilità di decadimento del muone in elettrone e fotone. La corrispondenza è ricca anche di annotazioni sulla vita quotidiana di entrambi gli scienziati, sui rapporti con i conoscenti comuni e sulle prospettive di lavoro, sia in termini di possibili sedi sia relativamente ai progetti scientifici.

La corrispondenza con Amaldi è decisamente più "fredda". Non sono presenti discussioni scientifiche, ma quasi esclusivamente questioni accademiche o di ordine pratico. A partire dal 1949 Amaldi tenta ripetutamente di convincere Pontecorvo a partecipare ai concorsi universitari italiani di fisica sperimentale (in particolare per Pisa e Cagliari), ma l'interesse di Pontecorvo sembra sempre abbastanza limitato. Dal punto di vista scientifico è interessante la lettera di Pontecorvo del 19 giugno 1949 in cui egli spiega la sua proposta di usare il metodo del cloro-argon per studiare i neutrini. L'ultima lettera di Amaldi precede di poco l'ultimo viaggio in Italia di Pontecorvo.

Le lettere di Bernardini sono umanamente più vivaci, e toccano spesso la condizione della fisica in Italia negli anni dell'immediato dopoguerra. Dalle risposte di Bernardini si evince che nelle lettere di Pontecorvo, purtroppo mancanti, dovevano esserci ampi riferimenti alle già citate ipotesi relative alle proprietà dei muoni. Un elemento significativo dell'ultima parte della corrispondenza è il tentativo di coinvolgere Pontecorvo nei progetti di esperimenti da svolgersi nel laboratorio della Testa Grigia sul Plateau Rosa. Anche Bernardini appoggia le proposte di Amaldi relative alla possibile partecipazione di Pontecorvo ai concorsi a cattedra. La corrispondenza con Segrè ha caratteristiche diverse a seconda dei periodi coperti. Le lettere del 1945/46 (di cui molte scritte quando Segrè era ancora a Los Alamos e inviate dal famoso P.O. Box 1663 di santa Fe) sono focalizzate soprattutto sulle possibili prospettive di lavoro di Pontecorvo negli USA. Segrè caldeggia soprattutto l'ipotesi che Pontecorvo trovi una posizione a Berkeley, pur avendo chiare alcune difficoltà legate a tale scelta. Quando la corrispondenza riprende nel maggio 1948 il tema diventa invece quasi esclusivamente la pratica relativa alla cessione del brevetto sui neutroni lenti. Lo scambio di lettere (almeno per la parte conservata) si arresta dopo la definitiva partenza di Pontecorvo per l'Inghilterra. Un'appendice è dedicata alla trascrizione di alcune lettere in italiano contenute nell'Archivio Pontecorvo, non prive di interesse documentario ma non direttamente inseribili nei carteggi. Abbiamo incluso anche due lettere di Pontecorvo inviate da Dubna nel 1984-85, presenti nell'Archivio Wick e indicative della ripresa dei rapporti epistolari tra i due amici.

Nell'archivio di Pontecorvo sono presenti anche due lettere di Caldirola, scritte tra l'agosto e il settembre 1950, quando Caldirola pensava di incontrare Pontecorvo al rientro di questi dall'Italia. Le lettere testimoniano, se ve ne fosse bisogno, la totale mancanza di sospetti riguardo alla decisione di Pontecorvo di trasferirsi in URSS che stava maturando proprio in quei giorni.

Bibliografia

Amaldi, E. (2022). *Da via Panisperna all'America*, a cura di G. Battimelli, M. De Maria, A. La Rana. Roma: Editori Riuniti.

Battimelli, G. (2018). "Segrè, Emilio Gino", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol 91. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana.

Bonolis, L. (2005). "Bruno Pontecorvo, from slow neutrons to oscillating neutrinos", *American Journal of Physics*, 73, pp. 487–499.

De Alfaro, V. (1993). "Commemorazione di Gian Carlo Wick", *Atti dell'Accademia delle scienze di Torino. Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali*, 127, pp. 139-160.

Jacob, M. (1999). "Gian-Carlo Wick 1909-1992", in *Biographical Memoirs*, vol. 77. Washington: National Academy of Sciences.

Mafai, M. (2012). *Il lungo freddo*. Milano: Mondadori.
Mussardo, G. (2023). *Maksimovic. La storia di Bruno Pontecorvo*. Roma: Castelvecchi.
Paoloni, G. (2020). "Wick, Gian Carlo", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 100. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
Paoloni, G. (2013). "Amaldi, Edoardo", in *Dizionario Biografico degli Italiani*. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
Cavagnini, G. (a cura di) (2021). *Un gioco da ragazzi: la fisica diversa di via Panisperna nei ricordi di Gian Carlo Wick*. Roma: Viella.

Fonti d'archivio

Corrispondenza Pontecorvo-Segrè. Archive of California, *Segrè (Emilio) papers, Correspondence 1929-1992*, C. 11, f. 5
Edoardo Amaldi, Università di Roma, Dipartimento di Fisica di Sapienza.
The papers of Bruno Pontecorvo, Churchill Archives Centre.
Wick, Gian Carlo, *Gli archivi di "personalità"*, Centro archivistico della Scuola Normale Superiore

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_34, pp. 289–296
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-34

Exchanges in the nucleus in the 1930s: Werner Heisenberg and Ettore Majorana

Marco Di Mauro[1], Salvatore Esposito[2] and Adele Naddeo[3]

[1]University of Trento - Department of Physics, Trento, marcodm83@gmail.com.
[2]University of Naples Federico II - Department of Physics & INFN - Sezione di Napoli, Naples, salvatore.esposito@na.infn.it.
[3]University of Naples Federico II - Department of Physics & INFN - Sezione di Napoli, Naples, anaddeo@na.infn.it.

Abstract: The discovery of the neutron in 1932 provided the key picklock that allowed quantum mechanics to be applied to the problem of nuclear structure. The first, moderately satisfactory attempt was undertaken by Heisenberg, who had already pioneered the introduction of exchange interaction in the quantum mechanics of identical atoms and had first applied them to the helium atom. While Heisenberg took inspiration from a different incarnation of exchange interactions, introduced in molecular physics to explain covalent bonds, Majorana went back to the original idea and proposed (at first independently of Heisenberg) his own version, which overtook several drawbacks of Heisenberg's theory and gave results closer to experiments. In this contribution, we reconstruct this story, including a detailed discussion of Majorana's unpublished notes on this subject, which in fact contain much more material than what was published.

Keywords: Quantum Mechanics, Exchange Interactions, Nuclear Theory

1. Introduction

The prehistory of the concept of exchange interaction can be traced back to 1926, when W. Heisenberg introduced the idea of quantum resonance for the quantum mechanical description of a system of identical particles (Heisenberg, 1926). Then he applied it to the spectrum of the helium atom, managing for the first time to give the correct explanation. In 1928, the same idea was crucial for his successful explanation of the strong spin-spin interaction at the basis of (anti-)ferromagnetism (Heisenberg, 1928). In 1927, W. Heitler and F. London brought the idea of exchange interaction into the domain of molecular physics and made a seminal contribution, leading to the birth of the quantum theory of the homopolar chemical bond (Heitler & London, 1927). Here a notion of electrons exchanging their places around the two different nuclei was introduced (which is valid also for the single electron case, e.g. the H_2^+ ion), termed *Austausch*, which is an evolution of Heisenberg's exchange between two states with different energy levels (Carson, 1996a).

The foundations were laid in view of the subsequent step, the application of quantum mechanics to the explanation of nuclear structure, which took place in 1932 after the discovery of the neutron (Chadwick, 1932). Indeed, the existing picture of the nucleus, as a composite of protons and electrons, was a source of many inconsistencies; among them it is worth to mention the wrong statistics of the ^{14}N nucleus and the violation of the momentum-position uncertainty relation for the confined electrons. Furthermore, the experimental evidence of the continuous nature of the β-ray spectrum, and mainly its striking contradiction with the energy and momentum conservation principle, was still awaiting a

theoretical explanation. All these critical issues led many scientists, like N. Bohr, to deny the validity of quantum mechanics at nuclear scales.

Quantum mechanics entered the nuclear domain thanks to Heisenberg, who built up the first theory of nuclear structure by describing the interaction between protons and neutrons via an exchange mechanism (Heisenberg, 1922a; 1932b; 1933). Almost in the same period E. Majorana put forward his own theory of nuclear forces (Majorana, 1933a; 1933b), which improved Heisenberg's one while solving its main drawbacks. As a further bonus, a better agreement with experimental results was obtained. The aim of this contribution is to retrace this story by focusing on the main ideas as well as the differences between Heisenberg's and Majorana's approach to nuclear force theory (Section 2 and 3, respectively). A detailed analysis of Majorana's unpublished research notes (Esposito *et al.*, 2008) is also provided (Section 4), followed by our conclusions and perspectives.

2. Heisenberg theory of nuclear structure

The discovery of the neutron (Chadwick, 1932) triggered the first attempts to bring quantum mechanics into the nuclear domain. This challenging task was pursued by Heisenberg, who tried to overcome the problems related to the picture of a nucleus built of protons and electrons by assuming that the neutron was a nuclear constituent, together with the proton. In this way all the critical issues could be swept inside the neutron:

> The neutron will be taken as an independent fundamental particle which, however, can split, under favourable conditions, into a proton and an electron, violating the law of conservation of energy and momentum. (Heisenberg, 1932a, p. 1; translated in Brink, 1965, p. 145)

Heisenberg kept using this hybrid point of view throughout his celebrated papers on nuclear theory, written between June and December 1932 (Heisenberg, 1932a; 1932b; 1933). Furthermore, in his third paper, he stated that the two points of view were to be considered as "incompatible types of properties in quantum mechanics" (in the sense of the complementarity principle):

> The assumption that the neutron appears as an elementary particle when considering spin and statistics, while it resembles a composite structure when considering polarizability, decay, etc. leads to the problem of merging two incompatible types of properties in quantum mechanics. (Heisenberg, 1933, p. 595; translated in Esposito, 2015, p. 34)

Heisenberg modelled the $p-n$ interaction in analogy with that between the hydrogen atom and the hydrogen ion in the molecular ion H_2^+, so that it could result very strong within the nuclear region while satisfying a saturation property. As such it appears to be due to the exchange of a spinless Bose electron between the neutron and the proton:

> If one brings a neutron and a proton to within a distance comparable to the dimensions of the nucleus, then – in analogy with the H_2^+ ion – a change of place of the negative charge will occur with a frequency given by a function $\frac{1}{h}J(r)$ of the distance between the two particles. The quantity $J(r)$ corresponds to the Austausch - or more correctly the Platzwechsel - integral of molecular theory. One can illustrate this change of place again with the picture of electrons that have no spin and obey Bose statistics. But it is probably more correct to regard the exchange integral $J(r)$ as a fundamental property of the proton-neutron pair, without wanting to reduce it to motion of electrons. (Heisenberg, 1932a, p. 2; translated in Carson, 1996b, p. 104)

Notice the careful wording in the above passage. Indeed, Heisenberg's $p-n$ interaction can be viewed as analogous either to that occurring in the hydrogen molecular ion (*Platzwechsel*), or to that occurring in the helium atom (*Austausch*) (Carson, 1996b; Miller, 1994). Indeed, if we forget about the mediating electron, we can view the effect as due to proton-neutron exchange (again an *Austausch*). Starting from this consideration, Heisenberg introduced the notion of isospin, which in the subsequent would have

gained a growing consensus within nuclear physics. Within the new picture the neutron and the proton were identified with the two different states of the nucleon, so that Heisenberg's Hamiltonian reads (Heisenberg, 1932a):

$$H = \frac{1}{2M}\sum_k \boldsymbol{p}_k^2 - \frac{1}{2}\sum_{k<l} J(r_{kl})(\rho_k^\xi \rho_l^\xi + \rho_k^\eta \rho_l^\eta) + \frac{1}{4}\sum_{k>l} K(r_{kl})(1+\rho_k^\zeta)(1+\rho_l^\zeta) + \\ + \frac{1}{4}\sum_{k>l}\frac{e^2}{r_{kl}}(1-\rho_k^\zeta)(1-\rho_l^\zeta) - \frac{1}{2}D\sum_k (1+\rho_k^\zeta) \tag{2.1}$$

where $\rho^\xi = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$, $\rho^\eta = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$, $\rho^\zeta = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$, with $\rho^\zeta = +1$ for the neutron and $\rho^\zeta = -1$ for the proton, respectively.

The exchange integral $J(r)$ is unspecified, apart from its sign and the requirement that it produces a short-range interaction. An additional, weaker exchange interaction $K(r)$ is assumed between neutrons, while only the electrostatic repulsion acts between protons. A mass defect term D of the proton with respect to the neutron is also considered. Furthermore, M is the proton or neutron mass, $r_{kl} = |\boldsymbol{r}_k - \boldsymbol{r}_l|$ are distances of the order of the nuclear dimensions and $\boldsymbol{p}_k$ is the momentum of the k-th nucleon. The matrix in front of $J(r)$ can be rewritten as $\rho_+^k \rho_-^l + \rho_+^l \rho_-^k$, whose effect is to take a state with a proton in position $\boldsymbol{r}_k$ with spin $\boldsymbol{s}_k$ and a neutron in position $\boldsymbol{r}_l$ with spin $\boldsymbol{s}_l$ and turn it into state with a neutron in position $\boldsymbol{r}_k$ with spin $\boldsymbol{s}_k$ and a proton in position position $\boldsymbol{r}_l$ with spin $\boldsymbol{s}_l$.

Heisenberg's theory contained many insights, which paved the way to a successful description of nuclear interactions, but gave rise to a number of drawbacks, demanding further improvements. In fact, the symmetry properties of the ground state wave function of the deuteron resulting from the choice of the sign of $J(r)$ led to the saturation of the deuteron, in contrast with experimental data pointing to the α-particle. Another critical point was the collapse of the nucleus, arising from the extension of the Thomas-Fermi method to nuclei (Heisenberg, 1932a), which required the imposition of a cut-off to potential energy at short distances. These improvements were carried out by Majorana, whose pivotal contributions (published as well as unpublished) are the subject of the subsequent Sections.

3. Majorana's theory of nculear structure: the published side

Around 1930, the interest of E. Fermi's group in Rome gradually shifted from atomic and molecular physics to the new frontier of nuclear physics. Majorana was the first to work on nuclear physics in Rome, starting right after the publication of G. Gamow's pioneering paper on alpha decay (Esposito *et al.*, 2008). His calculations became part of the thesis "The mechanics of radioactive nuclei", which he defended in July 1929. Then he continued studying nuclear physics without publishing anything. In 1929-30, he focused mainly on nuclear reactions induced by alpha particles, developing a full, consistent quantum-mechanical theory of quasi-stationary states (Di Grezia & Esposito, 2008).

As recalled by his colleagues, mainly E. Amaldi (Amaldi, 1968; Recami, 2011), after reading some notes published by Joliot & Curie in 1932, Majorana immediately interpreted their results as due to a neutral massive particle, i.e. a neutron, and before the Easter of that year (before the appearance of Heisenberg's papers) he sketched a theory of nuclear structure based on its presence as a nuclear constituent. However, he stubbornly refused to publish his findings, until March of the following year (1933), when he was in Leipzig, encouraged by Heisenberg himself. Then he published two slightly different versions of his work (Majorana, 1933a; 1933b; Bassani, 2006).

As already pointed out, Heisenberg's theory finally allowed a quantum-mechanical description of nuclear structure, while giving some predictions that, unfortunately, were contradicted by experiments.

In particular, the deuton rather than the alpha particle would be a closed shell; furthermore, its spin would be 0 instead of 1 (this fact would have been known only later, in 1934). Finally, it predicted a very large binding energy for heavy nuclei, which Heisenberg circumvented by including by hand a repulsive short-range interaction. Thus, Majorana started his paper by a lucid critical analysis of Heisenberg's assumptions and results:

> In the absence of other guiding criteria, Heisenberg was guided by an analogy presumably existing between the normal neutral hydrogen atom and the neutron, the last one being supposed – as commonly accepted – to be composed by a proton and an electron... The use of such an analogy is difficult to justify since, if the neutron would be effectively composed by a proton and an electron, their binding could not be described by the present theories, which would lead to associate the Bose-Einstein statistics and an integer multiple of $\frac{h}{2\pi}$ for the mechanical moment to the neutron, contrary to fundamental assumptions. These come directly from empirical properties of the nuclei, and we cannot give them up. Given the present state of our knowledge, it is thus preferable to try to obtain the law of interaction between the elementary particles being guided by simplicity only, in order to predict the most general and characteristic properties of nuclei... Our problem is, then, to find the simplest law of interaction between any elementary particle – protons and neutrons – leading to the definition of an impenetrable matter as long as Coulomb repulsion may be neglected. (Majorana, 1933a, pp. 559-560; translated in Esposito, 2015, p. 35)

The impenetrability property of nuclear matter, i.e. the fact that nuclear matter has a constant density, so that the volume of a nucleus and its binding energy are proportional to the number of nucleons, is crucial for Majorana, who sought to account for it in the simplest possible way. A viable solution could be to take an attractive force for large distances and a short-range strong repulsive force in order to model the impenetrability of particles, but Majorana didn't pursue further this idea and followed a different strategy:

> We shall, therefore, try to find another solution and introduce as few arbitrary elements as possible. The main problem is this: How can we obtain a density independent of the nuclear mass without obstructing the free movement of the particles by an artificial impenetrability? We must try to find an interaction whose average energy per particle never exceeds a certain limit however great the density. This might occur through a sort of saturation phenomenon more or less analogous to valence saturation. (Bassani, 2006, p. 188)

As such, by resorting to Dirac's formalism (Dirac, 1930) he wrote down the following exchange interaction:

$$(Q', q' \mid J \mid Q'', q'') = -\delta(q' - Q'')\delta(q'' - Q')J(r) \tag{3.1}$$

where $r = \mid q' - Q' \mid$, Q and q being the position coordinates of a neutron and a proton. At odds with Heisenberg's exchange interaction, Majorana's one had an opposite sign and exchanged only the position coordinates of proton and neutron without affecting their spins. It didn't rely on the isospin formalism and, interestingly, there is no reference to the exchange of electrons. Concerning $J(r)$, it was assumed to be positive, and its functional form would have been discussed only at the end of the paper. Majorana's choice allowed him to obtain an exchange force leading to the saturation of the α-particle, in agreement with experiments:

> Thus we find that both neutrons act on each proton in the α-particle instead of only one and viceversa, since we assume a symmetrical function in the position coordinates of all protons and neutrons (which is true only if we neglect the Coulomb energy of the protons). In the α-particle all four particles are in the same state so that it is a closed shell. If we proceed from an α-particle to heavier nuclei we can have no more particles in the same state because of the Pauli principle. Also, the exchange energy is usually large only if a proton and a neutron are in the same state and we may expect, which agrees with experiments, that in heavy nuclei the mass defect per particle is not noticeably bigger than in the α-particle. (Bassani, 2006, pp. 189)

In his Solvay lectures of 1933, Heisenberg acknowledged the superiority of Majorana's theory over his own theory. He also graphically compared his expression of the exchange interaction with Majorana's,

and expressed the latter in terms of the isospin formalism as (Heisenberg, 1934):

$$\frac{1}{4}J(r_{kl})(\rho_k^{\xi}\rho_l^{\xi} + \rho_k^{\eta}\rho_l^{\eta})(1 + \sigma_k\sigma_l) \tag{3.2}$$

After stating at length his hypotheses, Majorana reported computations performed in the case of a very large number of nucleons (which may be considered to be the case of nuclear matter). He showed that the energy per nucleon has a minimum in correspondence of a value of the nucleon density independent of the mass of the nucleus. Thus, the saturation in the energy is indeed obtained without postulating a short-range strong repulsive interaction, independently of the functional form of $J(r)$.

He concluded the paper by briefly considering some functional forms for the interaction, including what is now known as Yukawa's potential (Yukawa, 1935). Then he commented on some results obtained with these potentials, without going into details. At first, he proposed the expression $J(r) = \lambda\frac{e^2}{r}$, involving a single arbitrary constant, but soon he discarded it because it is divergent and "seems to provide too small a ratio for the mass defects of the α-particle and the hydrogen isotope" (Bassani, 2006, p. 193). Thus, he concluded that an expression with at least two arbitrary constants was needed, such as $J(r) = Ae^{-br}$ but gave up pursuing this alternative as well, since "it has been shown that the first statistical approximation can lead to considerable errors however large the number of particles" (Bassani, 2006, p. 193). Indeed, for large nuclei, the proton-proton Coulomb repulsion would make the nucleon density not constant.

4. Majorana's theory of nuclear structure: the unpublished side

In his Quaderni, Majorana carried out a lot of calculations in nuclear physics. The most interesting ones for our purposes are contained in Quaderno 17 (started on 20 June 1932), where calculations concerning nuclear potentials were made (Esposito *et al.*, 2008, pp. 340-368). These calculations are both a preliminary study for the paper that would be published the following year and an extension of it. In particular, he performed detailed computations involving both the potentials forms mentioned at the end of his 1933 paper (Majorana, 1933a; 1933b). The relevant sections of Majorana's notes contain the following material:

1. Definition of the interaction and of nucleon wave functions.
2. Calculation of an integral relevant for the potential energy.
3. Calculation of the nucleon density.
4. Interaction potential $J(r) = \lambda\frac{e^2}{r}$, statistical computations.
5. Interaction potential $J(r) = Ae^{-br}$, statistical computations.
6. Light nuclei with the interaction potential $J(r) = \lambda\frac{e^2}{r}$.
7. Light nuclei with interaction potential $J(r) = Ae^{-br}$.

More in detail, Majorana started by considering a generic nucleus, writing down the wave functions of neutrons and protons as Slater determinants and defining the exchange interaction as in the paper. He also considered, like Heisenberg in his first paper (Heisenberg, 1932a), the interaction of two nuclei. Then he proceeded by carrying out elaborate computations concerning the applications to nuclei and nuclear matter. The starting point was the calculation of the relevant integral:

$$\int_{q<R}\int_{q'<R'}\frac{dq\,dq'}{\mid q - q' \mid^2} \tag{4.1}$$

In both cases $R < R'$ and $R > R'$ (these distances are related to proton and neutron densities). This integral is proportional to the potential energy density of a system of nucleons, a result which is subsequently

used to compute the nucleon density by using the virial theorem $T = \frac{1}{2}V$ (after an attempt to find it from minimization of the total energy).

Focusing on the first of the two explicit potentials, Majorana derived an expression for the energy (associated with the exchange interaction) per nucleon in nuclear matter, under the hypothesis that the minimum kinetic energy states are occupied. The energy obtained was then evaluated for a large nucleus by means of a statistical method. A numerical estimate was provided in the case $\lambda \sim 1$.

Similar steps were performed with the second explicit potential (in the form $J(r) = A\, e^{-\frac{r}{\epsilon}}$). After very elaborate computations, Majorana obtained a series of numerical tables for the average kinetic and potential energies in various cases. In both cases, he started by taking into account electrostatic repulsion, but in the end he considered a 'zeroth approximation' in which this contribution was neglected, under the assumption of constant densities.

In the last part, Majorana considered light nuclei for both potentials. In the first case he wrote down the Schrödinger equation for the alpha particle and made a rough estimate of the energy. However, the analogous calculation for the deuteron seems to be missing. Concerning the second potential he focused on the deuteron, then he wrote the Schrödinger equation and computed the expectation value of the Hamiltonian for a trial wave function, probably using a variational principle to estimate the ground state energy. Again, the analogous computation for the alpha particle is missing, but the section ends with a short discussion of the wave function of two alpha particles, in connection with their statistics.

5. Conclusions

In this contribution, we reconstructed the pivotal role played by Heisenberg and Majorana in the development of the theory of nuclear forces.

Heisenberg's theory, despite its shortcomings, represents the first instance of quantum mechanical description of atomic nuclei. Heisenberg described proton-neutron interactions as quantum exchange (or resonance) forces in two different ways, similar to those taking place among electrons in the helium atom and in the ionized hydrogen molecule, respectively.

Majorana's theory most likely predated Heisenberg's one, and at the same time resolved its main shortcomings, as Heisenberg himself admitted. Like all of Majorana's work, this one is backed up by pages and pages of calculations, not all results of which found their way into the published paper. However, not all computations relevant to the published paper seem to be there either.

Heisenberg's theory was nevertheless a very important step forward, and it contained elements of truth, namely the idea of the interaction mediated by a particle (not an electron, though) and the presence of a repulsive core.

Bibliography

Amaldi, E. (1968). "Ricordo di Ettore Majorana", *Giornale di Fisica*, 9, pp. 300-318.

Bassani, G.F. & the Council of the Italian Physical Society (eds.) (2006). *Ettore Majorana Scientific Papers. On occasion of the centenary of his birth*. Berlin and Heidelberg: Springer.

Brink, D.M. (1965). *Nuclear Forces*. Oxford: Pergamon Press.

Carson, C. (1996a). "The Peculiar Notion of Exchange Forces-I", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27, pp. 23-45.

Carson, C. (1996a). "The Peculiar Notion of Exchange Forces-II", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27, pp. 99-131.

Chadwick, J. (1932). "The existence of a neutron", *Proceedings of the Royal Society of London, A*, 136, pp. 692-708.

Di Grezia, E. & Esposito, S. (2008). "Majorana and the quasi-stationary states in nuclear physics", *Foundations of Physics*, 38, pp. 228-240.

Dirac, P.A.M. (1930). "Note on Exchange Phenomena in the Thomas Atom". *Mathematical Proceedings of Cambridge Philosophical Society*, 26, pp. 376–385.

Esposito, S. (2015). *The Physics of Ettore Majorana. Phenomenological, Theoretical, and Mathematical*. Cambridge: Cambridge University Press.

Esposito, S. *et al*. (eds.) (2008). *Ettore Majorana: Unpublished Research Notes on Theoretical Physics*. Heidelberg: Springer.

Heisenberg, W. (1926). "Mehrkorperproblem und Resonanz in der Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik*, 38, pp. 411-426.

Heisenberg, W. (1928). "Zur Theorie des Ferromagnetismus", *Zeitschrift für Physik*, 49, pp. 619-636.

Heisenberg, W. (1932a). "Über den Bau der Atomkerne I", *Zeitschrift für Physik*, 77, pp. 1-11.

Heisenberg, W. (1932b). "Über den Bau der Atomkerne II", *Zeitschrift für Physik*, 78, pp. 156-164.

Heisenberg, W. (1933). "Über den Bau der Atomkerne III", *Zeitschrift für Physik*, 80, pp. 587-596.

Heisenberg, W. (1934). "La Structure du Noyau", in *Structure et proprietes des noyaux atomiques: rapports et discussions du septième Conseil de physique tenu à Bruxelles du 22 au 29 octobre 1933*, Solvay, 22-29 October 1933. Paris: Gauthier-Villars, pp. 289-323.

Heitler, W. & London, F. (1927). "Wechselwirkung neutraler Atome und homopolare Bindung nach der Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik*, 44, pp. 455-472.

Majorana, E. (1933a). "Uber die Kerntheorie", *Zeitschrift fur Physik*, 82, pp. 137-145.

Majorana, E. (1933b). "Sulla teoria dei nuclei", *La Ricerca Scientifica*, 4, pp. 559-565.

Miller, A.I. (1994). *Early quantum electrodynamics: a source book*. Cambridge: Cambridge University Press.

Recami, E. (2011). *Il caso Majorana: epistolario, documenti, testimonianze*. Roma: Di Renzo.

Yukawa, H. (1935). "On the Interaction of Elementary Particles, I", *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*, 17, pp. 48-57.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_35, pp. 297–302
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-35

Revisiting Bruno Rossi's experiment on cosmic rays' secondary emissions: comparison with the original results

Marcello Carlà[1], Giacomo Poggi[2], Tommaso Righi[3] and Samuele Straulino[4]

[1]University of Florence, Department of Physics and Astronomy, Florence, carla@fi.infn.it.
[2]University of Florence, Department of Physics and Astronomy, Florence, giacomo.poggi@unifi.it.
[3]University of Florence, Department of Physics and Astronomy, Florence, tommaso.0.righi@gmail.com.
[4]University of Florence, Department of Physics and Astronomy, Florence, samuele.straulino@unifi.it.

Abstract: In this paper a reconstruction of a pioneering experiment on cosmic rays, originally devised by Bruno Rossi in Arcetri around 1930, is described. Geiger-Müller counters, arranged in a special triangle configuration, were used to study the secondary particles produced by cosmic rays when interacting with absorbing materials placed above the detectors. Modern techniques for data acquisition and analysis allow for fast signal timing. The obtained resolving time (about 1000 times shorter than Rossi's) allowed us to greatly reduce the number of random coincidences, mainly produced by environmental radioactivity, whose effect was prevented in the original Rossi experiment by surrounding the detectors with thick lead shielding on the side and bottom. The Rossi curve resulting from our measurement is very similar to the original one.

Keywords: Bruno Rossi, Cosmic Rays, Geiger-Müller Counters

1. Bruno Rossi in Arcetri

The Physics Institute of Florence, inaugurated in 1921 on the hill of Arcetri, rapidly became a prominent research center, where many young physicists made fundamental contributions to physics, especially in the period 1925-1932 (Casalbuoni, 2021). Enrico Fermi was the most famous component of this team. The experimental research of the first period mainly focused on nuclear physics, especially radioactive decays, and cosmic rays (Della Corte, sd). Among the physicists recruited by the Director of the Institute Antonio Garbasso, the 23-year-old Bruno Rossi, assistant professor since 1928, initiated in Arcetri its pioneering research on cosmic rays.

Crucial innovations in the field of cosmic ray physics are due to Bruno Rossi. One of his most significant contributions was the improvement of the coincidence method, already introduced by Bothe, which allowed detecting with great precision and efficiency correlated events of particles passing through different detectors. This method, developed through the use of Geiger-Müller counters, allowed Rossi to obtain more accurate data and to study the properties of cosmic particles with unprecedented detail. During the next sections, we will often refer to the methods used by Rossi and compare them with the techniques available today, also to highlight the difficulties that Rossi was facing. In these years, Rossi also worked with Giuseppe Occhialini, another brilliant Italian physicist. Together, they explored the properties of cosmic rays and helped clarify the nature of these particles. The human and scientific experience of Bruno Rossi has already been described in several articles, books, and memories written by Rossi himself (for example, see Rossi, 1964; 1981; 1987; Leone, Mastroianni & Robotti, 2005; Bonolis, 2011; Peruzzi, 2015).

2. The Rossi curve

One of Bruno Rossi's most significant contributions to cosmic ray physics is the Rossi curve, which describes the relationship between the intensity of the secondary radiation produced by cosmic rays and the thickness of the material they cross. Rossi performed experiments using lead and other high-density materials. The discovery and study of this curve have provided crucial information on the nature of the particles found in cosmic rays and their interactions with matter, paving the way for further developments in particle physics and astrophysics (Clark, 2005; Rossi, 1932).

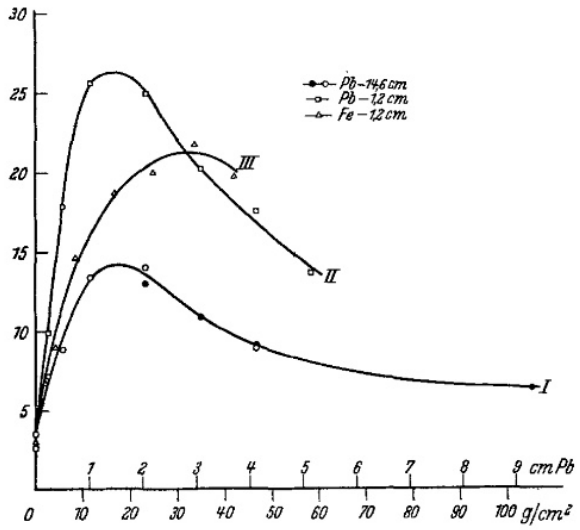


Fig. 1: The Rossi curve (from Rossi, 1933). The coincidence rate (events per hour) is reported as a function of the equivalent thickness of material placed above the counters. For curves I and II the absorber is lead, at different distances from GMTs; iron for III.

The Rossi curve has a peculiar characteristic: an initial increase of the intensity of secondary radiation when increasing the thickness of the crossed material, is followed by a maximum and finally by a decrease of the intensity. The curve, graphed by Rossi in one of his papers (Rossi, 1933) and reproduced in Fig. 1, was obtained by placing absorbers of different thickness (in this specific case, Pb and Fe plates) above three detectors (Geiger-Müller tubes, GMTs) arranged in a particular configuration, which we reproduce with three modern detectors (Fig. 2). Triple coincindence signals identified by Rossi's circuit in this 'triangle configuration' of GMTs cannot be activated by a single particle with a straight trajectory. At least two particles crossing the three detectors within the resolving time of the system are needed to trigger the system.

The behavior observed in the Rossi curve (Fig. 1) can be explained by three mechanisms:

1. Production of secondary particles: on the left side of the curve, when the crossed material is relatively thin, the intensity of the secondary radiation increases with increasing thickness. This is due to the fact that interacting cosmic rays (mainly the electromagnetic component thereof) produce secondary particles (once again photons and/or electrons) in the metal layer and have a sufficient energy for punching through it; these secondary particles are detected by Geiger-Müller tubes.
2. Absorption of secondary particles: as the thickness of the material increases, the intensity of the emerging secondary radiation begins to decrease, because the produced secondaries are absorbed by losing energy mainly through further interactions with the atoms of the material. Particles with lower energies are progressively stopped; only the most energetic particles are able to penetrate through greater thicknesses.

3. Maximum intensity: the presence of the two just described effects implies the existence of an optimal thickness, in which the intensity of detected secondary particles exhibits a maximum. This peak is an important indicator of the amount of energy transferred from the particles to the atoms of the crossed material.

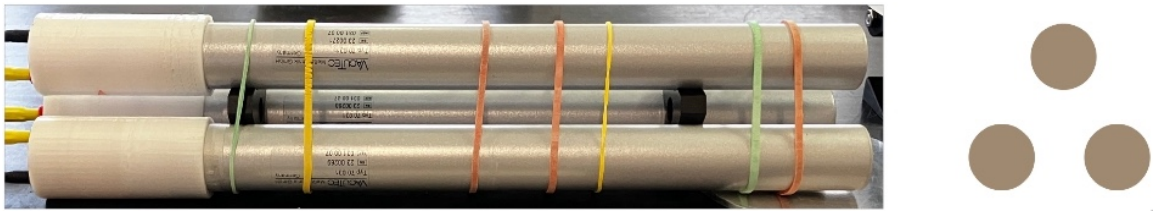


Fig. 2: The detector arrangement in our laboratory, which reproduces the original configuration used by Rossi. Our GMTs have a cathode diameter of 18 mm. On the right, a sketch of the arrangement in an orthogonal view.

Lead was one of the most used materials in Rossi's experiments to trace the absorption curve of cosmic rays. Lead, thanks to its high density and high atomic number, is particularly effective in both producing and attenuating secondary particles. Experiments with lead revealed fundamental details about cosmic ray interactions and helped clarify the nature of primary particles. Rossi realized that a hard component of cosmic radiation at sea level is made up of particles that interact very little with matter (today we know they are muons) while a soft electromagnetic component interacts frequently to form secondary radiation. With his triangle arrangement of GMTs Rossi implemented an optimal experimental condition to detect the secondaries. These results were fundamental to understand the penetration and absorption properties of subatomic particles, also providing an experimental confirmation of the theoretical studies by Bethe and Heitler. The coincidence of three detectors was obtained by Rossi with the circuit he invented and designed, based on triodes (Rossi, 1930). The time resolution of this circuit was roughly 1 ms; that means that, beyond true coincidences, two or more particles arriving by chance within this time interval, produce false (random) coincidences, which could not be distinguished from the true ones. Therefore, Rossi was forced to estimate the random coincidence rate, in order to subtract them from the total recorded number.

With a couple of detectors (for instance, GMTs) the frequency of expected random coincidences is given by the following expression:

$$\nu = 2\tau n_1 n_2 \tag{2.1}$$

where:

- n_1 and n_2 are the counting rates of the two Geiger-Müller tubes, usually referred to as "singles": they can be measured doing experiments with the individual tubes, placed in the same position as for the measurement;
- τ is the resolving time of the detectors, i.e. the minimum time interval to distinguish two events; it can be measured counting the random coincidences that occur in a dedicated set-up where the counters are sufficiently far away and misaligned from each other, so that true coincidences can be neglected. In this configuration, after measuring the rate of random coincidence events ν^* and the single counting rates n_1^* and n_2^*, we deduce the value of τ (a characteristic of the used electronics and detectors) from the formula;
- in this way, during the actual coincidence experiment, with the value of τ, n_1 and n_2 determined as explained before, from the formula it is possible to determine the expected random coincidence background ν (events per second) to subtract from the total number of coincidences once the experiment is concluded.

Moving on to the three detectors configuration, the formula becomes a little more complex. Assuming that the resolving time τ is approximately the same for all pairs of detectors, Rossi wrote (1933; Knoll, 2000):

$$\nu = 2\tau \cdot (n_{12}n_3 + n_{23}n_1 + n_{31}n_2) + 3\tau^2 n_1 n_2 n_3 \tag{2.2}$$

In this formula:

- n_{12}, n_{23} and n_{31} are the true coincidence rates of detector pairs, indicated by the digits in the subscript of n, so that the first three terms of the sum represent the random coincidence rates composed of true coincidences of two detectors and a single pulse from the third one;
- the last term gives the random coincidence rate due to independent signals of the three counters.

In order to apply this formula for estimating the random coincidences in the adopted "triangle configuration", Rossi, while still exploiting the previously determined value of τ and using the rate of the singles n_1, n_2 and n_3 in the current experiment, had also to determine the double coincidence rate for each pair of counters (n_{12}, n_{23}, n_{31}) with dedicated runs, while keeping the same geometrical configuration of the counters. The counting rates given in Fig. 1 have been obtained by subtracting the estimated random coincidence rate in every arrangement from the (total) measured coincidence rate.

3. Our reconstruction of the apparatus

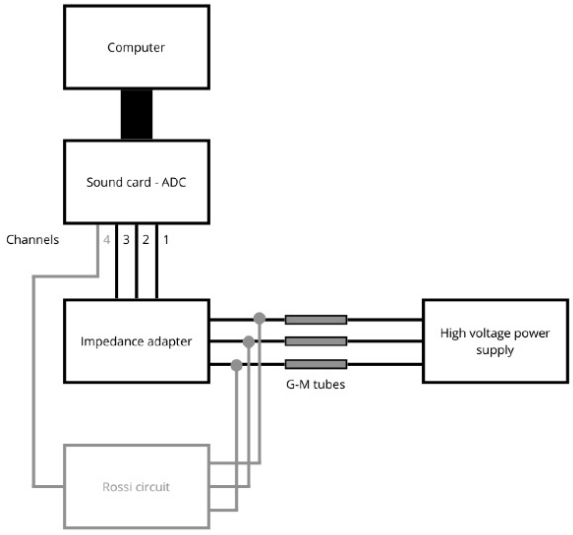


Fig. 3: Scheme of the apparatus.

In our reconstruction, we have the three detectors shown in Fig. 2, read by a 4-channel sound card, working as a sampling ADC. The fourth channel is used to digitize the output of the "Rossi-like" coincidence circuit, which we reconstructed in the past with a scheme similar to the original one (Carlà *et al.*, 2023). This fourth channel is useful for comparing the coincidence rate presumably observed by Rossi with our value, but it is not essential in order to reproduce the result of the experiment, as discussed in the following. A scheme of the acquisition system is shown in Fig. 3.

This novel acquisition system allows to sample data with 24 bit resolution at 192 kSample/s, thus obtaining a transcription of the GMT signals suitable for a precise timing: in this way the resolving time is expected to be significantly smaller than in the original apparatus. Data of the four channels, digitized by the sound card, are recorded on a text file for further analysis, provided a trigger condition set by the user is satisfied: trigger is activated when the involved signals cross a threshold level. In Fig. 4 we show the typical signals, obtained by plotting the sound card data of the four channels. These signals can be analyzed to obtain precise timing. In particular, the instant corresponding to the beginning of the signal is reconstructed by interpolating the experimental points with a third degree polynomial at a constant fraction of the maximum. The technique is known in literature (Bardelli *et al.*, 2004) and gives, in the present case, a resolving time of the order of 1 µs, even if the signals are sampled in steps of approximately 5 µs (corresponding to 192 kSample/s) [1]. Depending on the size and set-up of our

[1] Exploiting the fixed and large amplitude of the signals, a simpler and even more accurate timing has been obtained, as will be described in a forthcoming paper.

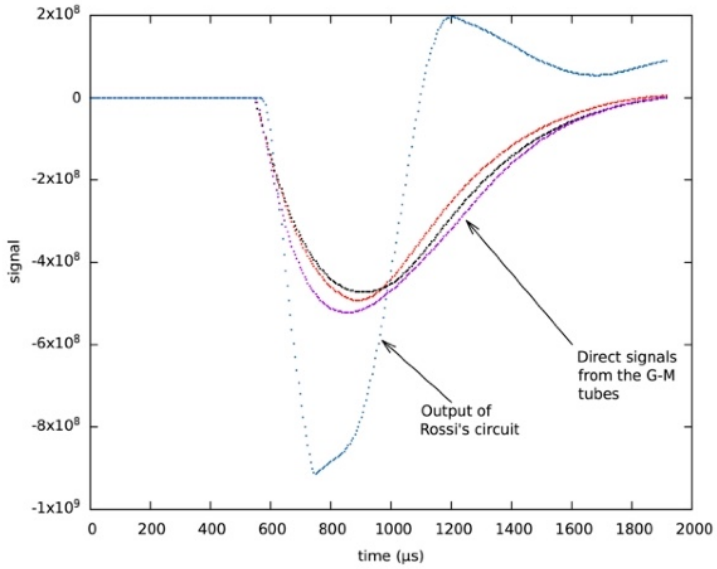


Fig. 4: Typical output of the sound card.

detectors, the system yielded a coincidence rate of a few tens of counts per hour: acquisitions of a few days were therefore necessary to collect the statistics needed to reproduce with the needed accuracy the Rossi curve. We made measurements with various thickness of lead (up to 50 mm) above the detectors, without any shielding around the GMTs.

In a previous version of the apparatus (Carlà *et al.* 2023) we used a single channel sound card to digitize only the output of the reconstructed Rossi circuit. As a consequence, we could count the coincidences of the signals, with a resolving time of approximately 1 ms, without investigating shape and timing of each signal. It is worth noting, as expected, that this value of the resolving time is well within the corresponding values mentioned by Rossi for the various implementations of his circuit. In this new set-up, thanks to the mentioned technique, the important reduction of the resolving time down to approximately 1 μs made it possible to repeat the Rossi's measurement without any lead shield to protect the GMTs from the environmental radioactivity, because the "equivalent shielding" is produced via software through

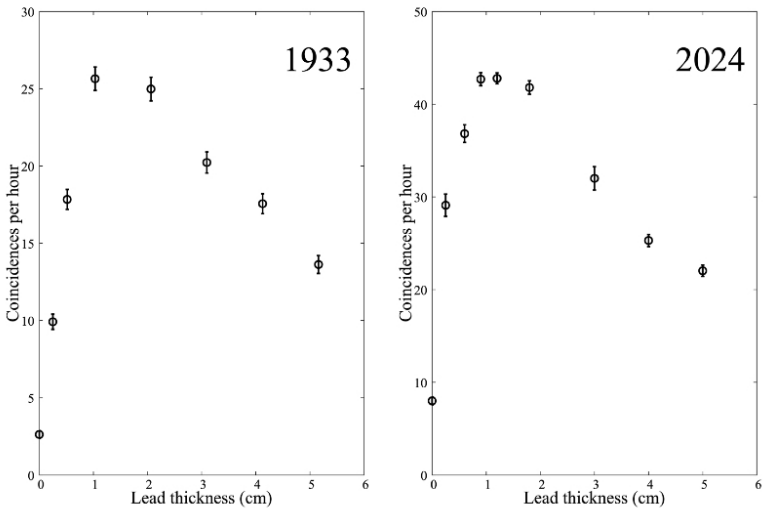


Fig. 5: A comparison between the original Rossi's data and the results of our measurements with the modern apparatus. As expected, the coincidence rates are different: detector size, distance, efficiency are not the same.

the rejection of identified random coincidences falling outside the μs-wide-peak of true coincidences, according to proper selection criteria.

4. Conclusions

The results shown in Fig. 5 show a great similarity with the original results obtained by Rossi in 1932. This achievement from one side confirms that presently available instrumentation (even at relatively low cost) permits to reproduce an experiment which constituted a very important step forward in the understanding of cosmic ray physics; from another, demonstrates once again the impressive ability of Rossi, who had to invent the instrumentation necessary to perform experiments in a field of physics almost totally unexplored and obscure at that time. Further efforts of our group are not excluded, dedicated to implement a simplified setup of the described experiment for installation in didactic laboratories of high school and university.

Bibliography

Bardelli L. *et al*. (2004). "Time measurements by means of digital sampling techniques: a study case of 100 ps FWHM time resolution with a 100 MSample/s, 12 bit digitizer". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 521, 480–492

Bonolis L. (2011). "Walther Bothe and Bruno Rossi: the birth and development of coincidence methods in cosmic-ray physics", *American Journal of Physics*, 79, pp. 1133-1150.

Carlà, M. *et al*. (2023) "Rossi's coincidence circuit: a reconstruction for educational purposes, with period instruments", in Bussotti, P., Capecchi, D. & Tucci, P. (eds.), *Proceedings of the SISFA 42nd Annual Conference*, held in Perugia 26-29 September 2022. Pisa: Pisa University Press

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2021). *Lo spirito di Arcetri*. Firenze: Firenze University Press.

Clark, G.W. (2005). "The contribution of Bruno B. Rossi to particle physics and astrophysics", in *Proceedings of the SISFA 25th Annual Conference*, held in Milan 10-12 November 2005. R1.1-R1.16

Della Corte, M. (sd). "L'Istituto di Fisica in Arcetri nei ricordi di Michele Della Corte", in *Breve storia del Dipartimento*. Available at fisica.unifi.it (Accessed: 7 November 2024).

Knoll, G.F. (2000). *Radiation Detection and Measurement* . New York: Wiley & Sons, p. 673.

Leone, M., Mastroianni, A. & Robotti, N. (2005). "Bruno Rossi and the introduction of the Geiger-Müller counter in Italian physics: 1929-1934", *Physis*, 42, pp. 453-480.

Peruzzi, G. (2015). "Bruno Benedetto Rossi. From Galileo's Hill to MIT", *Il Colle di Galileo*, 4(1), pp. 7-26.

Rossi, B. (1930). "Method of Registering Multiple Simultaneous Impulses of Several Geiger's Counters", *Nature*, 125, p. 636.

Rossi, B. (1932). "Ricerche sulla radiazione secondaria della radiazione corpuscolare penetrante", *La Ricerca Scientifica*, 3(2), pp. 234–264.

Rossi, B. (1933). "Über die Eigenschaften der durchdringenden Korpuskularstrahlung im Meeresniveau", *Zeitschrift für Physik* , 82, pp. 151–178.

Rossi, B. (1964). *Cosmic Rays*. New York: McGraw-Hill.

Rossi, B. (1981). "Early days in cosmic rays", *Physics Today,* 34, pp. 34-41.

Rossi, B. (1987). *Momenti nella vita di uno scienziato*. Bologna: Zanichelli.

Strumentaria

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_36, pp. 305–314
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-36

Lippmann: history, art and science in one photo

Barbara Cattaneo[1], Anna Giatti[2] and Massimo Gurioli[3]

[1]Opificio delle Pietre Dure, Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", Florence, barbara.cattaneo@cultura.gov.it.
[2]Fondazione Scienza e Tecnica & Florence, anna.giatti@gmail.com.
[1]Florence University, Department of Physics and Astronomy, Florence, massimo.gurioli@unifi.it.

Abstract: Gabriel Lippmann was awarded the Nobel Prize in Physics in 1908 for the invention of a method of colour photography exploiting the phenomenon of reflection interference, a rather unknown method today. The original Lippmann plates are very beautiful and extremely rare and, to our knowledge, only one exists in Italy at the Department of Physics and Astronomy in Florence. The history of the Italian plate is interesting and tortuous: in 1914 Gabriel Lippmann sent three interferometric plates to Augusto Occhialini, director of the physics department of Florence. Two were lost but one was found and saved by the Fondazione Scienza e Tecnica (FST), a scientific and cultural institution based in Florence. A meticulous search in the department's archives followed, which brought to light a correspondence between Lippmann and Occhialini. Lippmann's autograph letter made it possible to date the plate, learn its history, learn about the landscape portrayed, and certify its authenticity. This artistic, scientific, and technical jewel is permanently exhibited within the Enlighting Mind exhibition of the Department of Physics and Astronomy in Sesto Fiorentino. This contribution will report on the uncommon and brilliant Lippmann methods to produce interferometric photography (which is an *ante-litteram* nanophotonic approach), as well as the history, conservation, and preservation issues of our plate.

Keywords: Physics, Photography, Heritage

1. Introduction

Gabriel Lippmann (1845–1921) was a physicist awarded the Nobel Prize in Physics in 1908 for his method of reproducing colours photographically using the phenomenon of interference. Lippmann's photographic process was not only a groundbreaking and pioneering attempt to accurately capture colour images but also a significant validation of the wave theory of light, as it is based on standing light waves.

Despite receiving the Nobel Prize in Physics in 1908, Lippmann's method was quickly forgotten due to its complexity and the precise conditions required for successful results. It was soon overshadowed by the Lumière Autochrome technique, which was more practical for everyday use. Autochrome became the first widely accessible and commercially successful colour photography process, driving the growth of colour photography in the early 20th century. As a result, Lippmann's work was rapidly relegated to obscurity, and today it remains largely unknown, even within the physics community. This is a real loss and even a shame, given its strong connections to active research fields such as multilayer optics, nanophotonics, and artificial structural colours, as well as with artistic photography due to the beautiful, vivid colours emerging from the Lippmann plates.

In this contribution, we aim to highlight the history behind Lippmann's Nobel Prize and recount the fortunate series of rare events that led the Department of Physics and Astronomy at the University of Florence to get an original Lippmann plate dated 1914. We will also discuss the current state of the plate's preservation and the plans for its consolidation and restoration.

2. History of the Nobel Prize

Gabriel Lippmann was a physicist who made significant contributions across various branches of physics, including electricity, thermodynamics, optics, and photochemistry. In the late 1870s, Lippmann sought to design an experiment that would definitively demonstrate the wave nature of light by creating and detecting optical standing waves through his innovative interferometric colour photography process. Before briefly addressing the physics behind the method, we will first explore the history of Lippmann's achievement, placing it within the context of the evolving understanding of light and the development of colour photography in the second half of the 19th century.

In 1865, Maxwell published his renowned paper "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field", in which he demonstrated how electric and magnetic fields propagate through space as waves moving at the speed of light, proposing that light itself is an electromagnetic wave. Maxwell's prediction was a groundbreaking moment in science, but it also sparked considerable debate among scientists of his era and beyond. For instance, Maxwell's theory did not clarify the medium through which these waves travelled, leading to the hypothesis of the luminiferous aether and initiating a long-lasting debate that was only resolved by Einstein's theory of relativity in 1905. Of particular relevance to our discussion is the fact that, at the time, there was no experimental evidence to confirm the existence of electromagnetic waves; it was only between 1886 and 1889 that Hertz conducted his famous experiments, providing the first proof of their existence.

During the same period, direct colour photography - capturing the colours of an image in a single exposure - was a goal pursued by many researchers. Some progress was made in the second half of the 19th century, such as the experiments by Edmond Becquerel, but these results were largely accidental, and the nature of the colours observed was not well understood at the time. Another significant challenge with these early colour photographs was the difficulty in "fixing" the colours.

Therefore, Lippmann's work was both timely and significant for advancing the understanding of the nature of light and the development of colour photography. He first announced his invention on 2 February 1891, when he told the Acadèmie des Sciences: "I have succeeded in obtaining the image of the spectrum with its colours on a photographic plate, where the image remains fixed and can endure in daylight without deterioration" (Mitchell, 2010). It is important to note that Lippmann emphasized the stability of his results, highlighting that, unlike other colour photographic processes of the time, his method produced images that did not suffer from rapid chromatic degradation.

Despite his claim, Lippmann's results were not easy to reproduce, and the colour rendering was not optimal. While Lippmann had developed a solid physical and optical approach for capturing colour on an "ideal" emulsion, he did not yet possess the material science knowledge required to create a "real" emulsion suitable for his technique. One key requirement was that the silver salt particles needed to be smaller than 100 nm. Another challenge was creating a panchromatic emulsion, meaning one with consistent sensitivity across the entire visible spectrum. The issue arose because silver halide salts are only sensitive to blue and ultraviolet light. These challenges were eventually solved through the contributions of several researchers, many of whom achieved success through trial and error. For instance, extending the plate's sensitivity to all visible wavelengths was achieved by introducing specific dye sensitizers into the emulsion, based on the pioneering ideas of Hermann Wilhelm Vogel.

Reproducibility was another significant problem. Until 1892, Lippmann had achieved his most successful photographs using transparent collodion-based and albumen-based plates, but the results were still not satisfactory. Establishing the right ingredients and their quantities was a lengthy and time-consuming process. Lippmann's famous remark at his Nobel conference in 1908 reflects this: "Life is short and progress is slow". Soon after 1891, Lippmann recognized that the success of his method

depended on industrial, systematic, and controlled plate-manufacturing processes. This realization led to his collaboration with the Lumière brothers, Auguste (1862–1954) and Louis (1864–1948), who made a crucial contribution by developing a gelatine-bromide plate with optical sensitizers, making it almost panchromatic and capable of achieving resolution of just a few tens of nanometres (Hannouch, 2022)

Using these new emulsion plates, Lippmann presented several photographs to the Académie des Sciences on 17 April 1893. The success was immense, as evidenced by the enthusiastic response from members of the (later Royal) Photographic Society of Great Britain in London:

> The pictures [...] show colours of unsurpassed beauty — beyond anything we are accustomed to see in the way of the reproduction of colours — somewhat metallic in appearance, but very bright and of very decided and definite colour [...] like real nature on a bright summer's day. Seeing these first photographs in natural colours we feel we are in the presence of one of the greatest inventions of the nineteenth century. (Mitchell, 2010)

It follows that the success and notoriety of Lippmann's invention was very relevant at the beginning of 20th century. By 1903 Lippmann began to be nominated frequently for the Nobel Prize in Physics by his French colleagues, since his photographic process was also an elegant demonstration of the wave theory of light. For several years, however, the Nobel committee did not consider this prizeworthy because many other epoch-making progresses in the physical sciences occurred at the beginning of 19th century. The situation finally changed, maybe also influenced by political factors related to the imbalance between nations in terms of the number of Nobel Prizes in Physics, with only one awarded to a French scientist in the first seven years. The 1908 prize decision is particularly notable because the Swedish Academy of Sciences overturned the committee's recommendation of Planck in favour of Lippmann. Planck's work was, at the time, considered insufficiently experimental, whereas Lippmann's achievement, in addition to its elegant demonstration of the wave theory of light and the political considerations, was also highlighted for its cultural and artistic significance. This is explicitly stated in the report on Lippmann's candidacy:

> Since no one can deny that this discovery, like the entire art of photography, represents one of the most important advances in human culture, it seems to us that honoring it with a Nobel Prize would be particularly in line with the founder's intentions. (Mitchell, 2010)

The primary reason for Lippmann's Nobel Prize in Physics in 1908 was "his method of reproducing colours photographically based on the phenomenon of interference." As emphasized throughout this manuscript, we fully agree that Lippmann deserved this recognition for the simplicity, beauty, and

(a) **(b)** **(c)**

Fig. 1: (a) The UNIFI Lippmann's plate recto/verso, properly illuminated and in reflection condition. (b) The UNIFI Lippmann's plate recto/verso, in diffusion condition. Note that with this angle of view and illumination the image on the plate is not visible. (c) Note also the poor condition of the bitumen on the retro of the plate.

brilliance of his optical and physical technique. At the same time, we conclude this historical account by underscoring the crucial role the Lumière brothers played in developing the appropriate emulsion for the practical implementation of the interferometric process, which was vital to Lippmann's success. Unfortunately, their contribution has been largely overlooked and completely ignored in the context of Lippmann's Nobel Prize in Physics.

3. Discovery of the UNIFI Lippmann's plate

The exhibition Enlighting Mind at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence hosts and shows the sole original Lippmann photograph present in Italy. To highlight the relevance of this presence it is worth pointing out that only a hundred interferometric photographs made by Lippmann himself are conserved around the world. The story of this plate is quite interesting, intricate, and therefore quite long.

Our plate has been discovered in 1990 at the Fondazione Scienza e Tecnica (FST) of Florence, which was founded in December 1987 to promote and spread scientific and technological culture, starting from the recovery, and enhancement of the historic and scientific heritage from the 19th-century Istituto Tecnico of Florence. This is a rich collection – unique in Italy – of thousands of items, divided up among naturalistic collections, scientific instruments, models of machinery, manufactured products, and collections of books of historical interest. FST manages a museum, where part of the collection, in the original rooms and furniture, are accessible to the public since 2007, and the Florence Planetarium (Lippi & Soldani, 2018).

The Physics Cabinet collection is one of the most significant nuclei of this historical heritage (Brenni, 2009; 2013), due to the exceptional quality of the scientific instruments present and the completeness of their ensemble. For this reason, it has from the very beginning been at the centre of the historical heritage recovery activities carried out by FST, which has favoured the formation of a staff specialised in the study and conservation of scientific and technological heritage. This specialisation was part of the objectives for which the FST was conceived, together with the role of linking research centres, the need for conservation and historical research, and dissemination and education activities for students and the general public, as stated in the programme documents of the time: "The basic idea of the project starts from the assessment that it is necessary, and that there is a possibility, to create a structure that is professionally and continuously dedicated to the dissemination of fundamental aspects of scientific culture and that acts as a link between research and innovation, historical tradition and scientific education". The specialisation of centres of this kind, and of the FST in particular, was part of the providential and brilliant vision of the Ministry of Universities and Scientific Research (MURST), which since the end of the 1980s has promoted a rediscovery of the high cultural value that resides in the material heritage of the scientific area, the keystone on which to base a project for the enhancement of scientific culture. In 1988, MURST established a National Committee for Scientific Culture to draw up a programme and guidelines. This outlined with speed and clarity the need for a series of actions including the establishment of specialised centres for the study, preservation, and enhancement of historical collections that had already been musealised, but also for the collection, selection, preservation, and restoration of more recent instrumentation when it became obsolete and left the research centres (Giatti, *in press*). It was in this climate that in 1990 the FST initiated the acquisition on loan of scientific instruments and equipment from the Physics Department of the University of Florence.

Among other items, a small box containing a Lippmann plate was transferred in 1990 from the Physics Department to the FST where, thanks to the expertise of Paolo Brenni, it was identified and where it has been properly preserved for many years.

In 2020, within several international initiatives marking the centenary of Lippmann's death, the Musée de l'Elysée in Lausanne launched the catalogue raisonné of preserved Lippmann plates. The initiative and the contacts that followed, provided the opportunity to start a process of study and conservation of the Florentine interferential photograph (Giatti, 2021). This also led to a historical investigation of archival sources to explain how the plate had arrived in Florence. Thanks to the help of Massimo Mazzoni, head and curator of the Department of Physics and Astronomy archive, who made all the material contained in the archive available online, important letters were eventually retrieved. Three documents kept in the Occhialini Archive and attributed to Gabriel Lippmann, Augusto Raffaele Occhialini (1878-1951), and Giuseppe Occhialini (1907-1993) were fundamental in tracing the historical acquisition of the plate.

Thanks to two of those documents, we know that in February 1914, Lippmann sent three interferential photographs to Occhialini to be shown to the Italian Physics Society (SIF), and that the agreement was to return the plates to Lippmann. The letters also state that the photograph we still have, was taken in 1914 and depicts a country house in Talloires, near Lake Annecy, France. Augusto Occhialini's response letter requests to postpone the return, in fact Occhialini had to wait the next meeting of the Society, in March[1] . No evidence could be found to date of Occhialini's intention to show the plates at one of the SIF meetings, but we can guess that something did not go as planned, as the plates were never returned to Lippmann.

Analyzing these two letters and comparing the handwriting with Lippmann's and Occhialini's (also thanks to the help of Agnese Mandrino), not all aspects become clear. Lippmann's letter also features a letterhead from the Chamber of Deputies, suggesting that a third person wrote both letters and that the letter signed by Lippmann is actually a transcription. The mystery of the letters could also pose doubts on the authenticity of the plate itself. Likely, this is not the case, since we discovered the Sorbonne University in Paris hosts an original and certified Lippmann photograph with the same framing of the same country house of our plate.

Let's go back to the history: in 1914 Augusto Occhialini was an assistant to Prof. Battelli, who was the founder of the SIF, in Pisa. Then, after the years of the First World War, he became assistant to Antonio Garbasso's Chair of Physics in Florence and, in 1918, the first Director of the new Laboratory of Optics and Precision Mechanics. However, he stayed only a few years before going to teach in Sassari in 1921. We think he took the plates with him when he moved from Pisa to the Institute of Physics in Florence where they have remained.

Also interesting is the third letter preserved in the Occhialini Archive, the one from Giuseppe Occhialini to his father, Augusto. There is no date given but, thanks to the reference to Laureto Tieri (1879-1952), we can place it between 1933 and 1949, the period in which Tieri was director of the Florentine Physics Institute (Casalbuoni, Dominici & Mazzoni, 2021). It is difficult today to understand all the references in the text but the letter testifies that there was more than one photograph at the time and that they were in Florence, in those years. As we said in the introduction, Lippmann's work was rapidly consigned to oblivion. In addition, Lippmann died in 1921, and his interferometric photographic method was already almost unknown before the Second World War. We believe that the difficulty in identifying the rare interferential photographs must be the reason why the plates were gradually forgotten until two of them were lost.

4. Conservation and consolidation

Just before the pandemic in 2020, the plate was proposed to Opificio delle Pietre Dure as a case study. On the occasion, the state of conservation was analyzed by conservators Anna Giatti and Barbara Cattaneo, and preliminary consolidation interventions were planned.

[1] The meetings of the Tuscan section of SIF, established in 1912, were held in Florence or Pisa (Giuliani, 1996)

Although the research had to be postponed, the plate was exhibited at the Stibbert Museum, and after that, it was included in the Enlightening Mind exhibition at the Physics and Astronomy Department of the University of Florence. This last step was the right chance to perform a chemical and physical characterization of the plate's materiality as well as an *in situ* preservation treatment.

In fact, several factors threaten the photographic material's long-term preservation, envisaging further chemical, physical, and biological risks. The natural aging of the materials, as well as their storage in high or unbalanced thermo-hygrometric conditions, can provoke a silver oxidation and reduction, often involving sulfide formation, leading to image degradation (Lavédrine, 2019, p. 32). In common silver gelatin plates, this results in yellowing, discolouration, and 'silver mirroring.' In contrast, in Lippmann plates, any change in the silver structure can alter the geometry of the emulsion, leading to the loss of the interferential response and the irreversible disappearance of the color image. Glass corrosion, particularly from the interaction of acidic compounds, can weaken the substrate, and this can affect the silver grain. Moreover, the oxidation of the Canada balsam, which binds the prism to the emulsion, can cause yellowing, cracks, and delamination. Varnish oxidation, particularly of bitumen, can cause the varnish to become brittle, cracked, or discoloured. Finally, poor storage condition can induce mold growth or pest infestations (La Motte, 2014, pp. 61-70; Gold, 2022).

The Florentine plate is overall in good condition (see Fig. 1). The plate consists of a fine-grained (100-200nm) (La Motte, 2014) silver gelatin emulsion on a glass substrate, cemented, emulsion side, on a glass prism. A black sealing paper along the edges secures the presentation of the plate and the prism. To improve the appreciation of the interferential image, the back of the plate is coated with a black varnish. Loose microsamples of the cement and varnish were analysed through FTIR in transmittance and reflectance at the Institute of Applied Physics "Nello Carrara" belonging to the National Research Council (CNR IFAC) in Sesto Fiorentino. The adhesive used between the plate and the prism was confirmed to be Canada balsam, while the black varnish on the back was confirmed to be bitumen. XRF was also carried out to detect any additives in the black varnish and any peculiarities in the glass and emulsion. Unfortunately, due to the geometry of the object, it was not possible to take measurements directly on the surface of the emulsion, and attempts to measure beyond the glass layer did not lead to satisfactory results.

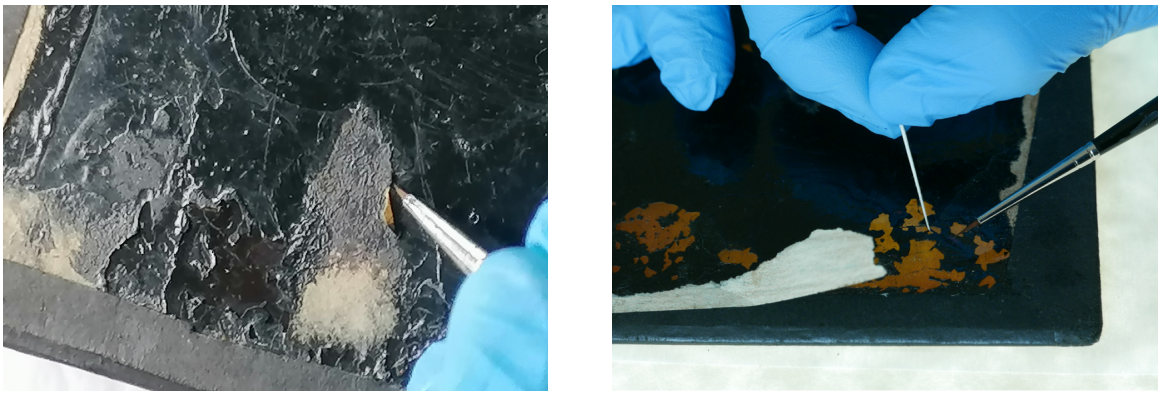
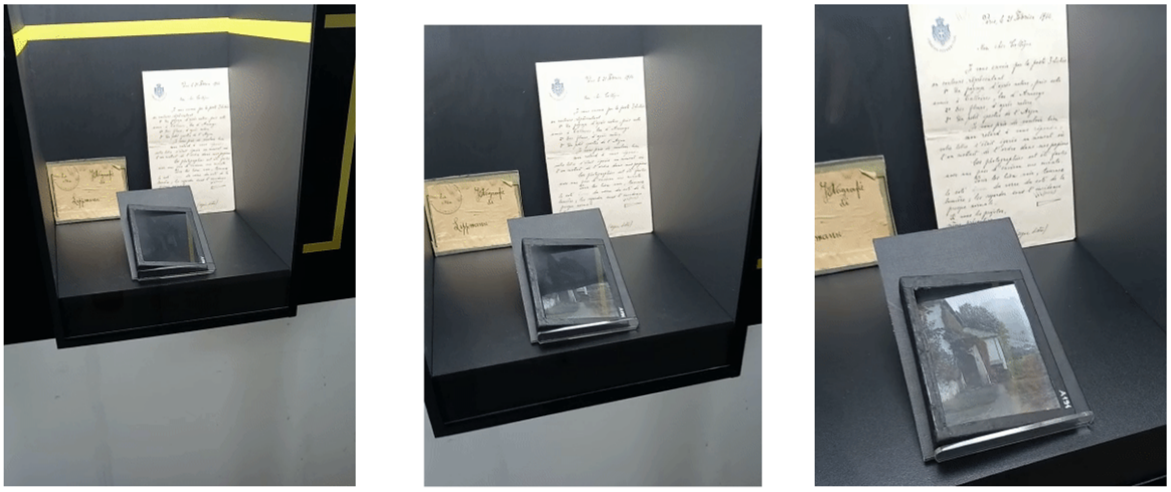


Fig. 2: Detail of the back of the plate during the *in situ* treatment

As stated before, the Florentine Lippmann plate is in overall good condition. In order to complete the *in situ* treatment, the plate was dry cleaned: dust and localized surface concretions were reduced using an air blower, soft brushes, dental paper points and a scalpel (Fig. 2). Localized solvent cleaning with a 1:1 demineralized water and ethyl alcohol solution was performed on the glass. The main deterioration concern was, and still is, the bitumen varnish, unfortunately very brittle, with cracks and losses, which cause also the appearance of orange stains, due to the different interference of light on the emulsion with

or without the black backing. The varnish fragments were secured with a water solution at 5% of Aquazol 200, a polymer with thermoplastic properties, and a refractive index close to glass.

The plate is currently displayed in a protective case with appropriate illumination for both viewing and preserving the plate. Inside the case, we also exhibit Gabriel Lippmann's original letter to Augusto Occhialini, retrieved from the Department's archive.(Fig. 3).



(a) **(b)** **(c)**

Fig. 3: These three images of the plate in its protective case, taken from three different viewing angles, demonstrate the peculiarity of Lippmann's process: the colours can only be seen from a specific point of view. (a) the cone of view is taken outside and the plate is almost completely dark. (b) The panel shows that when approaching the correct point of view, suddenly part of the coloured image starts to appear. (c) It shows the view in the optimal condition. On the back of all photos, note the Lippmann letter to Augusto Occhialini dated 1914. Unfortunately, these photos fail to capture the full beauty of the plate.

5. Physics of Lippmann plate

The Lippmann method is unique in transcribing the shades of light, since each point of the Lippmann slide reproduces the exact spectrum of the recorded images, not only its perception via the standard RGB channels reproduction as in any other analog or digital photographic techniques. This comes out from a brilliant exploitation of the interference of light.

The basic idea of the Lippmann technique was to illuminate the photographic emulsion with a standing wave of light, which has a pattern of nodes (points of destructive interference) and antinodes (points of constructive interference). For any kind of waves, stationary waves can be formed by summing up two identical counterpropagating waves. The simplest way to do this is to use a wave reflector and for light, this is obviously a mirror. Note that the standing wave pattern is unique for any light spectrum; in other words, this interferometric pattern serves as a unique nanometric barcode for any possible color of light.

In the original Lippmann protocol, the plate was set inside a photo camera with a special device allowing the insertion of liquid mercury behind the plate, which acts as a mirror and creates a stationary wave in the emulsion. During the light exposure, the nanoscale size of the silver halide grains in the emulsion play their role in faithfully encoding the fine details of the standing wave pattern in a continuous distribution of silver nanoparticles, through the depth of the latent image registered in the emulsion. Once the plate is developed, fixed, and dried following the standard procedure, inside the depth of the emulsion there are planes of reduced silver whose nanoparticle density and their reciprocal distances depend in a unique way on the spectrum of the light that produced the image. The theory also demonstrates that, after proper illumination, a Lippmann photograph reveals to the observer the exact spectrum of the recorded light at each and every point on the plate.

Lippmann photographs, when correctly illuminated with white light and observed at the correct angle, is reflecting point by point the colours of the registered image, while the complementary colour is transmitted away, or rather absorbed by the layer of black pigments (usually bitumen) applied on the back of the plate. This dichroic effect is created by the presence of a periodic pattern of silver metallic nanoparticles within the depth of the plate. Each layer reflects all wavelengths of light, but the periodicity of the pattern enhances the interference, reflecting some colours while suppressing the reflection of the complementary ones. The pattern acts as a fine array of mirrors faithfully reflecting the chromaticity of each point of the recorded image. In modern words, we would name them “ante litteram” dichroic mirrors, which indeed were invented only in the middle 20th century when thin-film coating and multilayer technologies started to be exploited for manipulating light transmission and reflection. Therefore, Lippmann’s research into interference and colour set a milestone in the study for the study of thin film and multilayer interference as tools for a plethora of optical applications.

6. Conclusions

In this contribution, we had two aims. First, we aimed to inform that a fortunate series of rare events led the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence to acquire an original Lippmann plate dated 1914.
The second aim was to preserve the memory of and highlight the almost unknown work of Lippmann. Despite its oblivion, we believe that it has an important legacy in science, technology, and art. The relevance for physics is implicit in the fact that the method was awarded the Nobel Prize in 1908, while its relevance for art and culture can be found in the previously cited sentence, quoting Lippmann’s discovery as “one of the most important advances in human culture”. In fact, a few contemporary artists are nowadays rediscovering the beauty and vividness of the interferometric colours emerging from these particular plates. From our side, on the occasion of the International Day of Light 2024 and with the support of SIF and SIOF, we organized the exhibition “The Rebirth of Lippmann Plate” where our historical plate was displayed side by side with contemporary ones.

In conclusion, we would like to report the following comment found in Giuseppe Occhialini’s letter to his father, which was previously discussed: it is "a tribute to a man whose photographs are jealously preserved in a museum and shown to young people," testifying that even for brilliant scientists fully dedicated to innovation and new physics, the relevance of preserving memory and disseminating knowledge was, and must remain, a significant vocation. This is the exact mission that we do have in presenting the plate inside the exhibition Enlighting Mind at the Department of Physics of the University of Florence: the plate is accessible to students and visitors free of charge and with a QR code explaining its history and physics.

Acknowledgments

We acknowledge the contribution of Marcello Picollo, Giovanni Bartolozzi and Juri Agresti for FTIR and XRF analysis at CNR IFAC. We sincerely thank the artists Filipe Alves from Lisbon and Andrea Salvà from Merano for sharing some of their contemporary Lippmann photographs with Enlighting Mind. We are also pleased to acknowledge our collaboration with the 00A association (Trento, Merano), with whom we organized the two events, “The Rebirth of Lippmann Plates”, in Sesto Fiorentino and Merano on the occasion of the International Day of Light on May 16, 2024.

Bibliography

Brenni, P. (2009). *Il Gabinetto di fisica dell'Istituto tecnico toscano: guida alla visita*. Florence: Polistampa.

Brenni, P. (2013). "The Physics Cabinet of the Istituto Tecnico Toscano", in Bennett, J. & Talas, S. *Cabinets of Experimental Philosophy in Eighteenth-Century Europe*. Leiden: Brill, pp. 215-241.

Casalbuoni, R., Dominici, D. & Mazzoni, M. (2021). *Lo spirito di Arcetri. A cento anni dalla nascita dell'Istituto di Fisica dell'Università di Firenze*. Florence : Firenze University press, p. 177.

Giatti, A. (2021). "The Lippmann Plate at the Fondazione Scienza e Tecnica in Florence", in Cattaneo, B. *et al.* (eds.), *Proceedings of the Colour Photography and Film*, 29-30 March 2021, pp. 206-208.

Giatti, A. (in press). "Il patrimonio culturale di interesse storico-scientifico: tutela, conservazione e restauro", *Giornale di fisica*, 65.

Giuliani, G. (1996). *Il Nuovo Cimento. Novant'anni di fisica in Italia 1855-1944*. Pavia: La Goliardica pavese, pp. 25-40.

Gold, J. (2022). "Materiality, Identification, and Conservation of Lippmann Plates", in Hannouch H. (ed.), *Gabriel Lippmann's Colour Photography: Science, Media, Museums*. Amsterdam: University Press, pp. 213–50.

Hannouch, H. (2022). *Gabriel Lippmann's Colour Photography: Science, Media, Museum*. Amsterdam: University Press.

La Motte M. (2014). *Conservation et restauration d'un corpus de photochromies interferentielles obtenues par la méthode de Gabriel Lippmann provenant de la Société française de photographie et de l'Université Pierre et Marie Curie, Caractérisation de l'altération du baume du Canada* Paris: Institut National du Patrimoine.

Lavédrine, B. (2019). *Photographs of the Past. Process and Preservation*. Los Angeles: Getty Publication.

Lippi, D. & Soldani, S. (eds.) (2018). *Fondazione scienza e tecnica: guida al museo*. Florence: Giunti.

Mitchell, D.J. (2010). "Reflecting Nature: Chemistry and Comprehensibility in Gabriel Lippmann's Physical" Method of Photographing Colours", *Notes and Records of the Royal Society of London*, 64(4), pp. 319-324.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_37, pp. 315–324
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-37

Sacred Alignments of Early Christian Churches, Baptisteries and Mausoleums in Ravenna: The Intuition of Giuseppe Gerola, 1936

Eva Spinazzè[1]

[1]University of Fribourg, Department of Patristics and Church History, Frigourg, eva.spinazze@unifr.ch.

Abstract: In this transdisciplinary archaeoastronomical project, the researcher examined the hypothesis put forward by the historian Giuseppe Gerola (1877-1938) who postulated at the beginning of the 20th century that the early Christian sacred buildings in Ravenna, Italy, were oriented towards the sunrise on a specific day. His methodology, however, did not allow him to determine the orientation with accuracy so his hypothesis had to remain speculation. The researcher analysed the early Christian sacred buildings in Ravenna (mentioned by Gerola) and that are still extant today in their (partial) original form (18 buildings), by conducting georeferenced surveys with astronomical, trigonometric calculations combined with the study of primary and secondary sources. The author's methodology allowed her to obtain with high precision azimuths and declinations of these sacred architectures and in combination with written evidence realistic hypothesis can be expressed. She aimed to verify or falsify Gerola's hypothesis concerning the existence of an ancient building tradition regarding the alignments of early sacred buildings toward sunrise on a specific day. Her study confirms Gerola's early theory: some sacred architectures in Ravenna were indeed aligned toward the sunrise on a significant day, but some also with the sunset and one of them with the moon.

Keywords: Sacred Alignments, Early Christian Buildings, GPS Surveys, Giuseppe Gerola.

1. Introduction

We are in the early years of the twentieth century. The studies conducted by astronomers and archaeologists to understand the disposition of sacred buildings in space (archaeoastronomy) had focused mainly on megalithic structures and sites, with the aim of understanding through measurements and calculations why blocks of stones had been positioned according to a specific pattern (rows, circles, etc.). On the other hand, theologians and historians had concentrated on written sources and studied the tradition of aligning sacred buildings, investigating the rites of different cultures; two fundamental texts, Nissen's *Orientation* (1906) and Dölger's *Sol Salutis* (1925) are worth remembering. However, these two areas of study remained separate (Spinazzè, 2010; 2015). At that time, the historian Giuseppe Gerola, Superintendent of the Monuments of Romagna, Italy, carried out archaeological excavations at the early Christian sacred buildings in Ravenna. On that occasion, with the collaboration of Giorgio Rosi, director of the Royal Office of Antiquities and Art of Ravenna, he determined the azimuths of the axes of those buildings using a precision compass taking into account the magnetic declination (Gerola, 1936, p. 244). Gerola wondered why the axes of the sacred buildings diverged so greatly from the astronomical points such as the equinoxes and solstices and argued that there must be a reason. He intuited that these Christian buildings were not randomly oriented in space but towards a precise point on the horizon. On this basis, he developed orientation criteria, but his methodology did not allow him to make sufficiently certain deductions, as he stated, and therefore he was unable to establish a plausible connection between the

building and the criterion. Because of this gap in the data, he stated that "new research and new studies are necessary to reach more definitive results and more certain deductions" (Gerola, 1936, p. 261).

The following orientation criteria, developed by Gerola, may have been chosen by the builders to orientate Christian sacred buildings when tracing their foundations: orientation to the astronomical east; to the winter solstice (Christmas) and summer solstice; to the birth of the sun on the feast day of the patron saint of the church; to the birth of the sun on the day of particular importance for the founder; to the birth of the sun on the day of the foundation of the church; to Jerusalem; to the magnetic north; random orientation (Gerola, 1936, pp. 251-252).

2. Methodology

The good preservation state of the sacred buildings of the early Christian Age (churches, baptisteries, mausoleums) and their remains (foundations) in Ravenna and Classe have enabled the author to undertake detailed measurements. These sacred buildings were not bound by pre-existing buildings or other topographical obstacles, "and one can believe that they arose on a site well chosen by the founders" (Gerola, 1936, p. 242). To verify whether or not Gerola's intuition could be confirmed, the author studied primary sources (patristic and liturgical writings to confirm the existence of a tradition to orientate sacred buildings, archaeological excavation reports to understand the evolution of sacred buildings, martyrology to know when a feast entered the calendar, etc.) as well as secondary sources. She carried out a georeferenced topographic survey (GPS survey) of all the sacred buildings of the early Christian Age in Ravenna and Classe that had been studied by Gerola, using a combination of theodolite and GPS, and made trigonometric and astronomical calculations to determine the alignment of each ancient sacred building, taking into account the mountain profile in the direction of the apse and the façade (the local horizon to the east - Adriatic Sea - is free, while to the west it appears distant and does not affect the calculations), the refraction, the latitude and, in the case of a lunar alignment, also the parallax of the moon. In addition to the azimuth at the rising, the author determines the azimuth at the setting of the celestial object, the declinations on the astronomical and local horizon, the days on which the sun, the moon or another celestial object was in line with the axis of the sacred building, then she draws up concrete hypotheses on the orientation linked to the individual historical events of each sacred building (Tab. 1). This method provides a higher precision than results obtained using a compass, aerial photographs (rarely zenithal), or cadastral maps (schematic profile), from which it is not possible to precisely recognize the axis or the inclinations of the walls, the oldest parts of the building and their possible overlaps. The days obtained by using the ephemeris refer to the Julian calendar and to the century in which the sacred building was founded. For the 5th and 6th centuries, the Julian calendar was 1-2 days behind the astronomical cycle. The author's methodology leads to highly accurate and reliable data, which allows one to express plausible hypotheses and to find an answer to Gerola's intuition. The difficulties in the GPS survey were due to the irregularities of the ancient walls, which required a more complex examination of all the existing walls. In the case of Ravenna, some texts speak of a shift with a rotation of about 5° that has occurred over the centuries due to the movement of tectonic plates, without however specifying how this value was calculated. The example discussed refers to the Mausoleum of Theodoric to make its axis coincide with the equinoctial line (Piazza, 2020, pp. 205-215). If this were the case, all the buildings in Ravenna and the surrounding area would have been rotated at indefinable angles. However, the results for all the sacred buildings analyzed show proper alignments pointing mostly to the sunrise or sunset on an important Christian day related to the history of the single sacred building (Tab. 1). This is exactly the case in the Mausoleum of Theodoric, which incorporates an orientation linked to the Incarnation of the Lord (25 March). The author also carried out a comparative analysis, comparing and contrasting the data obtained

by GPS surveys with those of Gerola (1936) and with the study by the astronomer Giuliano Romano (1995), who in the 1990s analyzed a part of the sacred buildings in Ravenna that Gerola had examined in 1936, perhaps not knowing the important study by the Superintendent. Romano determined the azimuths for most of the sacred buildings from the cadastral map at 2000 scale, while for a few he used a theodolite (without georeferencing). Subsequently, he calculated the declinations solely in relation to sunrise. In his text, Romano essentially speaks of two possible alignments: equinoctial or solstitial, although he did not find any alignment exactly on the equinox or solstice. Even though the values he found deviated up to 10° from the astronomical directions, Romano still considers them to be equinoctial or solstitial alignments, stating that these deviations are the result of construction errors and the impossibility for the builder to see the sun rising on the horizon inside the city (Romano, 1995, p. 108). This hypothesis appears to be implausible, especially in the case of very large angular deviations, such as ten degrees. Imagining the tracing operations that took place on the ground, ten degrees corresponds to approximately twenty consecutive solar disks seen on the horizon. But even at two degrees, it is highly unlikely to think in terms of error. Furthermore, the city of Ravenna at that time was not structured in such a way (Manzelli, 2000, p. 238) that it was impossible to choose the place where to build and the master builder appointed by the bishop and/or the ruler of the city was the most qualified. As an astronomer and historian of astronomy, Romano's work mainly focused on megalithic structures from an astronomical point of view. It is perhaps for this reason that he considered almost exclusively only equinoctial or solstitial alignments of early Christian sacred buildings. These alignments are mainly present in prehistoric structures, but not in early Christian buildings, as the author's studies have subsequently shown. In contrast to the pagan structures, over the centuries Christians had developed other religious rites, and feasts, which then entered the calendars and martyrologies as early as the 4th century after the Milan Act (313), such as the Nativity of Christ in the mid of the 4th century, the main Marian feasts (Annunciation, 25 March; Assumption, 15 August; Purification, 2 February; Nativity, 8 September), the *Cathedra* of Saint Peter, feasts of the first martyrs, which were mentioned in the *Martyrologium Hieronymianum* dating back to the 4th-5th century. Some of these days are actually reflected several times in the directions of the axes of these sacred buildings in Ravenna.

3. Geography and Christianity in Ravenna in the Early Christian Age

Situated in a strategic position, surrounded by dunes and protected by a vast lagoon, Ravenna was built between waterways on lagoon land. The topographical layout of the town was built with Iulius Caesar, and then with Octavianus Augustus the port of Classe was established. Various cults from the East arrived there through legionaries, artisans, and travellers, but very few traces of pagan religious buildings remain (Deichmann, 1965, p. 613). The arrival of Christianity has been attributed to Apollinaris, who according to legend, came from the East with the Apostle Peter, on his way from Antioch to Rome, and then on to Ravenna (Agnellus, 1708, vol. I, p. 124). However, this story has been questioned by modern historiography, which places the episcopate of Apollinaris at the beginning of the 3rd century. In 7th century Ravenna, a legend placed Saint Apollinaris in the 1st century; he was considered a disciple of the Apostle Peter and this claim was used to express Ravenna's supremacy over Rome at the time (Lanzoni, 1927, pp. 738-741).

4. Geometry, common architectural features

Ravenna is home to sacred buildings dating from the early Christian Age whose plans display various shapes: basilica (Sant'Apollinare in Classe, Sant'Apollinare Nuovo, San Francesco, Sant'Agata, San Giovanni Evangelista, the Basilica Ursiana, and the Arian Basilica dedicated to Anastasis and later

known as the Church of the Holy Spirit), cross (Church of Santa Croce, Mausoleum of Galla Placidia, Chapel of Saint Andrea), central shape (Mausoleum of Theodoric, the Neonian Baptistery and the Arian Baptistery, the Church of San Vitale). The plans of the basilicas in Ravenna are similar to each other, both in shape and proportions (except for the Church of the Holy Spirit which is shorter), reminiscent of the first early Christian basilicas such as those built in Milan in the 4th century (Basilica of Sant'Ambrogio, Santa Tecla, Sant'Eustorgio). The apses also share common characteristics, with an outer polygonal shape and an inner semicircular shape, a composition deriving from the Constantinopolitan influence, as well as in the use of materials, mainly walls built with Roman bricks (6-9 cm high and later in the 6th century 3-4 cm high) (Deichmann, 1965, p. 619) bound with a large bed of lime mortar with gravel. Instead, the Mausoleum of Theodoric was built with square blocks of Aurisina marble from Istria, which provides great luminosity to the monument. The use of pilaster strips (*lesene*) is another architectural feature of Ravenna and northern Italy, used above all on the outside of the basilicas to mark the long walls and the façade, as is the case in the Mausoleum of Theodoric, where the upper level is punctuated by pilasters carved into the stone; similarly, large round arches were common, as dictated by ancient Roman theories. Another common feature of the early Christian sacred buildings in Ravenna and Classe is undoubtedly their orientation: numerous alignments have been found with the rising or setting of the sun on 25 March (Annunciation to Mary, Incarnation of the Lord), with a probable Easter, on the *Cathedra*of Saint Peter (22 February), with a liturgically and historically important feast for the Christian Church such as the Transfiguration (Sant'Apollinare in Classe) and others (Tab. 1).

Three early Christian sacred buildings are discussed in this paper in depth (the Basilica of Sant'Apollinare in Classe, the Mausoleum of Galla Placidia with the Church of Santa Croce, and the Arian Baptistery with its Cathedral). In a forthcoming publication, the complete work will be published with the drawings of the GPS surveys, the results, and the interpretations.

5. Basilica of Sant'Apollinare in Classe

Romano reports an exception to the equinoctial and solstitial alignments: the case of Sant'Apollinare in Classe, a basilica built at the beginning of the 6th century. The azimuth detected by the astronomer is 66.4° and the days to the sunrise are 8 August and 6 May (Romano, 1995). With this data, he hypothesizes that the church was oriented to the sunrise on 23 July, the feast of Saint Apollinaris. But this hypothesis is unlikely because, between 23 July (real azimuth 60.5°) and 8 August (real azimuth 65.2°), there are 16 days corresponding to an angular difference of about 5°, an angle that is equal to about ten solar disks seen on the horizon. This would mean that the church's alignment was traced by moving ten solar disks. Furthermore, the angular error of 5° translated into linear measurement corresponds to 5 meters for this sacred building, which is 57 meters long: it is unrealistic to think that a builder would have made a mistake of such a magnitude. It should be noted that the Basilica is located in the open countryside to the south of Ravenna and at that time the building setting in Classe was of a modest standard, a reflection of the conditions of its inhabitants (Manzelli, 2000, p. 238); there was no visual obstacle on the horizon in the direction of the apse and the mountains are distant in the direction of the façade, therefore the builder was free to choose the place where to trace the foundations. Instead, from the georeferenced topographic survey of the Basilica, an azimuth of 65°14' in the direction of the façade-apse is obtained with a declination of 16°59' on the local horizon which for the 6th century, according to the Julian calendar, corresponds to the days of 7 May and 5 August, approximately the same as those obtained by Romano (Fig. 1a). Even if some days of tolerance are acceptable, the difference lies in the interpretation. With this data and the information on the history of the Basilica, the author can put forward a plausible theory: 6 August corresponds to the ancient feast of the Transfiguration (*Transfiguratio Domini*), a concept

emphasized in the apse by the majestic mosaic representing the Transfiguration of Christ (Bendazzi & Ricci, 1992, p. 213). The apse was already covered with mosaics at the time of the solemn consecration of the Basilica by Bishop Maximian (546-556) which took place on 9 May 549 with the translation of the body of the saint and martyr Apollinaris (Mazzotti, 2017, pp. 46-47, 78, 176, 273). 9 May was likely chosen for the translation, as on that day the rising sun, returned to the same place on the horizon, and was aligned with the church.

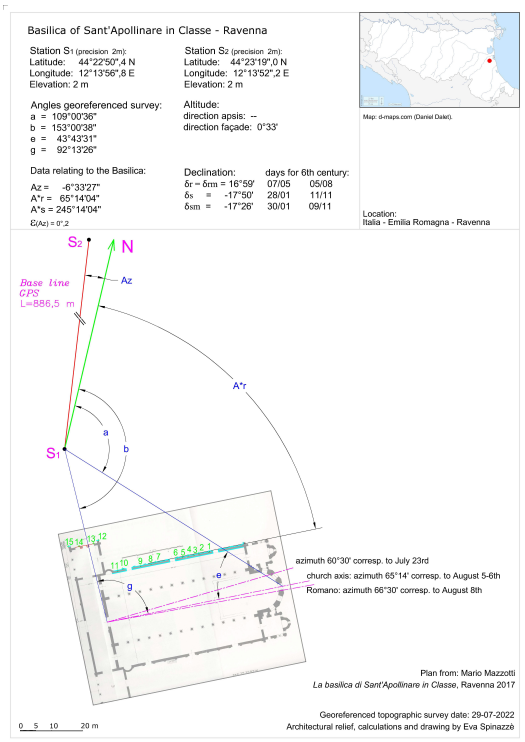
The Basilica mentioned in Agnellus' *Liber Pontificalis* was promoted by Bishop Ursicinus (533-536), financed and built by Giulianus Argentarius (Agnellus, 1708, vol. II, pp. 5, 68, 89, 94-95; Mazzotti, 2017, pp. 46-47) who dedicated it to Saint Apollinaris (Bendazzi & Ricci, 1992, p. 208).

The feast of the Transfiguration of Christ dates back for the East to the 4th century, when Empress Helena, mother of Constantine, built a church dedicated to the Transfiguration on Mount Tabor in Galilee in the same place (Bugeja, 1875, p. 48). For the West, the origin of the feast remains uncertain, but it is already celebrated in a hymn by Saint Ambrosius (4th century) named *In Transfiguratione Domini*: "O nata lux de lumine, Iesu, redemptor saeculi... Prae sole vultu flammeus, ut nix amictu candidus, in monte dignis testibus tu paruisti conditor". An ancient custom of the early Christians was to accompany sacred ceremonies with the singing of hymns, and this is how the Feast of the Transfiguration came into liturgical use. Furthermore, in Ravenna the oriental element was predominant, first with the merchants and then with the exarchal government (Mazzotti, 2017, p. 74), a good example of which are the apses with a polygonal external profile, as well as in the relationship with Milan, the previous capital of the Roman Empire. This leads us to believe that the feast of the Transfiguration of Christ (Mark 9:2-9; Matthew 17:1-9; Luke 9:28-36; Peter 1:16-17) arrived early in Ravenna and that the alignment of the Basilica with the sunrise on 6 August was deliberately chosen and underlined by the light and by the message depicted in the apse.

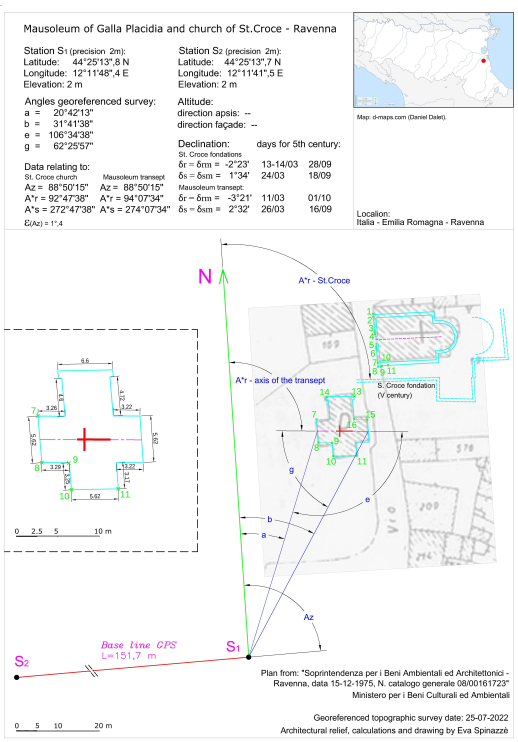
6. Mausoleum of Galla Placidia with the Church of Santa Croce

This Mausoleum is the burial place intended for Galla Placidia, sister of Emperor Honorius, built in the second quarter of the 5th century, shortly after the construction of the nearby Church of Santa Croce, erected between 417 and 421 (Gerola, 1936, p. 246; Cirelli, 2008, p. 254). Built in brick with an irregular cross plan, the lantern tower rises at the intersection of the two arms, enclosing the dome which is not visible from the outside. The interior is entirely in mosaic. Upon entering the mausoleum, the believer or visitor is struck by the starry mosaic vault: in the centre, there is a golden cross on a blue background surrounded by hundreds of stars, also golden. This large Latin cross is illuminated when the entrance door is opened and by the light that passes through the narrow openings. The cross, symbol of the Redeemer, underlines the alignment of the axis of the transept: Christ, with his head to the West, looks to the East, towards the Resurrection.

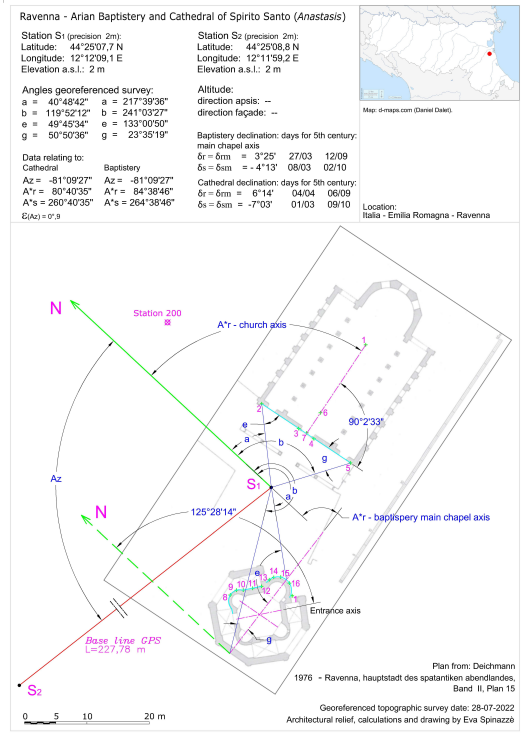
Some assume that the chapel was first dedicated to Saints Nazaro and Celso and that it was later dedicated to San Lorenzo, although the lunette at the back of the short arm of the building is splendidly decorated with mosaics, probably depicting the latter saint (Deichmann, 1974, p. 63). The hypothesis that the first building was dedicated to the Saints Nazaro and Celso is strengthened by Galla Placidia's inspiration also considering the Church of San Nazaro in Milan (*Basilica Apostolorum*, 4th century) with its cross-plan built by Saint Ambrosius; but also, the Church of San Simpliciano in Milan (*Basilica Virginum*, 4th century), which has a Latin cross-plan, influenced Galla Placidia's choice of this type of plan. It was Saint Ambrosius who promoted the cruciform plan in the second half of the 4th century. His poem, which can be seen in an inscription (now restored) near the apse of the *Basilica Apostolorum,*



(a) Basilica of Sant'Apollinare in Classe, Ravenna, first half of the 6th century.



(b) Mausoleum of Galla Placidia with the Church of Santa Croce, Ravenna, beginning of the 5th century.



(c) Arian Baptistery with its Cathedral erected by King Theodoric, Ravenna, end of the 5th century/beginning of the 6th century.

Fig. 1: Drawings of the georeferenced topographic surveys carried out in July 2022 with the results of the calculations. Theodolite Geodimeter, System 500. Garmin GPSmap 62 (in 2022). Architectural relieves, calculations, and drawings made by the author.

relates the plan of the building to the shape of the Cross of Christ: “Forma crucis templum est, templum victoria Christi, sacra triumphalis signat imago locum”.

The Mausoleum, with an azimuth of 94°07’ – 274°07’ along the transept axis, is oriented towards the setting of the sun on the day of the Annunciation to Mary, the Incarnation of the Lord, celebrated as early as the 4th century on 25 March (Fig. 1b). In ancient times, the 25 March symbolically represented not only the Resurrection, the rebirth but also the Passion of Christ. These are two moments in a life that come one after the other: To be reborn, one must die as the sun sets. At the beginning of Christianity, the planimetric form was evolving, and the Latin cross appeared with the transept slightly inclined according to the axis of the apse which could symbolically represent the crucifixion of Christ with his head inclined on the cross. This iconography was resumed in later centuries with the planimetric solution of the inclination of the apse in relation to the central nave. This shape, which the author has found several times in Christian sacred buildings, incorporates an orientation to the day of Easter, symbolizing the Passion of Christ with the setting sun and the rebirth with the rising sun. It is precisely this concept that is conveyed in the Mausoleum, with the alignment of the axis of the transept and the golden Latin cross mosaic inside the dome, which had an orientation with the setting of the sun around the day of the Incarnation of Christ, 25 March; also in the nearby Church of Santa Croce, built by Galla Placidia when the Empress resided in Ravenna (Cirelli, 2008, p. 204), the shape of the cross is emphasized, both, through the name of the church itself and its plan.

In the *Life* of Bishop Johannis the XX of Ravenna, the protohistorian Andreas Agnellus presents a tradition according to which the Empress Galla Placidia constructed the Church of Santa Croce and adorned it with precious stones and sculpted stucco (Agnellus, 1708, vol. I, pp. 284-286; Deichmann, 1974, p. 51-59). The original part of the church can still be seen today in the north and south walls of the sacred building. The church had a narthex that connected it to the Mausoleum. Then, in the Romanesque period, the apse was transformed from rectangular to semicircular (Gerola, 1912, pp. 211-213). In the late 14th century, some major modifications were made: demolition of the transept (the north and south arms) and shortening of the presbytery area and the apse. In the late 16th century, the narthex was demolished and the church was shortened on the west side of the façade to create a small street that still runs between the church and the Mausoleum.

The cross is a sign of victory, and a church with a cruciform plan serves to emphasize the triumph of Christ. In ancient times, the 25 of March was considered the Death and Incarnation of Jesus Christ. According to an ancient tradition, "it is believed that (Christ) was conceived on 25 March, the day on which he also suffered the Passion" (*Octavo enim Kalendas Apriles conceptus creditur quo et passus*), as St. Augustine states in his work *Trinity*, IV.5.9. The cross is a prominent symbol of the triumph over death. The ancient foundations on the south side of the church were topographically surveyed and the GPS survey gave an azimuth of 92°02’ in the direction of the façade-apse and 272°02’ in the direction of the apse-façade. The declination for sunset is 1°03’ which corresponds to the sunset around the vigil of 25 March and when the sun returned to the same point on the horizon on 20 September. Despite an alignment on the day of the *Incarnatione Domini* the church and the mausoleum display an “Easter orientation”: around the presumed years of construction of the church, the sunset on Easter Eve, aligned with the axis of the church in the year 414 (22 March, Easter); and for the Mausoleum the sunset on Easter Eve aligned with its transept in the year 422 (26 March, Easter). The alignments lead to these dates and, when considered in conjunction with the two sacred buildings, a plausible theory can be formulated, according to which this orientation conveys the meaning of the Passion and Resurrection of Christ. The moment of sunset can be seen as a commemoration of the Passion of Christ, as Saint Augustine points out in his work *Trinity*, IV.6.10: Christ was buried when it was already evening, that is, at the end of the day. Saint

Ambrosius also wrote a hymn in honour of *De sancta Cruce*, which extols the wonderful sign of the cross and Christ, the focal point of this sacred emblem: “Tu, Christe, rex piissime, huius crucis signaculo”.

7. Arian Baptistery with its Cathedral erected by Theodoric

The Basilica of the Holy Spirit was built by King Theodoric (493-526) at the end of the 5th or beginning of the 6th century, to give his people a sacred building of the Arian faith, dedicating it to the Resurrection: *Anastasis Gothorum* (Deichmann, 1974, p. 245). *Anastasis* emphasizes the celebration of the Easter Resurrection, from which both the Arian Cathedral and the Catholic Ursiana Cathedral derive their names (Deichmann, 1974, p. 245; Gerola, 1936, p. 246; Agnellus, 1708, vol. II, pp. 122-124, 131, app. p. 35). The georeferenced topographic survey carried out on the church gives an azimuth of 80°40’ for its axis, corresponding to a declination of 6°14’ for the sunrise on the local horizon on 4 April and 6 September. The church incorporates a probable Easter orientation with the sunrise (around 4 April) and the feast of the Nativity of Mary on 8 September. Sources suggest that it was built in the early years of King Theodoric’s reign in Ravenna (Deichmann, 1974, p. 245): at that time, the probable years in which Easter fell around 4 April were 497 (6 April) and 500 (2 April). A stone’s throw from the church is the Arian Baptistery dedicated to Saint John the Baptist, built together with the church and mentioned by Agnellus in the *Life* of Bishop Agnellus (556-570) (Agnellus, 1708, vol. II, pp. 122-123). The Arian Baptistery has a central, octagonal plan with four protruding niches, including a larger one facing northeast, built entirely in bricks. Inside, the dome is covered with mosaics depicting John the Baptist baptizing Christ

Early Christian building church (c); baptistery (b); Place: Ravenna, Italy Date of construction	**Geogr. coord. Station 1 Lat. N. Long. E.**	**Geogr. coord. Station 2 Lat. N. Long. E.**	**Azimuth true rising setting**	**Decl. on a.h. rising setting**	**Uncer. of az <**	**Days corresp. to foundation age rising setting**	**Horizon Altitude rising setting**	**Decl. on l.h. rising setting**	**Days corresp. to foundation age rising setting**	**Link with the history of the sacred building of the centuriation interpretation**
Cathedra Ursiana	44°24'53",4	44°24'59",2	126°03'04"	-25°18'		---	---	-25°18'	---	
the end 4th, beginning 5th century	12°11'49",8	12°11'55",7	306°03'04"	24°24'	0°,9	summer solstice	---	24°24'	summer solstice	summer solstice
Baptistery of Neon	44°24'53",4	44°24'59",2	76°25'42"	9°14'		13 April, 29 August	---	9°14'	13 April, 29 August	Probable Easter
beginning 5th century	12°11'49",8	12°11'55",7	256°25'42"	-10°03'	0°,9	21 Feb., 19 October	0°21'	-9°48'	22 Feb., 18 October	*Cathedra Petri*, 22 February
Chapel of St. Andrew	44°24'53",4	44°24'59",2	37°51'54"	33°50'		*Crux Maior*	---	33°50'	*Crux Maior*	*Crux Maior* of the constellation Cygnus
5th century	12°11'49",8	12°11'55",7	217°51'54"	-34°49'	0°,9	---	0°41'	-34°14'	---	
Church of St. Andrew	44°24'55",6	44°24'59",5	37°49'34"	33°51'		*Crux Maior*	---	33°51'	*Crux Maior*	*Crux Maior* of the constellation Cygnus
5th century - foundation south wall	12°11'38",1	12°11'31",4	217°49'34"	-34°50'	1°,2	---	0°41'	-34°15'	---	
Church of St. Crux	44°25'14",2	44°25'15",7	92°02'15"	-1°51'		16 March, 27 Sep.	---	-1°51'	16 March, 27 Sep.	
5th century	12°11'49",9	12°11'49",9	272°02'15"	1°02'	1°,2	23 March, 20 Sep.	---	1°02'	23 March, 20 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
Mausoleum of Galla Placidia	44°25'13",8	44°25'13",7	92°47'38"	-2°23'		14 March, 28 Sep.	---	-2°23'	14 March, 28 Sep.	
apsis wall - 5th century	12°11'48",4	12°11'41",5	272°47'38"	1°34'	1°,2	24 March, 18 Sep.	---	1°34'	24 March, 18 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
Mausoleum of Galla Placidia	44°25'13",8	44°25'13",7	94°07'34"	-3°21'		11 March, 1 Oct.	---	-3°21'	11 March, 1 Oct.	
transept axis -5th century	12°11'48",4	12°11'41",5	274°07'34"	2°32'	1°,2	26 March, 16 Sep.	---	2°32'	26 March, 16 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
Church of St. Giovanni Evangelista	44°25'07",1	44°25'14",6	86°09'01"	2°20'		25 March, 17 Sep.	---	2°20'	25 March, 17 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
5th century	12°12'22",5	12°12'22",0	266°09'01"	-3°09'	0°,9	12 March, 30 Sep.	---	-3°09'	12 March, 30 Sep.	
Basilica of St. Francesco (Pietro)	44°24'56",7	44°25'03",9	75°08'41"	10°08'		16 April, 27 August	---	10°08'	16 April, 27 August	Probable Easter
5th century	12°12'00",4	12°11'56",7	255°08'41"	-10°57'	0°,9	19 Feb., 21 October	0°20'	-10°43'	20 Feb., 20 October	*Cathedra Petri*, 22 February
Church of Spirito Santo	44°25'07",7	44°25'08",8	80°40'35"	6°14'		4 April, 6 Sep.	---	6°14'	4 April, 6 Sep.	Probable Easter: 6/4/497, 2/4/500
5th century	12°12'09",1	12°11'59",2	260°40'35"	-7°03'	0°,9	1 March, 9 October	---	-7°03'	1 March, 9 October	*Nativitate Mariae Virginis*, 8 September
Arian Baptistery	44°25'07",7	44°25'08",8	125°28'14"	-25°55'		---	---	-25°55'	---	
nord east wall - 5th century	12°12'09",1	12°11'59",2	305°28'14"	24°02'	0°,9	summer solstice	---	24°02'	summer solstice	summer solstice
Arian Baptistery	44°25'07",7	44°25'08",8	84°38'46"	3°25'		27 March, 12 Sep.	---	3°25'	27 March, 12 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
chapel axis - 5th century	12°12'09",1	12°11'59",2	264°38'46"	-4°13'	0°,9	8 March, 2 October	---	-4°13'	8 March, 2 October	
Mausoleum of Theodoric	44°25'29",2	44°25'41",6	84°26'58"	3°36'		28 March, 12 Sep.	---	3°36'	28 March, 12 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
5th century	12°12'32",6	12°12'26",3	264°26'58"	-4°25'	0°,5	8 March, 2 October	---	-4°25'	8 March, 2 October	
Basilica of St. Apollinare Nuovo	44°24'59",9	44°24'44",8	76°29'19"	9°11'		12 April, 29 August	---	9°11'	12 April, 29 August	Probable Easter
Domini Nostri Jesu Christi, 6th century	12°12'15",5	12°12'22",6	256°29'19"	-10°01'	0°,4	21 Feb., 19 October	0°21'	-9°48'	22 Feb., 18 October	*Cathedra Petri*, 22 February
Basilica of St. Apollinare in Classe	44°22'50",4	44°23'19",0	65°14'04"	16°59'		7 May, 5 August	---	16°59'	7 May, 5 August	*Transfiguratio Domini*, 6 August
6th century	12°13'56",8	12°13'52",2	245°14'04"	-17°50'	0°,2	28 Jan., 11 Nov.	0°33'	-17°26'	30 Jan., 9 Nov.	*Purificatio Mariae Virginis*, 2 February
Basilica of St. Vitale	44°25'13",8	44°25'13",7	132°45'34"	-28°42'		Midsummer lunistice	---	-28°42'	Midsummer lunistice	M. Midsummer L.: 19/6/536, 20/6/555
6th century	12°11'48",4	12°11'41",5	312°45'34"	29°18'	1°,4	Midwinter lunistice	---	29°18'	Midwinter lunistice	M. Midwinter L.: 25/12/535, 24/12/554
Church of St. Maria Maggiore	44°25'13",8	44°25'13",7	116°38'08"	-19°06'		23 Jan., 15 Nov.	---	-19°06'	23 Jan., 15 Nov.	*Sancta Maria ad Martyres*, 13 May
6th century	12°11'48",4	12°11'41",5	296°38'08"	18°14'	1°,4	1 August, 11 May	---	18°14'	1 August, 11 May	*Sancta Maria ad Nives*, 5 August
Church of St. Agata Maggiore	44°24'50",1	44°24'43",5	81°20'17"	5°46'		3 April, 7 Sep.	---	5°46'	3 April, 7 Sep.	Probable Easter
ancient north wall - 5th century	12°12'03",8	12°12'05",3	261°20'17"	-6°35'	0°,9	2 March, 8 October	---	-6°35'	2 March, 8 October	*Nativitate Mariae Virginis*, 8 September
Church of St. Giovanni Battista	44°25'14",4	44°25'18",1	88°01'20"	1°01'		22 March, 19 Sep.	---	1°01'	23 March, 19 Sep.	*Incarnatione Domini*, 25 March
5th-6th century	12°12'02",5	12°12'02",2	268°01'20"	-1°49'	1°,8	14 March, 26 Sep.	---	-1°49'	15 March, 26 Sep.	*Conceptio Sci Iohannis baptiste*, 24 Sep.
Church of St. Salvatore a Calchi	44°24'58",1	44°24'47",7	74°42'19"	10°26'		15 April, 25 August	---	10°26'	15 April, 25 August	Probable Easter
foundation - 6th century	12°12'15",9	12°12'22",1	254°42'19"	-11°16'	0°,6	18 Feb., 21 October	0°47'	-10°42'	20 Feb., 19 October	*Cathedra Petri*, 22 February
Church of St. Giovanni e Paolo	44°25'06",3	44°24'58",4	125°22'21"	-24°52'		---	---	-24°52'	---	feast martyrs John and Paul, 26 June
6th century	12°11'37",8	12°11'53",1	305°22'21"	23°58'	0°,5	summer solstice	---	23°58'	summer solstice	summer solstice
Roman *centuriation* - approx. *cardo*	44°24'49"7	44°25'08"0	36°07'							
36°07' (cardo) + 90° = *decumanus*	12°11'33"1	12°11'51"8	126°07'	-25°20'			---	-25°20'		
decumanus			306°07'	24°27'		approx. summer sol.	---	24°27'	approx. summer sol.	summer solstice
1st century BC - 1st century AC	Porta Aurea	Ponte Augusto	few evidence of the ancient Roman *centuriation*							

Tab. 1: GPS survey Data, results and interpretations of the analyzed early Christian sacred buildings in Ravenna. (Abbreviations: ah/lh=astronomical/local horizon; Decl=declination; M Midsummer/Midwinter L=Major Midsummer/Midwinter Lunistice; Uncer=Uncertainty of the azimuth).

in the Jordan. The Arian Baptistery has many architectural and decorative similarities with the Orthodox Baptistery, which was built a century earlier. It is smaller and currently less decorated than the Orthodox one with an orientation of the axis passing through the large apse at sunrise on 25 March, with an azimuth of 84°38' and a declination of 2°25' on the local horizon (Fig. 1c). This apse (azimuth 84°38) has the same orientation as the axis of the Mausoleum of Theodoric (azimuth 84°27'), with only a difference of a few minutes between the two horizontal angles and on a free horizon, which does not affect the calculations. Both sacred buildings built at the behest of the Ostrogoth king are oriented to the day of the Incarnation of the Divine Word.

8. Conclusion

Scholars of the last century have tried to explain the divergences in the orientation of early Christian and medieval churches by considering them anomalies and construction errors. This is because they have tried to find the orientations of pagan structures, mainly aligned with the equinoxes and solstices. An exception is represented by Giuseppe Gerola who, a century ago, examined all the Christian sacred buildings of the early Christian Age in Ravenna and the surrounding area to understand their orientation. He used the compass to determine the azimuth. The azimuth data alone did not allow him to obtain satisfactory results and to connect the measured azimuth with any of his orientation criteria.

In the present research, the author has examined the sacred buildings in Ravenna studied by Gerola, carrying out for each one an accurate georeferenced topographic survey in July and August 2022 (Tab. 1). The author's results have established a relationship between the building and the orientation criterion that is reflected in some of the considerations formulated by Giuseppe Gerola (orientation to the sunrise on the day of the feast of the titular saint; to the sunrise on a day of particular importance for the founder; to the sunrise on the foundation of the church), and she was able to confirm the validity of the Superintendent's intuition, expressed a century ago in his fundamental work *L'orientazione delle chiese di Ravenna antica* (1936). This research has consolidated the hypothesis on the orientation of Christian sacred buildings by going back to the origins of Christianity and has succeeded in confirming Gerola's relevant intuition with a scientific approach.

Acknowledgment

The author thanks the following authorities: *Archdiocese of Ravenna-Cervia*; *Italian Ministry of Culture*; *Ravenna National Museum* for their authorization to carry out measurements in the ancient sites in July and August 2022. This component forms part of the post-doctoral project selected by the Swiss National Science Foundation (TMPFP1_217184) in July 2023.

Bibliography

Agnellus Ravennatis (1708). *Liber pontificalis, sive Vitæ Pontificum Ravennatum. D. Benedictus Bacchinius Abbas S. Mariæ de Lacroma o. s. b. Congregationis Casinensis ex Bibliotheca Estensi eruit, dissertationibus, & observationibus, nec non Appendice monumentorum illustravit*, Mutinæ: typis Antonii Capponii impressoris episcopalis.

Bendazzi, W. & Ricci. R. (1992). *Ravenna, mosaici arte storia archeologia monumenti musei*. Ravenna: Edizioni Sirri.

Bugeja, G. (1875). *Storia critica sulla vita di S. Elena Imperatrice*. Malta: Tipografia del Corriere Strada Forni no. 87.

Cirillo, E. (2008). *Ravenna: archeologia di una città*. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Deichmann, F.W. (1965). "Ravenna", in *Enciclopedia dell'Arte Antica, Classica e Orientale,* vol. 6. Roma: Treccani, pp. 609-641.

Deichmann, F.W. (1974). *Ravenna, Hauptstadt des spaetantiken Abendlandes*, vol. 1, Kommentar. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.

Gerola, G. (1912). "Mausoleo detto di Galla Placida", *Felix Ravenna*, 5, pp. 211-213.

Gerola, G. (1936). "L'orientazione delle chiese di Ravenna antica", *Rivista del R. Istituto d'Archeologia e Storia dell'Arte*, pp. 242-266, plants.

Lanzoni, F. (1927). *Le Diocesi d'Italia, dalle origini al principio del secolo VII (An. 604), La Regione VIII*. Faenza: Stabilimento Grafico F. Lega.

Manzelli, V. (2000), *Ravenna*. ATTA VIII supplemento. Roma: «L'Erma» di Bretschneider.

Mazzotti, M. (2017). *La Basilica di Sant'Apollinare in Classe.* Ravenna: Libreria Antiquaria Tonini.

Piazza, V. (2020). *Il Mausoleo di Teodorico*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Romano, G. (1995). *Orientamenti ad Sidera*. Ravenna: Edizioni Essegi.

Spinazzè, E. (2010). "Luce ed Orientazione delle chiese monastiche medioevali nel Veneto", *Benedictina*, gennaio-giugno, pp. 91-102 (summary of the 2nd Magister Thesis 2007/2008).

Spinazzè, E. (2015). *La luce nell'architettura sacra del X-XII secolo dalla Romandie alla Toscana: testimonianze sull'influsso dell'osservazione del Cielo nell'orientazione degli edifici*. Dissertation (PhD) 2013/2014 open-access. Published on paper (2016). Frankfurt am Main: Beiheft zur Mediaevistik, Peter Lang Verlag.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_38, pp. 325–332
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-38

The celestial Weigel Globe in the Stibbert Museum: restoration and valorisation

Anna Giatti[1], Daniele Angellotto[2], Veronica Collina[3] and Simona Di Marco[4]

[1]Indipendent conservator, Florence, anna.giatti@gmail.com.
[2]Indipendent conservator, Florence, daniele.angellotto@gmail.com.
[3]Indipendent conservator, Florence, veronica.collina@gmail.com.
[4]Museo Stibbert, Florence, s.dimarco@museostibbert.it.

Abstract: Erhard Weigel (1625-1699) was professor of mathematics at the University of Jena from 1653 until his death. As a convinced and passionate educator, he conceived several instruments for the popularization of astronomy including celestial globes, produced in several copies. These copper globes presented some innovative features such as a new series of figures, used to represent the constellations: instead of traditional ones, Weigel used heraldic figures, symbols of corporations, cities and European countries. Today of the eighteen globes still existing, one is preserved at the Stibbert Museum in Florence, purchased in the late nineteenth century by Frederick Stibbert (1838-1906) important collector of antiques, artworks and arms and armor from various eras and origins. Preserved probably without comprehend its meaning, the globe shows signs of many improper repairs and was mounted in a way that did not allow it to be properly understood. Thanks to a funding from association YOCOCU (Youth in Conservation of Cultural Heritage) a conservation treatment was undertaken. The presentation will outline crucial aspects of the restoration and strategies now possible for more effective enhancement.

Keywords: Celestial Globe, Erhard Weigel, Restoration Treatment

1. Introduction

When in 1888 Frederick Stibbert (1838-1906) (Fig. 1) made one of his many purchases in London to increase his collection of precious artefacts, it is possible that neither he nor the seller, was fully aware of the object that was changing hands. Today we can say that it was the Celestial Globe designed by Erhard Weigel (1625-1699), which has come down to us and is now preserved in the rooms of the Stibbert Museum[1] . The Globe, dated 1699, is composed by an embossed copper sphere with brass armillae and was nevertheless appreciated as a metal artefact and an example of applied arts, in line with Stibbert's interests.

The restoration project has been the occasion to increase the knowledge about the object, its materials, its history and the author. The various phases of the restoration treatment were very complex, due to the state of conservation of the constitutive materials and the need to understand the system of armillae around the sphere, which was seriously damaged and no more functioning.

The return of the globe to the Museum's rooms will be one more opportunity to appreciate the legacy of the cultured, eclectic and wealthy Anglo-Florentine Frederick Stibbert.

[1] The Stibbert Museum houses the collection of works collected and arranged by Stibbert in the rooms of his house-museum. Famous above all for its armoury, the museum also includes rich collections belonging to different fields with a large picture gallery and handicrafts (Museo Stibbert, 2011; Di Marco, 2008).

(a) (b)

Fig. 1: (a) Frederick Stibbert (the gentleman with the top hat on the steps on the right of the picture) at the Florence hippodrome. (Courtesy of Fondazione Alinari per la Fotografia) (b) Letterhead of one of Willson's bills to Stibbert (Stibbert Archive).

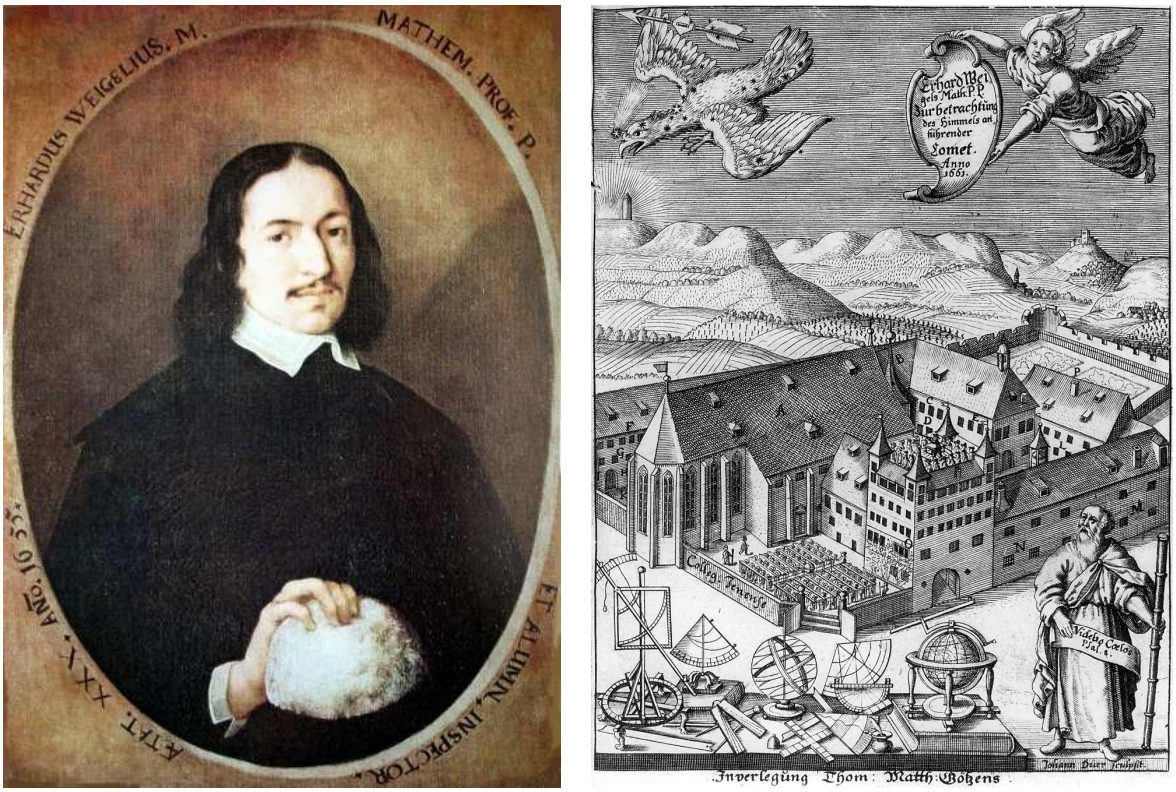
2. Erhard Weigel (1625 – 1699)

Weigel (Fig. 2a) was a German astronomer, mathematician and philosopher who, after a brilliant career as a student in Halle and Leipzig, joined the University of Jena as a lecturer in mathematics, where he became also rector. Passionate educator, he shared his teachings on astronomy not only with his students but also with the general public. He was a religious man convinced that the glory of God is reflected in the heavens and is therefore also served through knowledge and appreciation of the cosmos.

In the 17th century, astronomy in Jena was built on an important tradition of studies and observations of the heavens, and in 1596 a small observatory had been established there by Georg Limnaeus (1554-1611). Although astronomy did not exist as a teaching subject, many of the University's mathematics lecturers included it among their subjects, in a well-developed scientific environment that welcomed Weigel in 1652 when he took up his residence there (Schielicke, 2008, pp. 13-27). The scholar had important teachers and opportunities during his education that allowed him to come into contact with astronomical instrumentation and to conduct measurements and observations.

Although no longer flourishing as in the past, Jena had a commercial vitality, with the presence of many workshops of craftsmen, engravers and printers. These opportunities must have played a certain role coupled with the ingenuity of Weigel, who was prodigal with inventions and capable of even daring ventures. His house, for example, had become an attraction because it housed a number of innovations that he had conceived and that were realised by artisans with whom he collaborated. The availability of skilled craftsmen must have even allowed him to set up a workshop dedicated to the construction of scientific instruments. The existence of this workshop is reported in some deeds and texts testifying the presence of premises dedicated to it within the Collegium Jenense, site of the city's University (Herbst, 2004). The activity of a collaborative enterprise linked to Weigel's reputation could also justify the recurrence of the year 1699, the year of Weigel's death, mentioned in the cartouches on all dated globes known today (Hamel, 2016). The manufacture of the celestial globe itself, to which we will return later, could testify a production that, if it is daring to call it "serial", was organised on common and repeated basic elements. Weigel also devoted his efforts to the construction of large globes, large enough to accommodate several people inside, forerunners of modern planetariums and equipped with devices to simulate movements and meteorological and seismic phenomena. Placed in the open air and in elevated positions, these devices reflected Weigel's desire to popularise astronomy, and his intentions to make the

stars and their positions known to a wide public, and let people admire the cosmos where the glory of God was reflected. The first built was on the roof of Jena Castle in 1661, but his Pancosmus, described in 1688, is certainly the most famous (Schielicke, 2008, pp. 29-52).



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) Portrait of E. Weigel (public domain, source Wikimedia Commons) (b)The Collegium Jenense on a copperplate engraving by Johann Dürr in Weigel's publication (1661) (public domain, source Wikimedia Commons).

Erhard Weigel achieved fame and notoriety[2], a reputation that also allowed him to exert a certain influence in the process of accepting the calendar reform introduced by Pope Gregory XIII, a reform that in Protestant countries was still met with strong resistance for theological reasons.

3. Celestial globe description

The first important characteristic of the globe is the use of metal: the sphere is made of copper, while the armillae surrounding it, bearing the reproduction of the astronomical reference system, are made of brass. Weigel deliberately chose materials that he considered to be particularly durable, more than the paper widely used to produce globes at the time. He considered these to be particularly perishable and, due to the organic glues used to adhere the gores to the structure, too prone to attack by pests such as rodents (Hamel, 2010, pp. 49-50). Close examination has allowed us to hypothesise that the copper leaf was worked to form the two hemispheres on which the figures representing the constellations were embossed. Constellation designs recur in the various globes known today with similar appearance, and this could signify also a use of matrices or hallmarks. It has been observed that the position of certain figures varies for some globes. The figures chosen for the representation of the constellations were not the traditional or mythological ones but a completely new system was imagined by Weigel, based mainly

[2] In Jena there is also a society dedicated to Weigel www.erhard-weigel-gesellschaft.de (accessed November 2024).

on the heraldry of the ruling houses, with also symbols referring to cities, states and guilds. This new symbolism, which corresponds on the globe to striking polychrome figures, is the most famous feature among the innovations introduced by Weigel, and is common to all globes known today. It was in 1686 that Weigel first published this reinterpretation of the heavens, so it is believed that all globes are dated after this date. The figures that characterise the traditional constellations, sometimes present, are not in relief and are practically monochrome.

The junction point of the two hemispheres is along the ecliptic and in the Florentine globe the union is made by simple screws with which the juxtaposed flaps are fixed. The features observed suggest a later reinforcement intervention, but one that does not seem to have altered the original structure. The disassembly of the component during the conservation treatment, allowed the observation of the interior of the globe where large blackened areas and a series of small fractures in the copper were noted in correspondence with the embossing of the figures (Fig. 4a). These two features must be related to another peculiarity of Weigel's globes: the Florentine globe, like almost all known globes in general, has four holes in the southern hemisphere about two centimeters in diameter. These holes were used to look inside the globe, which appeared as a starry sky thanks to other holes: those of a much smaller diameter drilled at the brightest stars and through which external light filtered. This contrivance allowed an observation of the sky from the same point of view as on Earth, in opposition to the usual representation of the starry vault as if the observer was located outside the heavens. This use, devised by Weigel in line with his educational aims and his work as a populariser, explains the internal blackening, which could otherwise have depended on the known use of pitch during the beating and chiseling processes. Undesirable, on the other hand, must have been the fractures in the most fragile points of the embossed design, because they allowed unwanted light to filter through. If for the system of holes this use seems to us the most convincing, it cannot be ruled out that in time the opposite use was also made: by bringing a candle closer to the larger holes, the light penetrating through the smaller holes (this time from the inside outwards) brings out the stars in the eyes of the observer (Dekker, 1999).

While on globes made of glued paper gores, the design of the ecliptic, celestial equator and coluri is shown directly on the surface, in this case the references for celestial coordinates are plotted on some brass circles surrounding the sphere and connected to each other. Not all known Weigel's globes are still equipped with this system of armillae, which the Florentine globe has retained even though it is partly damaged and heavily reworked, as we shall see later when discussing the restoration work. The armillae system also has a device that takes into account the phenomenon of the precession of the equinoxes (Fig. 4b) and allows for the correct positioning of the instrument over time. A precaution that may have been excessive given the time scale of the phenomenon, but which was considered particularly important by Weigel because it made the instrument "perpetuus", as the cartouche on the globe states[3] The Stibbert Museum globe, however, does not include another feature introduced by Weigel: the "Astrodictum". This element was intended to facilitate the location of the stars. It can be seen mounted on the globe depicted on the frontispiece of one of his publications (Fig. 2b) and is present, though in a different form, on only one globe, the one preserved in Kassel at the Cabinet of Astronomy and Physics. Other instruments besides the celestial globe are also depicted on the same frontispiece. We do not know, however, whether Weigel actually made them and in any case none seem to have been preserved today.

Many of the eighteen Weigel globes have holdings that are most likely not original, and this is also the case for the Florentine globe. On a twisted column resting on the ground, probably dating from a period between the late 19th and early 20th century, a fork, presumably contemporary to the column, is fixed to support the globe with the armillae. Prior to the restoration, the globe was leaning on this fork with

[3] The whole text of the cartouche is: "Erhard Weigelii Cons. Caes. Et Pal. Honorar. Globus Coelestis corr. Et perpetuus. Jenae – 1699".

Fig. 3: The globe before the restoration treatment.

its north-south axis placed in horizontal, with the fork supporting it positioned internally with respect to the major armillae, in an evidently incorrect arrangement. The provenance from the antiquarian market and the lack of documentation after entering the collection make it impossible to date these changes, which made it impossible to use and fully appreciate the object. The documentation is also deficient in linking with certainty this globe with the one purchased by Frederick Stibbert in 1888 in London from the "curiosity dealer" Samuel Willson[4] and named in the receipt as "Curious metal globe" (*Invoice*, 1888), but knowledge of the Stibbert collection and the globe's unusual appearance with its polychrome heraldic figures justify this identification.

(a) **(b)**

Fig. 4: (a) The inside of the sphere. (b) The device to take into account the phenomenon of the precession of the equinoxes.

[4] At the time the trade was passed on to the sons www.britishmuseum.org (accessed: November 2024)

4. The restoration treatment

The precariousness of inadequate fastenings made this rare globe not only illegible, but also dangerously precarious and, overwhelmed by the museum's many valuable works, it was certainly not appreciated. The project for its restoration won the "Minor Goods" tender of Yococu APS (Youth in Conservation of Cultural Heritage), a social promotion association in the field of cultural heritage conservation. With Yococu's scientific laboratory, it was also possible to carry out various diagnostic investigations that helped identify the constituent materials and those used in maintenance, as well as the degradation products detected on the artefact. Thanks to multispectral imaging, performed before and afterwards the treatments, it was also possible to assess the effectiveness of the methods chosen for cleaning the sphere.

The most challenging part of the restoration work[5] concerned the set-up of the instrument with the reinterpretation of the armillae system and what had to be done to restore it to its correct conformation and function. As mentioned above, in fact, the fork that supported it, prevented any movement. The rotation of the sphere was also prevented by the position of the armillae, which caused unwanted contact (Fig. 3). The correct repositioning of two armillae was also prevented by past interventions that altered them with additions, reinforcements and repairs that were not always carried out properly (Fig. 5a). These interventions on the circle of the celestial equator and the ecliptic even closed the notches that allowed them to fit together at the correct angle, a sign that the interventions were made without understanding the original structure and functioning of the object. Another strong testimony in this regard comes from observing how the scales of the two armillae mentioned above have been recomposed. The succession of the numbers and the constellation sings is odd. In the Ecliptic, one of the sectors is even without a scale and another reverses the progression of the constellations of the zodiac. Thanks to the comparison with the globe preserved in Weimar, it was possible to establish that the incorrect repair was made on armillae that were originally divided in an unusual way, i.e. half on one side and half on the other side[6].

The cause of these interventions must have been the damage suffered by the globe perhaps after a disastrous fall, as is also suggested by a dent on the surface of the copper sphere, fortunately not too disfiguring nor dangerous for conservation. The desire to make the instrument comprehensible and functional again[7] and thus allow it to be enhanced, was shared by all those who formed the working group or who were consulted for their strong expertise. This made it necessary to reopen the armillae notches that had been wrongly closed and to manage the significantly changed dimensions of all the armillae, so that they could be connected and reassembled. While it was judged essential to restore the overall reading of the object and its general functioning, it was deemed appropriate, as will be easily understood, not to intervene on the unusual arrangement of the scales, both because it was the result of interventions that were not fully understood and because of the excessive invasiveness of any actions that might be necessary.

As for the sphere, the polychromy was consolidated, cleaned and protected. The colours of the background and those of the figures were well preserved, and it was very satisfying to see them re-emerge (Fig. 5b). The retouching was minimal and aimed at reducing the disturbance produced by the colour gaps, especially in certain areas.

Regarding the support of the globe, it was decided to maintain the present structure by enlarging the brass fork so that the outer meridian circle could be placed on it, statically stabilised thanks to reversible supports moulded in stereolithographic resin (Fig. 6).

---

5 For a more in-depth description of the restoration treatment see Collina *et al.*, 2024.

6 To the prof. Schielicke all our gratitude for allowing this comparison.

7 This however does not mean that it will be put into operation.

(a) **(b)**

Fig. 5: (a) The sphere during the cleaning. (b) The celestial equator as reassembled in the past.

Fig. 6: The globe after the restoration treatment.

5. Conclusions

This extremely complex intervention was only possible thanks to an enthusiastic team of work and a wide group of experts who have provided their expertise with generosity: each one of them was fundamental in their own competence on materials, interpretation, functioning of the object and methodological choices.

As always happens during a conservation treatment it is absolutely necessary to build the restoration project on a strong knowledge of the artifact and its conservation history, but also a lot of information are understood during the study and the restoration itself. We do hope more understanding and study of these objects are to come in the future years, moreover on the aspects less studied during our work.

One aspects worthy of study that could be addressed is the iconography changes proposed by Weigel and its confrontation with the traditional one. A study of this kind could be done in the future thanks to the realisation of a 3D model both of the inside and outside of the globe that will be freely accessible.

Acknowledgments

As we said above, many people contributed to this work, in particular we thank: Andrea Bernardoni, Giorgio Bonsanti, Pino Cattonar, Marcello Colapietro, Enrico Colle, Roberto Ferrari, Andrea Macchia, Mara Miniati, Marcello Oliveri, Reinhard Schielicke, Giorgio Strano e Camilla Zaratti.

Bibliography

Collina V. *et al.* (2024). "Il restauro del globo celeste di Erhard Weigel della collezione Stibbert di Firenze: uno strumento scientifico del XVII secolo in metallo dipinto", in Proceedings XXII Congresso Nazionale IGIIC, 17-19 October 2024, pp. 453-460.

Dekker, E. (1999). *Globes at Greenwich: a catalogue of the globes and armillary spheres in the National maritime museum, Greenwich*. Oxford: Oxford University press.

Di Marco, S. (2008). *Frederick Stibbert. Vita di un collezionista*. Torino: Allemandi.

Hamel, J. (2010). "Der heraldische Silberglobus von Erhard Weigel im Astronomisch-Physikalischen Kabinett Kassel", *Acta Historica Astronomiae*, 41, p. 34-64

Hamel, J. (2016). "The Heraldic Celestial Globes of Erhard Weigel. An Inventory", *Globe Studies*, 61/62, pp. 93-137.

Herbst, K. D. (2004). "Erhard Weigels mechanische Werkstatt: eine Spurensuche", in Kramer, L. *et al.* (eds.), *Jenaer Jahrbuch zur Technik und Industriegeschichte*, vol. 6. Jena: Glaux, pp. 33-40.

Kratochwill, S. (2004). "Die Himmelsgloben von Erhard Weigel", in Kramer, L. *et al.* (eds.), *Jenaer Jahrbuch zur Technik und Industriegeschichte*, vol. 6. Jena: Glaux, pp. 41-54.

Museo Stibbert (2011). *Guida alla visita del museo*. Firenze: Polistampa.

Schielicke, R. E. (2008). *Von Sonnenurhen, Sternwarten und Exoplaneten: Astronomie in Jena*. Jena: Dr. Bussert & Stadler.

Schielicke, R. E. (2010). "Erhard Weigel (1625-1699) und die Armillarsphäre für Eimmarts Observatorium in Nürnberg", in Wolfschmidt, G. (ed.), *Astronomie in Nürnberg*. Hamburg: Tredition science.

Archival sources

I*nvoice*, (1888). 22 September, Archivio Stibbert, *Patrimonio Stibbert. Foreign Bills*, 1882-1887, c. 875.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_39, pp. 333–340
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-39

Un quadrante lunare, forse cosmologico, nell'Abbazia di San Martino delle Scale

Maria Luisa Tuscano[1]

[1]Sisfa, Palermo, mltuscano@gmail.com.

Abstract: Sulla parete orientale della Chiesa abbaziale di San Martino delle Scale esistono due quadranti incisi nel muro, entrambi riconducibili a tracciati lunisolari. Uno dei due, più evidente e oggi restaurato, è stato già oggetto di una mia relazione al Convegno di Storia dell'Astronomia di Cagliari nel 1999. L'altro quadrante, inciso con un tratto sottilissimo, si manifesta appena riproponendo lo stesso schema grafico del precedente, ma inducendo a stimare finalità diverse. La parete fortemente declinante e con un orientamento insolito per una chiesa benedettina, permette un'analisi della sua sensibilità alla ricezione della luce, compatibile con la verifica di eventuali fibrillazioni del sistema Sole-Terra–Luna. Questa interpretazione è stata da me proposta in una mia recente pubblicazione, in cui considero il verso di rotazione della Terra e della Luna rispetto ai loro moti di rivoluzione, nel passaggio della superficie terrestre dalla notte al dì (e viceversa) e in specifiche condizioni di lunazione. In tali circostanze, la nutazione dell'asse terrestre risente di un minimo effetto aggiuntivo, legato a condizioni peculiari di deformazione dello spazio/tempo. Tale effetto è compatibile con la sensibilità del tracciato in questione rendendo plausibile un suo utilizzo all'interno di uno studio cosmologico.

Keywords: Astronomy, Physics, Heritage

1. L'Abbazia di San Martino delle Scale

Secondo le fonti documentarie, il Monastero di San Martino delle Scale fu fondato nel 1347 da sei monaci provenienti da Nicolosi[1] . Angelo Sinisio ne fu il primo abate mantenendo l'incarico fino alla morte. La piccola comunità crebbe in pochi anni per le numerose adesioni alla spiritualità monastica e fu sostenuta anche dalle ricche donazioni di famiglie notabili siciliane. I monaci costruirono una piccola chiesa con l'abside rivolta forse ad oriente, secondo la tradizione benedettina[2] . Nel corso del tempo la comunità, ormai numerosa e dotata di un ricco patrimonio feudale grazie ai donativi ricevuti, realizzò per gradi un complesso abbaziale con una grande chiesa, inaugurata nel 1602. La chiesa era stata già impreziosita sul finire del '500 da un coro ligneo di scuola napoletana e da un imponente organo, realizzato da Raffaele La Valle (Frangipani, 1905). Nel nuovo tempio, l'abside era, però, rivolta a settentrione e l'asse longitudinale era prossimo alla direzione meridiana, scostandosene di circa 12°. Sul suo lato orientale furono edificati due chiostri a cui si aggiunse un terzo a nord dell'abside; in questo ultimo chiostro, oggi denominato di San Benedetto, si apriva il refettorio decorato nel 1629 da Pietro Novelli con un pregevole dipinto nel soffitto, nonché l'ingresso dell'originaria biblioteca (Fig. 1).

Durante il XVIII secolo l'Abbazia di San Martino fu interessata da un ulteriore piano di ampliamento, necessario per adeguare la struttura alla numerosa comunità dei monaci, per lo più cadetti di famiglie patrizie. Le risorse non mancavano soprattutto per le ricche doti portate dai novizi (Frangipani, 1905).

[1] I monaci, guidati da Angelo Sinisio, erano stati richiesti da D. Emanuele Spinola, arcivescovo di Monreale.

[2] I documenti di questo periodo non danno riferimenti precisi, tuttavia l'analisi architettonica dell'attuale struttura induce a ipotizzare che la prima chiesa possa corrispondere al suo transetto.

Fig. 1: Il Monastero di San Martino delle Scale. Incisione di A. Bova (da Leanti 1761)

Il nuovo sviluppo architettonico avvenne nella direzione orientale, verso la Città di Palermo. Furono costruiti due nuovi chiostri e, su progetto di Venanzio Marvuglia, un sontuoso appartamento dell'Abate con un nuovo prospetto monumentale. Il raccordo tra le antiche e le recenti strutture fu ottenuto con due corridoi a crociera, di cui quello più lungo partiva dal cortile accanto alla chiesa dove nel 1782 lo scultore Ignazio Marabitti realizzò una vasca con una scultura allegorica del fiume Oreto: la sua acqua scorrendo evocava il fluire del tempo sacrale verso la Conca d'Oro (Fig. 2).

Se il '700 costituì per l'Abbazia l'acme della sua espressione spirituale e sociale, nel secolo successivo alcune vicende interne del Monastero e gli eventi politici portarono a un lento declino a cui seguì, nel 1866, l'esproprio dei beni per la soppressione degli ordini religiosi.

1.1. Gli strumenti astronomici

L'alto tenore culturale del Monastero di San Martino delle Scale fu garantito da Abati e monaci eruditi che all'Opus Dei, scandito dalle ore canoniche, affiancarono il lavoro amanuense e lo studio di testi sacri e profani anche di carattere scientifico. Nel corso dell'ampliamento della struttura abbaziale, fu allestita una nuova biblioteca con una ricca collezione libraria custodita in una pregevole scaffalatura lignea; la sua direzione fu affidata a Salvatore Maria Di Blasi, monaco colto che promosse anche la fondazione di un museo con una sezione archeologica e un'altra naturalistica[3].

La misura del tempo, diffusamente presente nella tradizione benedettina, ebbe a San Martino delle Scale delle espressioni che superarono la consueta esigenza di indicazione oraria per regolare le attività del Monastero, testimoniando una particolare attenzione per lo studio dell'Astronomia. Oltre ad alcuni orologi solari presenti sui muri perimetrali e dei chiostri, sul fianco orientale della chiesa si osservano ancor oggi le tracce di due singolari tracciati in cui si ravvisano funzioni lunari. Il campanile della chiesa

[3] Salvatore Maria Di Blasi (1719-1814), massone e fondatore degli Opuscoli di Autori siciliani, con approvazione dell'Abate D. Arezzi, a partire dal 1741 allestì in solo quattro anni il Museo Martiniano che ebbe risonanza internazionale. Le collezioni archeologiche, d'Arte e di Storia naturale erano esposte in sette stanze, ma nel 1873 esse furono trasferite nel Museo archeologico di Palermo.

Fig. 2: Convent of San Martin near Palermo. William J. Leich – J. Stepherson. 1841

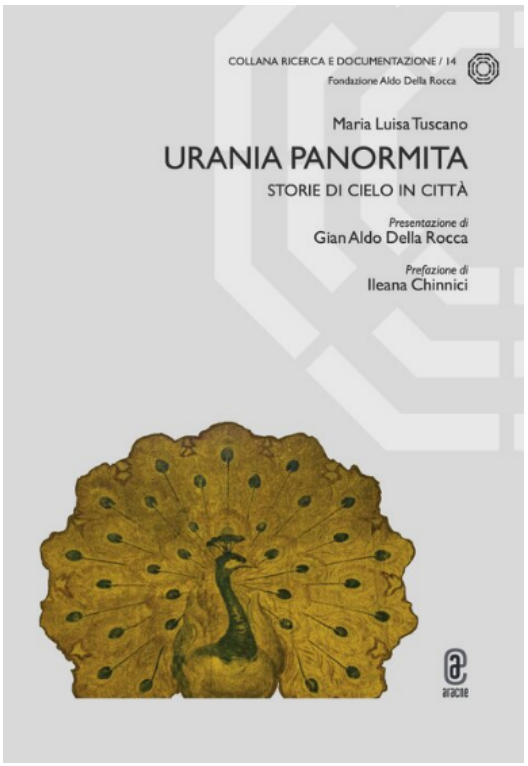
fu dotato di un congegno meccanico collegato con tre mostre, di cui due erano esterne ed una su una parete interna del transetto. Per volontà degli Abati D. Michele Del Giudice e D. Francesco Bellacera, nel 1719 fu realizzato anche un orologio meccanico potenziato da indicazioni astronomiche[4] (Fig. 3).

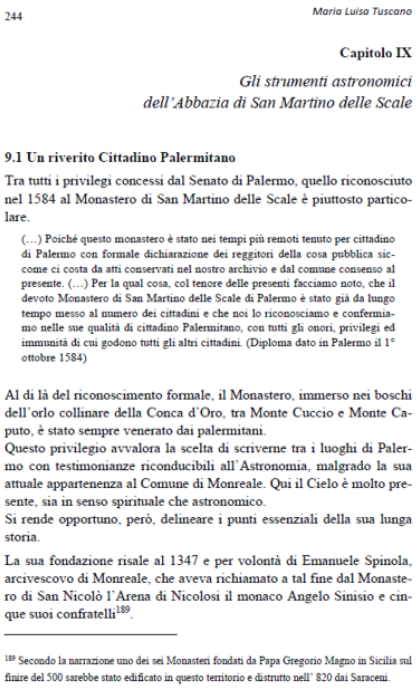
Fig. 3: L'orologio astronomico nell'Abbazia di San Martino delle Scale. Foto cortesia di C. Kamel.

Agli strumenti astronomici dell'Abbazia di San Martino delle Scale è dedicato l'ultimo capitolo della mia recente pubblicazione *Urania Panormita, Storie di cielo in città* (Tuscano, 1923a ; Fig. 4) . Gli stessi sono stati da me illustrati in un poster presentato al *42nd Scientific Instrument Symposium*, tenutosi a Palermo nel settembre del 2023 e di persona durante l'escursione a San Martino delle Scale organizzata

[4] L'orologio astronomico non è attualmente funzionante perché privato del meccanismo originario. Un congegno elettrificato è visibile in un'intercapedine dietro il quadrante ma, oltre a non funzionare, sembra destinato soltanto alla parte oraria dell'orologio. Per l'illustrazione dell'orologio si rimanda a Tuscano, 1998.

per i convegnisti (Tuscano, 2023b). In realtà la mia ricerca sul ruolo dell'Astronomia nel Monastero martiniano risale agli anni '90, con particolare riferimento allo studio dell'orologio astronomico e di un quadrante lunare, i cui risultati sono stati presentati nei Convegni di Storia dell'Astronomia della Società Astronomica Italiana, rispettivamente a Reggio Calabria (1998) e a Cagliari (1999)[5].




244 Maria Luisa Tuscano

Capitolo IX

Gli strumenti astronomici dell'Abbazia di San Martino delle Scale

9.1 Un riverito Cittadino Palermitano

Tra tutti i privilegi concessi dal Senato di Palermo, quello riconosciuto nel 1584 al Monastero di San Martino delle Scale è piuttosto particolare.

(...) Poiché questo monastero è stato nei tempi più remoti tenuto per cittadino di Palermo con formale dichiarazione dei reggitori della cosa pubblica siccome ci costa da atti conservati nel nostro archivio e dal comune consenso al presente. (...) Per la qual cosa, col tenore delle presenti facciamo noto, che il devoto Monastero di San Martino delle Scale di Palermo è stato già da lungo tempo messo al numero dei cittadini e che noi lo riconosciamo e confermiamo nelle sue qualità di cittadino Palermitano, con tutti gli onori, privilegi ed immunità di cui godono tutti gli altri cittadini. (Diploma dato in Palermo il 1° ottobre 1584)

Al di là del riconoscimento formale, il Monastero, immerso nei boschi dell'orlo collinare della Conca d'Oro, tra Monte Cuccio e Monte Caputo, è stato sempre venerato dai palermitani.
Questo privilegio avvalora la scelta di scriverne tra i luoghi di Palermo con testimonianze riconducibili all'Astronomia, malgrado la sua attuale appartenenza al Comune di Monreale. Qui il Cielo è molto presente, sia in senso spirituale che astronomico.
Si rende opportuno, però, delineare i punti essenziali della sua lunga storia.

La sua fondazione risale al 1347 e per volontà di Emanuele Spinola, arcivescovo di Monreale, che aveva richiamato a tal fine dal Monastero di San Nicolò l'Arena di Nicolosi il monaco Angelo Sinisio e cinque suoi confratelli[189].

[189] Secondo la narrazione uno dei sei Monasteri fondati da Papa Gregorio Magno in Sicilia sul finire del 500 sarebbe stato edificato in questo territorio e distrutto nell' 820 dai Saraceni.

Fig. 4: (a) Copertina di *Urania Panormita*. (b) Prima pagina dell'ultimo capitolo

Nell'attuale relazione presento il secondo quadrante, appena affiorante sulla parete orientale della chiesa, proponendo le mie riflessioni sulle sue potenzialità, legate alla peculiare esposizione della parete e all'accuratezza grafica di un insolito particolare del tracciato orario. Si apre, così, l'ipotesi di una sua datazione moderna e compatibile con una possibile ricerca cosmologica.

1.2. Due inconsueti quadranti lunari

La parete orientale della chiesa, che ripropone l'orientamento del suo asse longitudinale avendo un azimut di 258° (da sud verso ovest), presenta due tracciati, direttamente incisi sul muro. Affiancati e attualmente privi di gnomone, di grandi dimensioni (2.20 m. x 1.40 m.), i quadranti si trovano poco al di sopra dell'altezza d'uomo. Uno dei due è stato restaurato risultando leggibile[6]. L'altro di cui affiorano delle tracce fa intravedere una parziale somiglianza con il precedente (Fig. 5). Per affrontare l'analisi di questo secondo quadrante, giova delineare, intanto, le peculiarità del primo, di cui, come scritto, sono stati pubblicati i risultati (Tuscano, 1999). La numerazione delle linee orarie è compatibile con quella delle ore italiche da campanile, computate a partire da mezz'ora dopo il tramonto del Sole. Tuttavia, esse

[5] Con il sostegno della Provincia Regionale di Palermo, avevo potuto, inoltre, sviluppare il progetto didattico "Il Tempo e l'Uomo" in due classi dell'ITIS "Ettore Majorana" di Palermo, realizzando un opuscolo, che ho poi presentato durante la sessione didattica del Congresso della SAIt tenutosi nel 2000 a Monte Porzio Catone.

[6] L'attuale descrizione del quadrante è semplificata e rivolta soprattutto ad illustrare il funzionamento notturno. Per la descrizione più dettagliata, che riguarda soprattutto le linee orarie, si rimanda alla bibliografia (Tuscano, 1999), tenendo conto che, durante il restauro del quadrante operato dagli addetti ai lavori, sono stati obliterati dei fori, ritenuti, forse, imperfezioni del muro ma legati, invece, a gnomoni aggiuntivi non più esistenti.

non coincidono con quelle derivanti dall'esposizione del quadro ma con quelle di un quadro ruotato di 12°, cioè di 48 m. di angolo orario, valore medio del ritardo giornaliero della culminazione della Luna. Non è, inoltre, presente la linea 16. Il fascio orario è intersecato, però, da due rette, di cui una più spessa, che si incrociano, costituendo una circostanza insolita se esse si interpretano come due equinoziali.

Fig. 5: I due quadranti incisi sulla parete orientale della chiesa abbaziale.

Ciò mi ha indotto a ipotizzare un funzionamento notturno del quadro in cui le due rette rappresentano la proiezione dei piani orbitali della Terra e della Luna, presenti, perciò, distintamente nel tracciato e non coincidenti come risulta negli altri orologi lunari, se pur eccellenti[7]. La funzione notturna è ottenuta, però, su un tracciato orientale polare equivalente di cui ho calcolato la latitudine in un triangolo sferico al polo (Tuscano, 1999). Il tracciato polare, che è costituito da linee orarie parallele, ha la prerogativa di essere interscambiabile intervenendo sull'inclinazione del quadro (Fantoni, 1988; Trinchiero *et al.*, 1988). Sostanzialmente i due tracciati risultano prossimi e le minime differenze tra il quadro diurno e quello notturno sono ammortizzate dallo spessore (circa 5 mm) delle linee orarie e da una lieve retro-inclinazione del muro (Fig. 6).

Con le formule inverse, partendo dagli intercetti orari sulle equinoziali, ho calcolato un ortostilo di 45 cm con cui era possibile leggere, sulle stesse linee, sia l'ora solare sia il giorno della lunazione. Nell'uso notturno, infatti, tenuto conto che le ore lunari coincidono con quelle solari (ma con diversa numerazione) soltanto il giorno del plenilunio e cinque giorni prima e dopo questa fase, si verifica che la punta d'ombra, cinque giorni prima del plenilunio tocca la linea 15, la notte dopo la linea 14 e così via fino alla linea 11 corrispondente al plenilunio (Forlati, 1987; Tuscano, 1999; 2023a). In questo quadrante i monaci potevano, perciò, controllare il verificarsi sia dell'equinozio di primavera che del plenilunio, le due condizioni che regolano la determinazione della data pasquale secondo i canoni decisi dal Concilio di Nicea del 325 e dalla Riforma gregoriana del 1582.

Contiguo al primo, su un intonaco ancora grezzo si ravvisa il disegno di un secondo quadro, con linee orarie parzialmente visibili e senza numerazione. Sono anche presenti le due rette trasversali che si incrociano, ma in questo caso entrambe sono incise con un tratto sottilissimo che denota una considerevole accuratezza grafica. I due quadri non sembrano coevi, anche se appaiono legati alla medesima funzionalità notturna. Durante lo studio del primo quadrante che ha richiesto una prolungata presenza davanti alla parete per misurare il tracciato orario, mi ero soffermata a osservare questo secondo quadrante cogliendone un peculiare riferimento a possibili fibrillazioni del sistema

[7] Gli orologi lunari richiedono infatti una tabella di conversione per ricavare i corrispettivi orari solari.

Sole-Terra-Luna. In quel periodo, non ho ritenuto di entrare in questo contesto, tutto da verificare, ma in tempi più recenti sono tornata sull'argomento, ponendomi in via preliminare alcuni quesiti.

Fig. 6: Particolare del quadrante restaurato.

Il primo riguarda l'orientamento della parete che condiziona il modo in cui registriamo le misure del tracciato solare definendone la "sensibilità". Ogni orologio solare riceve i raggi della luce in funzione dalla sua esposizione, legata al suo azimut e alla sua inclinazione, costituendo un orizzonte secondario, coincidente con l'orizzonte del punto di stazione soltanto nella condizione orizzontale. Limitando la riflessione ai quadri verticali, si evidenzia che, al variare dell'azimut, si assiste ad una progressiva variazione non solo del disegno orario ma anche della sua attitudine a dare indicazioni dettagliate (Fantoni, 1988; Trinchiero *et al.*, 1988). Se consideriamo un angolo orario su una parete esposta a mezzogiorno, il corrispondente angolo orario di una parete declinante sarà esteso su una superficie maggiore. L'intercetto sull'equinoziale delle due linee orarie che lo delimitano, sarà più corto nella parete esposta a sud rispetto a quello della parete declinante. Ciò equivale a dire che lo spazio va dilatandosi procedendo da sud verso est o verso ovest mentre il tempo si contrae. Ne consegue che su una parete fortemente declinante, gli effetti proiettivi della luce consentono di ottenere misure più dettagliate. Nel quadrante di San Martino delle Scale 1 mm di un intercetto di 1 m corrisponde mediamente a 3,6 secondi[8] (Tuscano, 2023b).

Si tratta di effetti proiettivi che modificano l'ordine di grandezza con cui si confronta l'orologio solare, ma che, per contro, costituiscono una sorta di rumore di fondo quando si desidera avere un valore preciso della misurazione. A ciò si aggiunge il divario tra tempo vero e tempo medio che impone l'applicazione del valore dell'equazione del tempo medio. Insomma, a una prima considerazione, risulta poco realistica la possibilità di ottenere una misura di alta precisione in queste circostanze. Esiste, tuttavia, una condizione in cui possiamo evitare questi rumori di fondo. Si tratta dell'orologio polare, in cui lo gnomone polare rientra nel quadro ma è materializzato da uno stilo parallelo alla parete; le linee orarie, tutte parallele, non dipendono dalla rotazione terrestre ma dalla distanza dello stilo dal piano secondario, parallelo all'asse terrestre, su cui esse sono sviluppate in tangenza. Se poi queste linee sono computate, secondo il sistema all'italiana, dal tramonto, cioè a partire dal terminatore, eliminiamo anche gli inconvenienti legati all'equazione del tempo (Fantoni, 1988; Rohr, 1988; Savoie, 1997).

A questo punto, ecco che sorge il secondo quesito. Questo quadro è nella condizione di "sorvegliare" dettagliatamente i moti relativi del Sole e della Luna? Per quanto concerne il Sole, si esclude di riuscire a registrare nel dettaglio i suoi spostamenti relativi, derivanti dalla velocità orbitale della Terra, prossima mediamente ai 30 Km/s, per via della grande distanza tra i due corpi celesti e per gli effetti di parallasse. Per la Luna, si hanno valori più compatibili con il quadro. La velocità orbitale della Luna è mediamente 1020 m/s. Un raggio luminoso, partendo dalla superficie lunare, impiega circa un secondo per arrivare sulla Terra e questo comporta che, in senso relativo, 1 Km dell'orbita lunare corrisponde sulla Terra a 2,6 mm, un valore normalmente osservabile nel nostro ordine di grandezza. Una persona con la vista acuta sarebbe in grado di percepire lo spostamento orbitale della Luna di 100 m. Con il sussidio di

[8] Sviluppandosi le linee orarie in tangenza, il valore degli intercetti varia progressivamente.

un comune sistema ottico può essere verificato lo spostamento di 10 m e finalmente di un metro che corrisponderebbe al 2,6 μm. Se la strumentazione moderna controlla gli spostamenti di centimetri del nostro satellite, risulta comunque interessante che su una parete opportuna possa essere verificato il suo spostamento di 1 metro.

Mi sono chiesta, allora, a quale fine le peculiarità del quadrante potrebbero essere state utilizzate. La mancanza di numerazione delle linee porta ad escludere ragionevolmente lo stesso utilizzo del quadro precedente. La mia attenzione si è focalizzata sulle rette trasversali come proiezione dei piani orbitali. Quale fenomeno esse potrebbero sorvegliare attraverso l'ombra lunare? Il pensiero si orienta verso l'effetto giroscopico dell'asse terrestre, risultante dalla composizione del moto conico e della nutazione, nel contesto gravitazionale del sistema Sole-Terra-Luna e secondo l'attuale modello di deformazione dello Spazio-Tempo. In particolare, sono le piccole manifestazioni di instabilità gravitazionali legate al verso di rotazione della Terra e della Luna che potrebbero manifestarsi nel quadrante confermando le, sia pur minime, oscillazioni dell'asse terrestre all'interno della nutazione. Nel corso della rotazione terrestre, infatti, i punti della superficie terrestre durante la notte si muovono nello stesso senso della progressione in orbita del pianeta, ma durante il periodo diurno procedono in senso opposto, pur continuando comunque ad avanzare lungo l'orbita. Questo comporta che, subito dopo il passaggio dalla notte al dì e viceversa, la regione prossima del campo gravitazionale terrestre ha una certa instabilità per un'ulteriore deformazione dello spazio-tempo che lo contraddistingue. Durante il suo moto elicoidale attorno alla Terra, anche la Luna presenta la stessa condizione che si verifica nel primo quarto della lunazione e anche nell'ultimo quarto[9] (Tuscano, 2023b). Ai fini dell'attuale lettura si considerano solo i primi sette giorni di lunazione, nei quali, dal passaggio al meridiano fino al tramonto del Sole, le superfici dei due corpi celesti ruotano con un verso contrario a quello della progressione in orbita. Questa condizione è superata nell'ottavo giorno di lunazione quando i punti delle superfici terrestre e lunare proseguono nelle proprie rotazioni ma nello stesso verso del moto orbitale. Si presume che questa concomitante inversione del verso di rotazione delle superfici dei due corpi celesti influisca sulla regione prossima del campo gravitazionale terrestre accentuando la deformazione dello spazio-tempo. Da qui, il coinvolgimento dei piani orbitali la cui fibrillazione influirebbe sull'effetto giroscopico dell'asse terrestre e in particolare sulla nutazione. Tutto questo rende plausibile la possibilità che in questo quadrante di San Martino delle Scale siano stati fatti dei controlli sugli effetti previsti dalla Relatività generale e che ciò sia avvenuto in una condizione di riservatezza, dettata dalla necessità o da una scelta personale motivata. I due quadranti, se pur contigui, appaiono lontani nelle esecuzioni e nelle finalità. Se il primo si può attribuire a un monaco con una formazione matematica e astronomica adeguata, per il secondo quadrante, che richiederebbe competenze alte nel campo della fisica moderna, si può escludere che l'autore fosse un religioso. Nei primi decenni del '900 il monastero viveva in una condizione di declino sociale e culturale[10]. Si è più orientati a considerare ragionevolmente un ospite che nelle ore notturne poteva operare in piena autonomia all'interno del Monastero già a porte chiuse. E, se la previsione risultasse corretta, dovrebbe trattarsi di un ospite di grande riguardo. Certamente, per avere conferma di questa possibile lettura, si dovrebbe procedere, in via preliminare, a uno scrupoloso restauro del quadrante che, restituendo una migliore visibilità del tracciato, non ne alteri i dettagli per ricalcolare l'originario gnomone, rendendo così possibile la necessaria verifica del suo funzionamento.

[9] Durante l'ultimo quarto di lunazione il quadrante, però, non è più leggibile.

[10] Vero è che San Martino delle Scale era frequentato da villeggianti tra cui furono presenti anche dei professori di Geodesia e Astronomia, ma nessuno di loro ha lasciato traccia scritta di questo possibile esperimento.

Ringraziamenti

Si ringraziano sentitamente l'Abate, Dom Vittorio Rizzone, e il Priore, Dom Mariano Colletta, per avere accolto e sostenuto i miei studi all'interno dell'Abbazia di San Martino delle Scale. Un sentito ringraziamento anche al Signor Claudio Kamel per il contributo fotografico.

Bibliografia

Fantoni, G. (1988). *Orologi solari, Trattato completo di Gnomonica*. Roma: Technimedia.

Forlati, F.P. (1987). *Segnatempo "Veronensis"*. Verona: Grafiche Fiorini.

Frangipani, G.C. (1905). *Storia del Monastero di San Martino presso Palermo*. Assisi: Tipografia Metastasio.

Rohr, R. (1988). *Meridiane.* Torino: Ulissedizioni.

Savoie, D. (1997). *Gnomonique moderne*. Paris: Société Astronomique de France.

Trinchero, A., Moglia, L. & Pavanello, G. (1988). *L'ombra e il tempo*. Torino: Edizioni Vanel.

Tuscano, M.L. (1998). "L'orologio astronomico dell'Abbazia di S. Martino delle Scale", in *Atti del 10 The Annual Meeting on the History of Astronomy*, Reggio Calabria.

Tuscano, M.L. (1999). "Nuove acquisizioni sulla misura del tempo nell'Abbazia di S. Martino delle Scale", in Calledda, G. & Proverbio, E. (eds.). *Storia del Servizio Internazionale delle Latitudini e delle Imprese di Cooperazione Internazionale & Astronomia e Archeoastronomia*, Atti del Convegno di Storia dell'Astronomia, Cagliari 24-25 settembre 1999. Cagliari: CUEC, pp. 311-322.

Tuscano, M.L. (2023a). *Urania Panormita. Storie di cielo in città*. Roma: Aracne. pp.215–232.

Tuscano, M.L. (2023b). "The Astronomical Instruments of the Abbey of San Martino Delle Scale, Palermo", *42nd Scientific Instrument Symposium*. Poster.

1924–2024:
Edwin Hubble and the Evolution of Modern Cosmology

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_40, pp. 343–354
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-40

Beyond the Milky Way: an historical perspective

Edvige Corbelli[1]

[1]INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze, edvige.corbelli@inaf.it.

Abstract: The discovery that what were once called spiral nebulae are other galaxies similar to our own, has modified our concept of the Universe and marked the beginning of extragalactic astronomy, of space exploration beyond the Milky Way, and of its time evolution. In this talk, I will summarize facts that have stimulated and driven Hubble's discovery 100 years ago that the distance to the Andromeda galaxy is much larger than any estimated size of the Milky Way. This had immediate revolutionary consequences and paved the way for the establishment of the space-time expansion law. Since then, our knowledge of galaxies and the Universe has made enormous progress. However, we are still missing a solution for a few relevant cosmic puzzles, which are shaping the next generation of telescopes and future astrophysical research.

Keywords: Cepheids, Nebulae, Galaxies, Hubble Constant, Dark Matter

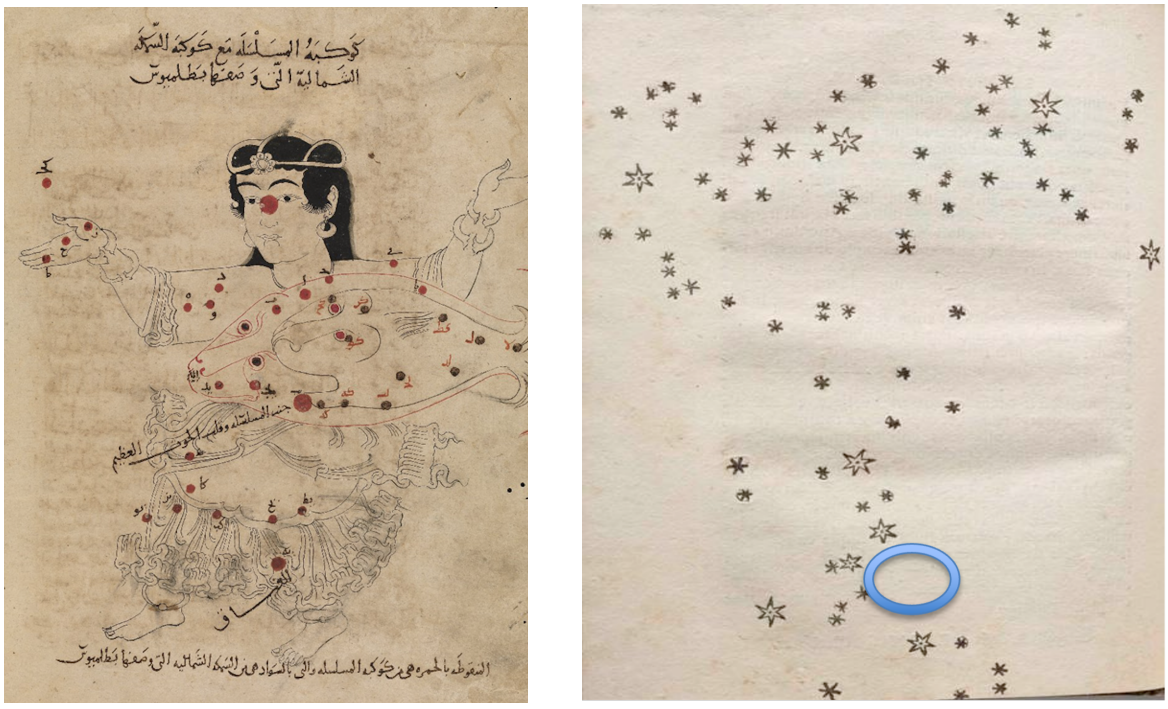
1. Le nebulose: fra storia millenaria e scoperte recenti

La scoperta del mondo extragalattico è strettamente legata alla curiosità umana di scoprire la natura delle nebulose. Con il termine nebulosa, dalla parola latina *nebula* che significa nuvola o nebbia, storicamente si identificavano oggetti celesti diffusi che, al contrario delle singole stelle, erano estesi e senza un contorno ben definito. Nonostante ci siano riferimenti a nebulose o nebulosità celesti già nell'*Almagesto* di Claudio Tolomeo (100-170 d.C.), è nel *Libro delle Stelle Fisse* dell'astronomo persiano 'Abd al-Rahmān Ṣūfi (903-986 d.C.), scritto più di un millennio fa, che troviamo riferimenti a due grandi nubi del cielo notturno che oggi chiamiamo Nubi di Magellano, e a una piccola nube in una zona di cielo più a nord, dove oggi sappiamo essere la galassia di Andromeda (fig. 1a). Eppure, è trascorso solo un secolo da quando la scienza ha capito che queste nebulose descritte da Ṣūfi sono molto più lontane di qualsiasi altra stella visibile: sono nebulose extragalattiche, galassie al di là della Via Lattea. Attraverso i secoli, filosofi e astronomi osservarono ed elaborarono pensieri sulla natura delle nebulose, che mostravano forme ricorrenti o a volte uniche. Ma è solo grazie ai progressi della fisica che nel XIX secolo, dopo la nascita dell'astrofisica e la costruzione di grandi telescopi, è stato possibile stabilire con certezza alcune diversità nella natura delle nebulose. E solo un secolo fa, grazie alla curiosità umana sulla distanza e natura delle nebulose a spirale, che i progressi scientifici hanno ingrandito le dimensioni dell'Universo e, superando i confini della nostra galassia, hanno aperto le porte all'esplorazione dello spazio extragalattico e alla cosmologia. Quest'articolo ricorda la storia di questa scoperta nel suo centenario, iniziando dall'analisi di testi galileiani che ci ricordano come le nebulose abbiano appassionato gli osservatori del cielo da sempre. Concluderemo con brevi riferimenti ad alcuni fenomeni extragalattici e modelli cosmologici oggi molto sostenuti, mostrando come la storica domanda sulla *natura* e sulla *distanza* di ciò che osserviamo sia ancora attuale e non abbia ancora avuto una risposta definitiva.

1.1. *Greggi di piccole stelle disseminate in modo mirabile*

Nel 1610 Galileo Galilei scrive nel *Sidereus Nuncius* dell'importanza di aver risolto importanti questioni astronomiche, irrisolte da secoli, grazie allo sviluppo di nuove tecnologie, ovvero al suo cannocchiale. Egli annuncia con un senso di gioia e di soddisfazione sia di riuscire a misurare le distanze stellari, sia di aver compreso la natura della Via Lattea e delle nebulose. Riportiamo alcuni paragrafi del *Sidereus Nuncius* sottolineando i riferimenti a questi punti:

> ... osservai più volte con incredibile godimento dell'animo (incredibili animi iocunditate) le Stelle, tanto fisse che erranti; e vedendole tanto fitte, cominciai a pensare sul modo con cui potessi misurare le loro distanze; e finalmente lo trovai.
> ... la materia, della stessa Via Lattea, che in virtù del cannocchiale è dato scrutare tanto sensibilmente, da esserne risolte, con la certezza che è data dagli occhi, tutte le dispute che per tanti secoli tormentarono i filosofi, e noi liberati da verbose discussioni.
> È infatti la galassia nient'altro che una congerie di innumerevoli Stelle, disseminate a mucchi; ché in qualunque regione di essa si diriga il cannocchiale, subito una ingente folla di Stelle si presenta alla vista... ma la moltitudine delle piccole è del tutto inesplorabile...
> Inoltre (meraviglia ancor più grande) le Stelle chiamate fino a oggi dai singoli astronomi nebulose, sono greggi di piccole Stelle disseminate in modo mirabile; e mentre ciascuna di esse, per la sua esilità, ossia per la grandissima lontananza da noi, sfugge alla nostra vista, dall'intreccio dei loro raggi si genera quel candore. (Galilei, 1993, pp. 8,29-30) (Fig. 1b)



(a) **(b)**

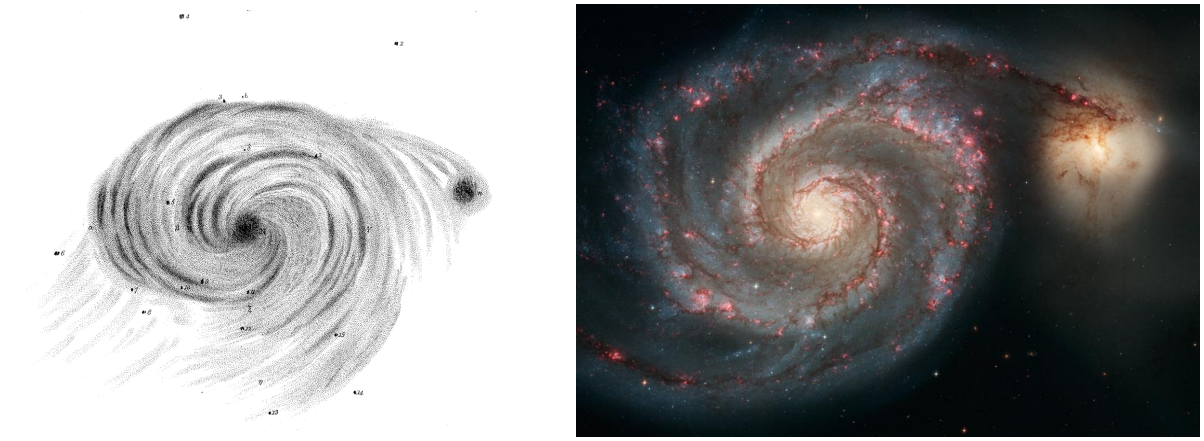
Fig. 1: (a) Una principessa rappresenta la costellazione di Andromeda nel libro di al-Ṣūfi. I cerchi rossi sono le stelle della costellazione e la loro grandezza è proporzionale alla luminosità apparente. Nel libro l'autore riporta dell'esistenza di una piccola nube vicino alla stella brillante (Mirach) sulla cintura della principessa, coincidente con la bocca del pesce. (b) le stelle della cintura e della spada della costellazione di Orione sono disegnate da Galilei nel *Sidereus Nuncius*. La nebulosa di Orione, visibile anche a occhio nudo nella zona indicata dall'ellisse azzurra, non viene riportata perchè la sua nebulosità non viene risolta in stelle dal cannocchiale di Galilei.

Questo scriveva Galileo Galilei dopo aver osservato le nebulose, quelle zone di cielo in cui scorgeva solo una luce diffusa e biancastra. Per molte di queste nebulose il suo cannocchiale gli rivelava la loro natura stellare: una moltitudine di stelle, indistinguibili se osservate a occhio nudo. Questa scoperta indusse Galilei a credere che tutti gli oggetti nebulari fossero fatti di stelle, anche quelli in cui queste ultime

non erano distinguibili con il suo strumento. Questa speculazione galileiana sappiamo essere corretta per alcune nebulose ma non per tutte: ad esempio le nebulose dove oggi si formano le stelle, come la nebulosa di Orione, sono per lo più gassose. La radiazione delle poche stelle massicce appena nate riscalda la nube di gas in cui queste hanno avuto origine, e il gas emette luce anche nel visibile. Galilei, sembra invece essere convinto di non riuscire a scomporre la luce diffusa di queste nebulose in stelle per un problema strumentale, ovvero legato con la risoluzione del suo cannocchiale, e pertanto non le riporta nei suoi disegni. Le stelle in un suo disegno intitolato *Nebulosa Orionis* sono in realtà stelle di una regione della costellazione molto diversa.

1.2. L'astronomo nell'XIX secolo: fra comete vaganti e nebulose fisse

Alla fine del XVIII secolo inizia un lungo periodo di sviluppo di strumenti progettati con crescente sensibilità e risoluzione per scrutare le profondità celesti, e in particolare per scoprire nuove comete. La scoperta di nuove comete, nebulose che cambiavano velocemente posizione rispetto alle stelle fisse essendo vicine e viaggiando attraverso il Sistema solare, trasse beneficio dalla localizzazione di altre nebulose la cui luminosità e posizione invece non cambiava rispetto alle stelle vicine. Sorsero dunque i primi cataloghi delle nebulose fisse che contenevano sia nebulose irrisolte dallo strumento usato dall'osservatore, che nebulose risolte in ammassi stellari. I cataloghi di nebulose e ammassi stellari come quello di Charles Messier pubblicato nel 1771 e di William Herschel pubblicato nel 1786 furono fra i primi che, contenendo un numero congruo di oggetti osservabili dall'emisfero boreale, passarono alla storia. Fu solo verso la metà del XIX secolo che la risoluzione dei telescopi fu sufficiente per esaminare in dettaglio le forme delle nebulose e scoprire che esisteva una forma molto ricorrente: quella a spirale. Più i telescopi diventavano potenti e più la peculiare forma a spirale di alcune nebulose risultava evidente.



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) M51 illustrata da Lord Rosse nel 1850. (b) Immagine composta, ottica e Hα, di M51 ottenuta tramite l'Hubble Space Telescope.

La nebulosa a spirale per eccellenza, M51, viene ritratta senza una chiara forma a spirale da John Herschel nel 1833, mentre nel 1845 e nel 1850 William Parsons, III conte di Rosse, usando il telescopio più potente dell'epoca di ben 1,8 m, la rappresenta con una chiara forma a spirale e dinamica che suggerisce un movimento rotatorio interno (Fig. 2a). I disegni delle nebulose a cura di astronomi, come Wilhelm Tempel all'Osservatorio di Arcetri, e di illustratori come Étienne L. Trouvelot all'Harvard College Observatory e a Parigi, stimolarono ancor di più l'interesse e le ricerche sulla natura delle nebulose, per comprendere se queste fossero stellari o gassose. Le analisi della loro distribuzione in cielo e delle loro forme, insieme a modelli speculativi sulla loro origine ed evoluzione diventano pervasivi e ricorrenti.

2. Dalla nascita dell'astrofisica al grande dibattito

I grandi pensatori del passato, come filosofi e matematici, si sono trovati ad affrontare questioni fondamentali per la sete di conoscenza che ha sempre caratterizzato il genere umano, come l'esistenza di altri mondi o la grandezza dello spazio cosmico. Anche per quel che riguarda la natura delle nebulose, una prima risposta, forse la prima documentata, la troviamo nel trattato *An original theory or new hypothesis of the universe* di Thomas Wright (1750), un astronomo, matematico e architetto inglese. In questa pubblicazione l'autore spiega come la forma apparente della Via Lattea vista dalla Terra sia dovuta al fatto che noi siamo immersi in un insieme di stelle distribuite in un sistema piatto (tipo un disco) e ipotizza (senza però dimostrarlo) che le nebulose siano altri sistemi stellari, simili alla Via Lattea ma situati al di fuori di essa, a grandi distanze da noi. Qualche anno dopo, riprendendo l'idea di Wright, Immanuel Kant (1755) sostiene il concetto dell'esistenza di altre galassie da lui definite come Universi Isola. Un secolo dopo, Stephen Alexander (1852) ipotizza che la Via Lattea abbia anch'essa una forma a spirale analoga a quella osservata per M51. Bisognerà però aspettare ancora un secolo per avere una prova scientifica che viviamo in una galassia a spirale, dopo che Jan Oort (1959) pubblica le mappe dell'emissione del gas a 21-cm della Via Lattea evidenziandone i bracci a spirale.

La curiosità di capire diversità e similitudini fra oggetti puntiformi come le stelle e oggetti più estesi come le nebulose, insieme ai progressi della fisica, ha rivoluzionato l'astronomia aprendo le porte a una nuova disciplina: l'astrofisica, lo studio della natura degli astri. L'astrofisica nasce grazie alla spettroscopia, che analizza l'intensità della luce nelle varie frequenze, con le prime misure accurate dello spettro solare fatte da Joseph von Fraunhofer intorno al 1814. Fraunhofer nota nello spettro righe di assorbimento, ovvero l'assenza di radiazione intorno a specifiche frequenze. Simili assorbimenti furono osservati alcuni anni dopo anche negli spettri stellari fornendo la prova della natura stellare del Sole. La nuova disciplina, l'astrofisica, ha avuto bisogno di un progresso scientifico e tecnologico durato più di un secolo per comprendere la natura delle nebulose contenute nei cataloghi. Nei primi cinquanta anni, ovvero dal 1814 al 1864, importanti scoperte di astrofisica svelano caratteristiche delle stelle e delle nebulose come ad esempio:

- la misura delle distanze stellari di Friedrich W. Bessel con l'implicazione che il Sole è una stella;
- la misura di moti grazie all'effetto Doppler;
- la diversità morfologica fra alcune nebulose, di forma ellittica e a spirale dimostrata da Parsons;
- la scoperta di elementi chimici sulla superficie solare e la natura gassosa delle stelle da parte di Gustav Kirchhoff;
- la diversità delle stelle (si veda Henry Draper, Angelo Secchi e Giovan Battista Donati);
- l'esistenza di nebulose gassose grazie alla presenza di righe di emissione osservate da William Huggins mentre gli ammassi stellari mostravano righe di assorbimento.

Le nebulose a spirale restavano avvolte nel mistero perchè gli spettri non davano indicazioni chiare sulla loro natura, gassosa o stellare. La loro forma lasciava supporre una sorta di attività e movimento che spessa veniva connessa con modelli di sistemi planetari in formazione o di incontri fra sciami di meteoriti. Qualche anno dopo, grazie all'utilizzo della fotografia, introdotta da Draper, astronomi come Isaac Roberts svelarono la morfologia a spirale anche di nebulose meno brillanti come M33 (Roberts, 1895).

2.1. L'addio alle stelle fisse e le cefeidi come candele standard

Nella seconda metà del XIX secolo, le illustrazioni delle nebulose a spirale sono pubblicate nei giornali illustrati e nei libri di astronomia per il pubblico. Grazi all'impegno di Camille Flammarion, fondatore

della Società astronomica francese nel 1887, i nuovi concetti di astrofisica vengono divulgati e raggiungono i circoli culturali parigini. L'incisione Flammarion, di ignoto artista che appare in uno dei suoi libri, ritrae l'astronomo che si affaccia oltre la volta celeste delle stelle fisse e osserva i colori, il movimento, la struttura e la variabilità degli oggetti celesti in un cielo nuovo che diventa il simbolo dei progressi dell'astrofisica. Per Parigi è l'epoca della costruzione della Torre Eiffel, simbolo della scienza che diventa parte della cultura, e dell'esposizione universale. La città diventa fonte di scambi culturali e di ispirazione, e le conoscenze astronomiche raggiungono ambiti diversi come quello artistico. *La Notte Stellata* di Vincent van Gogh ad esempio, condensa in un solo dipinto importante scoperte sulla diversità delle stelle e la discussione scientifica sulla natura delle nebulose a spirale (Corbelli, 2025). La forma geometrica posta al centro del dipinto richiama infatti la nebulosa a spirale M51 disegnata da Parsons e ne sottolinea la rilevanza. La tecnica pittorica dell'artista ne evidenzia ancor di più il movimento, mentre l'assenza di colore rispetto ad altri oggetti celesti nel dipinto potrebbe indicarne la poca conoscenza e la difficoltà di osservazione a occhio nudo.

Dall'altra parte dell'oceano Atlantico, fra i progetti affidati a un gruppo di donne dello Harvard College Observatory (alle donne era vietato utilizzare i telescopi ed era concesso di avere solo incarichi di supporto) c'era anche quello di misurare la brillanza apparente delle stelle sulle lastre fotografiche e di scoprire stelle variabili. Nei primi anni del XX secolo Henrietta Swan Leavitt misurando la variabilità di stelle nella Piccola Nube di Magellano, lavoro molto difficile a causa della elevata densità e bassa luminosità apparente delle stelle, notò che alcune stelle variabili erano tanto più luminose quanto più lungo era il periodo della loro variabilità. Al contrario delle nove, queste stelle, dette cefeidi, mostravano un periodo regolare di variabilità che andava da qualche giorno a qualche mese. La variabilità di queste stelle nella loro fase evolutiva di giganti è dovuta a una pulsazione regolare: la stella si contrae e si espande. Il fatto che Henrietta Leavitt stesse misurando la luminosità di stelle cefeidi appartenenti allo stesso oggetto, e quindi approssimativamente alla stessa distanza, implicava che le luminosità apparenti fossero collegate da un unico fattore moltiplicativo a quelle intrinseche. Esisteva dunque una relazione fra il periodo di variabilità e la luminosità intrinseca e in generale, misurando il periodo e la luminosità apparente, si poteva risalire alla distanza (dopo aver calibrato la relazione). Le stelle cefeidi potevano dunque essere usate come candele standard. Il messaggio alla base di questa scoperta era chiaro: per misurare quanto lontane fossero le nebulose a spirale occorreva trovare in essa delle stelle cefeidi.

2.2. Il grande dibattito sulla natura delle nebulose a spirale e sulla grandezza dell'universo

Dopo più di cinquanta anni di domande sulla natura delle nebulose a spirale, gli astronomi si ritrovarono il 26 aprile 1920 durante il congresso dell'Accademia delle Scienze, tenutosi nella sala dello Smithsonian Museum of Natural History a Washington D.C., per ascoltare il dibattito dei portavoce di due diverse opinioni: Harlow Shapley e Heber Curtis. Il tema dell'incontro era: la natura delle nebulose a spirale e la grandezza dell'Universo. Questo incontro passò alla storia come il Grande Dibattito o Dibattito di Shapley-Curtis.

Shapley sostenne la tesi che l'Universo contenesse una sola galassia, la nostra, e che le nebulose a spirale fossero sistemi gassosi all'interno della Via Lattea. Una Via Lattea molto più grande di quanto stimato in precedenza con il Sole non situato al centro. Shapley aveva raggiunto questa conclusione perchè aveva stimato le distanze di ammassi globulari usando il metodo delle cefeidi e supponeva che le nebulose a spirale occupassero l'alone della Via Lattea similmente agli ammassi globulari, ma essendo gassose non era possibile misurarne la distanza.

Curtis argomentò il contrario ovvero che l'Universo contenesse molte galassie. Le nebulose a spirale erano esse stesse delle galassie fatte di stelle, con dimensioni simili alla Via Lattea ma situate oltre i suoi confini. Curtis argomentava questo perchè usava la luminosità apparente di stelle novae nella galassia

di Andromeda per stimarne la distanza. Al contrario di Shapley, era convinto che il Sole fosse al centro della Via Lattea e sottostimava le dimensioni fisiche di quest'ultima. Curtis non era convinto che le stelle potessero pulsare regolarmente e spiegava le variazioni di luminosità delle cefeidi come sistemi binari.

Il pubblico nono uscì convinto né di una tesi né dell'altra.

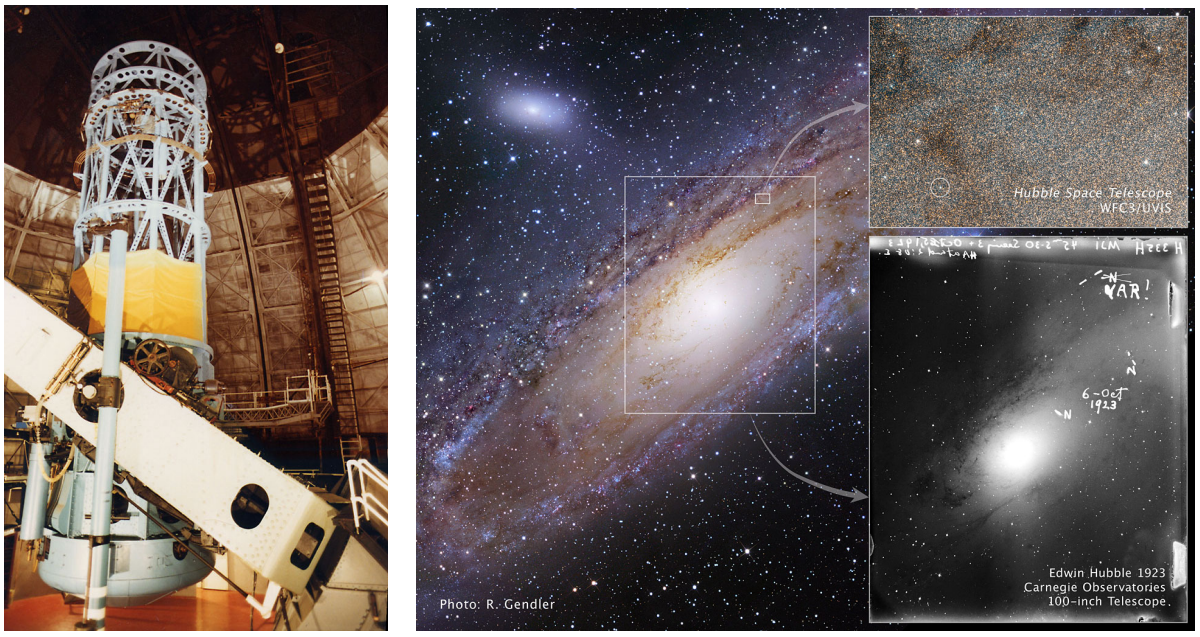
3. Edwin Hubble scopre una stella cefeide in Andromeda

Edwin P. Hubble (1889-1953) si avvicina all'astronomia solo dopo la morte del padre, dopo aver frequentato un master in legge a Oxford per volere paterno. Durante il dottorato frequenta l'Osservatorio di Yerkes, dove qualche anno prima aveva svolto osservazioni anche Giorgio Abetti, e dedica la sua prima publicazione a una rassegna di un'opera galileiana. L'apertura a Monte Wilson del telescopio da 100-inch Hooker, che rimase il telescopio più potente al mondo fra il 1917 e il 1949, fu la sua fortuna perchè il direttore, George E. Hale, aveva bisogno di personale e gli offri subito un lavoro. Hubble iniziò la sua carriera a Monte Wilson solo dopo essere tornato dalla Francia, dove si era recato per servizio durante la Prima Guerra Mondiale, riprendendo i suoi studi sulle nebulose a spirale. Il telescopio Hooker era uno strumento che poteva risolvere il problema molto dibattuto sulla grandezza dell'Universo e sulla natura le nebulose a spirale perché poteva cercare di osservare stelle variabili in queste ultime, soprattutto nelle più estese perchè più vicine. Nel 1923 Edwin Hubble intraprese un progetto sulle stelle novae nella nebulosa di Andromeda. Se queste fossero state candele standard, poteva determinare la distanza della nebulosa. Ma Hubble sapeva che c'erano diverse incertezza sul considerare le novae come candele standard. Meglio sarebbe stato individuare stelle variabili periodiche come le cefeidi. Nella notte fra il 5 e 6 ottobre 1923 Hubble prese le immagini di un braccio a spirale di Andromeda e da un confronto con un'immagine precedente notò tre novae appuntandole sulla lastra con 'N'. Si rese però conto, probabilmente da un confronto con diverse lastre della stessa zona fatte in tempi diversi, che una delle 3 novae era invece una stella pulsante con un periodo regolare di circa 31 giorni. Questa era dunque una stella cefeide che Hubble chiamava *variabile*. Pertanto tolse la 'N' e scrisse 'VAR'! sulla lastra. Qualche mese dopo, il 19 febbraio del 1924, Hubble scrisse a Shapley inviandogli la curva di luce della cefeide e la distanza stimata che indicava che Andromeda era a più di 3 volte le dimensioni delle Via Lattea stimate da Shapley. Questi, convinto della bontà del metodo delle cefeidi per la determinazione delle distanze, disse subito ai colleghi: "*Ho qui una lettera che ha distrutto il mio Universo*".

Una settimana dopo l'invio della lettera a Shapley, Edwin Hubble sposa Grace Burke e parte per una breve luna di miele visitando l'Osservatorio di Arcetri a Firenze (gli sposi firmarono nel registro degli ospiti). Ad Arcetri era allora direttore Giorgio Abetti, che ha sempre mantenuto stretti contatti con i colleghi statunitensi. Verso la fine del 1924 Hubble aveva scoperto 36 novae e 12 cefeidi in Andromeda e aveva stimato una distanza di 900.000 anni luce. Sotto consiglio dello stesso Shapley scrisse un articolo " *La natura extragalattica delle nebulose a spirale*" per la riunione dell'American Astronomical Society dove presentò il risultato a gennaio del 1925, nonostante la maggioranza degli astronomi fosse già a conoscenza della grande scoperta. Nel 1928 Hubble si reca a Leiden per l'assmeblea generale dell'IAU e accetta l'invito di Abetti per il primo seminario scientifico dell'Osservatorio di Arcetri: "Le riunioni in Arcetri ebbero inizio nella primavera del 1928 con una conferenza del Dott. E. Hubble astronomo dell'Osservatorio di Monte Wilson in California, qui di passaggio, sui vari tipi di nebulose extragalattiche." (Abetti, 1934)

4. La misura delle distanze e il dibattito sul valore della costante di Hubble

La misura delle distanze in astronomia richiede l'utilizzo di metodi che variano a seconda della distanza stessa. In campo extragalattico si utilizzano molto *candele standard,* come le cefeidi, o *righelli standard*.



(a) **(b)**

Fig. 3: (a) Il telescopio da 100 inch (2.5 m) Hooker all'Osservatorio di Monte Wilson. (b) la galassia di Andromeda con a destra due pannelli che ingrandiscono la regione dove fu scoperta la prima cefeide; in alto la regione dove fu scoperta la prima cefeide; in basso la lastra originale di Edwin Hubble con le sue annotazioni (E. Hubble, NASA, ESA, Gendler, Levay and the Hubble Heritage team)

Nel primo caso si fa riferimento a una classe di oggetti che hanno sempre la stessa luminosità intrinseca, nel secondo si fa riferimento a oggetti che hanno sempre le stesse dimensioni fisiche. Hubble, che riuscì a identificare cefeidi in galassie del Gruppo Locale, non avendo la risoluzione sufficiente per misurare la distanza di nebulose a spirale più lontane, ne stimò le distanze utilizzando come candele standard le stelle più brillanti (Galilei invece cercava di usare i diametri stellari come righelli standard). Con queste stime ebbe sufficienti dati per verificare la legge di espansione dello spazio-tempo e fornire una prima

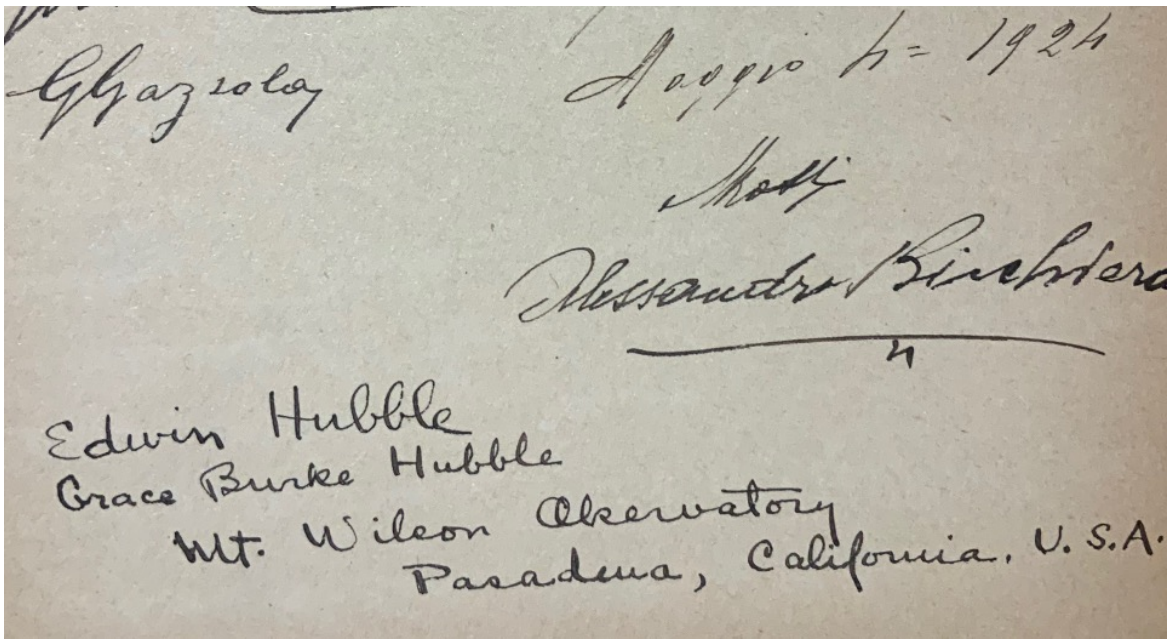


Fig. 4: La firma di Edwin Hubble a Grace Burke Hubble in visita all'Osservatorio di Arcetri durante la loro luna di miele (Maggio 1924). Archivio Storico dell'Osservatorio di Arcetri.

stima della costante H_0.

Questa legge, che oggi conosciamo come legge di Hubble-Lemaître, si può scrivere per l'Universo odierno come

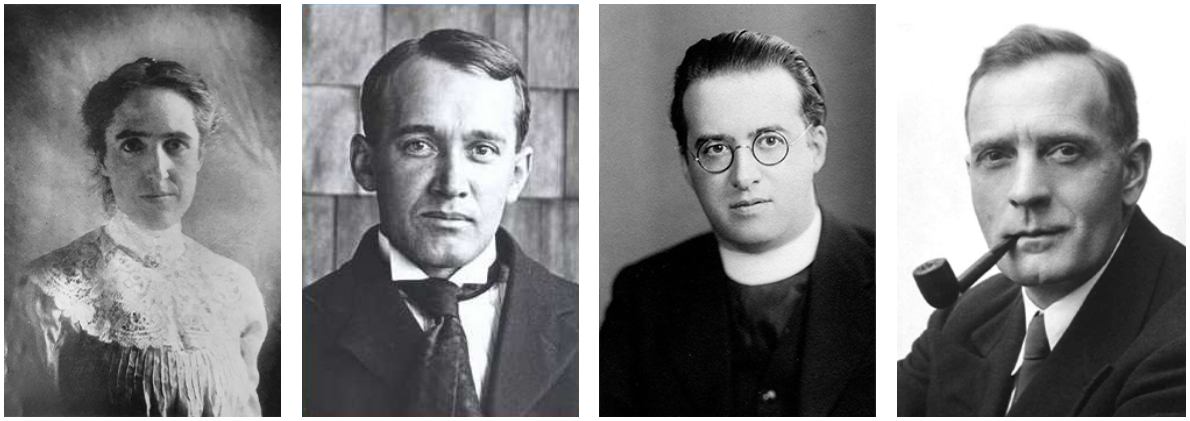
$$V(km/s) = H_0 D(Mpc) \tag{4.1}$$

dove V è la velocità di espansione dello spazio-tempo che allontana le galassie le une dalle altre ed è misurara tramite l'effetto Doppler di righe spettrali delle galassie. La distanza delle galassie dalla Via Lattea in Mpc è D, e H_0 è il valore a t=0 (oggi) della costante di proporzionalità, detta di Hubble, in unità di km/s/Mpc. Questa costante è l'inverso di un tempo e fornisce una stima approssimata dell'età dell'Universo. La legge di espansione dello spazio-tempo è il risultato di diversi contributi. Sicuramente sono da citare Leavitt, per la relazione periodo-luminosità delle cefeidi, Vesto M. Slipher per la misura delle velocità di recessione sfruttando l'effetto Doppler, Georges H.J.E. Lemaitre che fornì i presupposti teorici della relazione, e Hubble che stimò le distanze extragalattiche. Se indicatori diversi delle distanze non danno risultati concordi, questo genera incertezze sul valore di H_0. Il valore della costante H_0 è stato molto discusso nell'ultimo secolo e anche oggi ci sono controversie (vedi *Hubble tension)* dovute per lo più ai moti peculiari delle galassie, causati dell'attrazione fra strutture gravitazionalmente legate (e dunque a una cattiva stima della velocità di espansione V), e/o alla dipendenza della distanza stimata dall'indicatore di distanza usato. La relazione periodo-luminosità delle cefeidi, ad esempio, dipende da alcune caratteristiche stellari come la metallicità. Inoltre, c'è una dipendenza dal modello cosmologico se l'indicatore è connesso con la struttura dell'Universo primordiale, come ad esempio per indicatori che si relazionano con la radiazione cosmica di fondo.

Riportiamo di seguito l'evoluzione storica del dibattito sul valore di H_0 in km/s/Mpc dai tempi di Hubble ai giorni nostri con un'indicazione di alcuni astronomi protagonisti del dibattito e dei metodi usati per la misura delle distanze (vedi anche Tully, 2023):

1929-1936, H_0=500-530, E. Hubble, M. Humason, cefeidi e altre candele standard
1931-1935, H_0=290-865, F. Oort, A. Eddington, varie candele standard, modelli di espansione
1956 -1958, H_0<100, W. Baade, diversità nelle popolazioni di cefeidi come candele standard
1974 -1986, H_0=50-100, A. Sandage, G. Tamman, G. de Vaucouleurs, diverse candele standard
1977 -1986, H_0=75-95, A. Fischer, M. Aaronson, A. Dressler, relazione Tully-Fisher, moti peculiari
1984 -2000, H_0=65-72, G. Tamman, A. Sandage, W. Freedman, R. Giovanelli, supernovae, cefeidi, relazione Tully-Fisher
2001-2024, H_0=67.4±0.6-74.0±1.4, Radiazione Cosmica di Fondo versus candele standard (relazione Tully-Fisher, cefeidi, lenti gravitazionali, supernovae, etc.)

Misure sempre più accurate degli indicatori di distanza degli ultimi anni implicano oggi discrepanze sul valore di H_0, più piccole ma significative. Il valore più basso (67.4) deriva da misure di proprietà dell'Universo primordiale e utilizza un modello cosmologico. Quello più alto invece (74.0) è basato su vari indicatori di distanza, come le candele standard. La possibile evoluzione cosmica di queste ultime e la bontà del modello cosmologico sono oggi oggetto di studio per diminuire la discrepanza sui valori di H_0. Nuovi sviluppi tecnologici e nuovi telescopi hanno fra le loro motivazioni principali quella di migliorare ancora le misure di distanza e i parametri cosmologici (vedi Euclid, Square Kilometer Array, Rubin Observatory, Extremely Large Telescope). Il James Webb Space Telescope ha osservato recentemente la galassia più lontana mai osservata, quando l'universo aveva solo 300 milioni di anni.



(a) **(b)** **(c)** **(d)**

Fig. 5: Protagonisti della scoperta della legge di espansione dello spazio-tempo: H. S. Leavitt (a), V. M. Slipher (b), G. H. J. E. Lemaitre (c), E. P. Hubble (d).

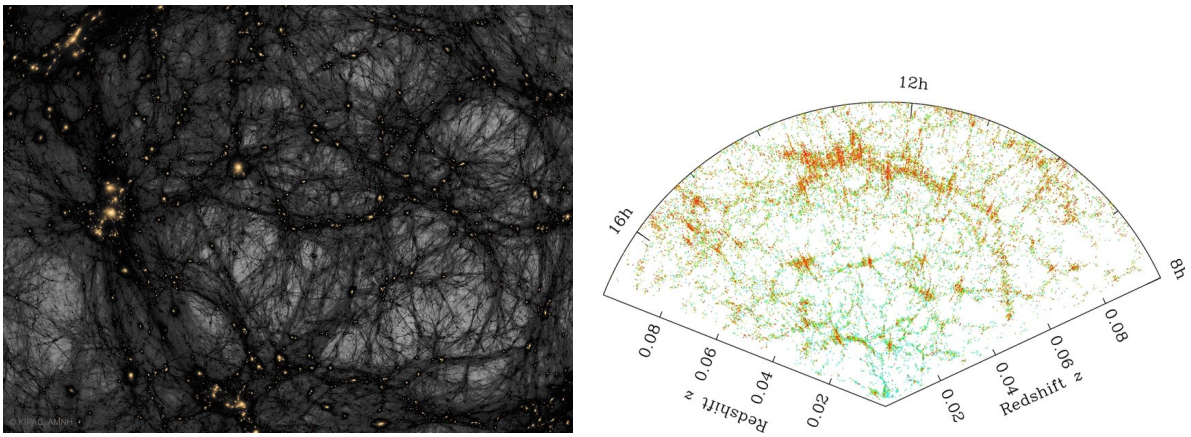
5. Dagli universi isola alla ragnatela cosmica

Un secolo fa, la prova dell'esistenza di altre galassie fu una rivoluzione copernicana di uguale portata a quella che tolse al Sole e alla Terra il privilegio di essere luoghi unici al centro del cosmo. Il concetto di Universo riassunto successivamente da E. Hubble (1936) con la frase "Lo spazio cosmico è per lo più vuoto, se non fosse che occasionalmente e separati da enormi distanze troviamo sistemi stellari simili alla nostra galassia" è però notevolmente cambiato da allora.

In questi anni stiamo infatti vivendo un'altra rivoluzione di uguale portata a quella di un secolo fa, con tutte le sue incertezze: le galassie non sono isole d'Universo immerse in uno spazio vuoto. Esse sono situate lungo filamenti di gas caldo e materia oscura, distribuiti come i fili di un'enorme ragnatela che permeano il cosmo. Dove questi fili si intersecano e la densità del gas diventa più alta cresce anche il numero di galassie che sembrano aggregarsi a piccoli o grandi gruppi. Questa visione dell'Universo è il frutto di lunghe campagne osservative e di simulazioni numeriche di formazione delle strutture nell'Universo partendo dal Big Bang. Eppure nelle mappe dell'Universo giovane le prime fluttuazioni che si sono formate e che hanno originato le prime galassie, avevano una distribuzione meno strutturata di quella delle galassie oggi. Esistono evidenze che l'Universo sia diventato sempre più disomogeneo con il tempo, formando numerosi gruppi di galassie e strutture molto estese come i filamenti di gas e galassie. Queste disomogeneità sono il risultato della forte attrazione gravitazionale fra galassie vicine, che nelle zone dense vince sull'espansione dello spazio-tempo, e alcune di queste anzichè allontanarsi fra loro hanno incontri molto ravvicinati fino a fondersi in un'unica galassia. Questi sono i moti peculiari delle galassie che per decenni hanno confuso le misure delle velocità di espansione.

Oggi pensiamo che l'evoluzione delle galassie sia legata a quella di altre parti di Universo come il mezzo intergalattico, immaginiamo le galassie non più come sistemi isolati che si allontanano inesorabilmente le une dalle altre lasciandosi trascinare dall'espansione dell'Universo. Il gas tenue nei filamenti potrebbe alimentare le galassie stimolando la formazione di nuove stelle, e al tempo stesso le galassie potrebbero immettere nello spazio circostante gas con elementi pesanti tramite venti e violente esplosioni. È auspicabile che in futuro nuove idee e nuovi strumenti possano fornire maggiori evidenze e dettagli di come lo spazio che circonda le galassie influenza e sia influenzato dalla presenza delle galassie stesse. Restiamo in attesa di poter costruire una vera mappa della distribuzione, temperatura e moto del tenue gas intergalattico intorno alle galassie.

Ma perchè tutto questo avviene se lo spazio-tempo nell'espandersi trascina con se tutto ciò che contiene? Perchè le galassie oggi sono distribuite in maniera più disomogenea rispetto al passato? Il colpevole

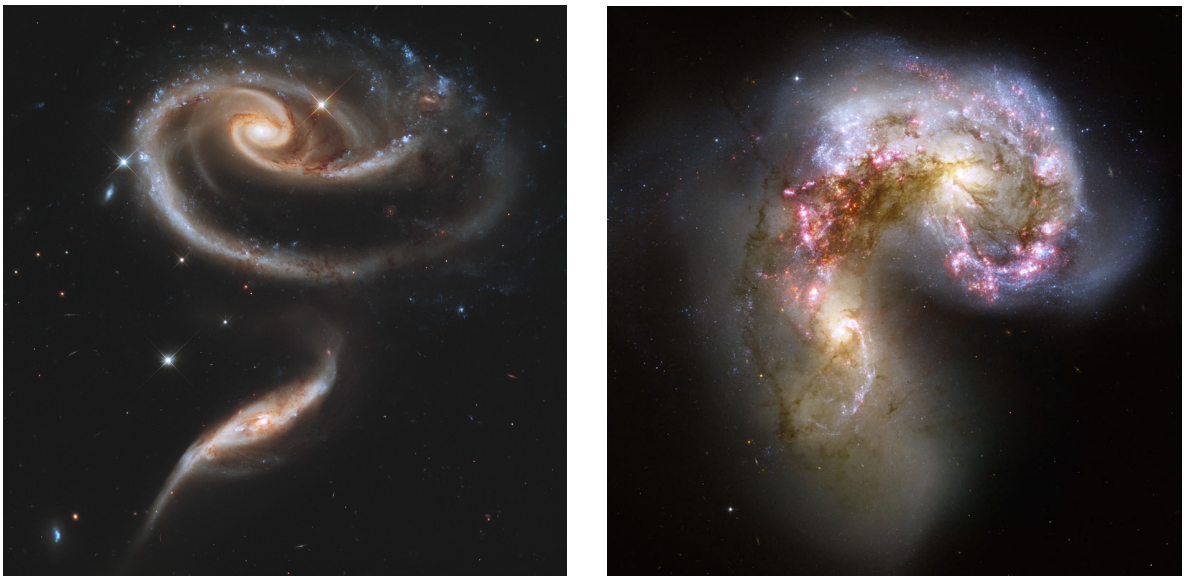


(a) **(b)**

Fig. 6: (a) Le simulazioni numeriche di un Universo dominato da materia oscura fredda ci forniscono immagini di come essa sia distribuita insieme a quella ordinaria nell'Universo odierno (pannello di sinistra). All'intersezione dei filamenti le zone più dense, in giallo, ospitano galassie, gruppi e ammassi di galassie (Tom Abel & Ralf Kaehler). (b) Una mappa della distribuzione delle galassie osservate mostra come esse siano disposte lungo filamenti (M. Blanton and the SDSS). Il tenue gas dei filamenti non emette ma può assorbire luce di oggetti più distanti.

è una materia che non assorbe o emette luce, chiamata materia oscura. Ancora non la conosciamo, ma sappiamo che ha alcune caratteristiche. La piccola ampiezza delle perturbazioni nel fondo cosmico supporta un modello di materia oscura fredda, i cui costituenti si muovono lentamente, non hanno carica elettrica, interagiscono poco con la materia ordinaria e si aggregano perchè sentono la mutua attrazione gravitazionale. La materia ordinaria che conosciamo e di cui sono fatte le stelle o i pianeti (gli elementi chimici che troviamo nella tavola periodica degli elementi), chiamata dagli astronomi materia barionica, costituisce solo una piccola frazione della massa dell'Universo. Le prime evidenze di questa materia, chiamata materia oscura, sono state fornite dall'osservazione dei moti nelle e delle galassie e successivamente dalle lenti gravitazionali. La materia oscura si aggrega prima su piccole scale formando piccole galassie e poi strutture sempre piu' grandi trascinando con se, grazie alla gravità, la materia ordinaria. Senza la materia oscura non riusciamo a spiegare come si sia passati da un Universo quasi omogeneo a un Universo strutturato come è quello odierno. Nel suo complesso questo tipo di Universo viene chiamato gerarchico. Non abbiamo ancora certezze dell'esistenza di strane particelle che invochiamo come costituenti della materia oscura, e continuiamo a cercarle nelle zone più dense del cosmo, negli esperimenti con gli acceleratori sulla Terra o con bersagli nascosti nelle sue profondità. Né sappiamo quale frazione della crescita in massa di una galassia provenga dall'accrescimento di gas intergalattico e quale invece sia dovuta alla fusione con altre galassie o sia presente sin dalla nascita. Dall'infinitamente grande all'infinitamente piccolo: le più grandi strutture dell'Universo dipendono dalla natura di particelle infinitamente piccole. Ingredienti, quali materia ed energia oscura che regolano l'evoluzione di questo ambiente, dell'Universo, saranno oggetto di ricerche e nuovi sviluppi tecnologici nel futuro.

ll modello cosmologico più accettato oggi prevede che l'Universo sia permeato da energia e materia oscura, con la materia comune che rappresenta solo il 5% di esso, per lo più distribuita con densità bassissime nella vastità dello spazio intergalattico. La materia comune, detta barionica e fatta dai costituenti atomici che conosciamo, rappresenta solo il 16% della materia totale. Il resto è materia oscura. Le osservazioni supportano questo modello cosmologico ma ci sono ancora attriti e controversie da risolvere, fra cui quelli relativi al valore della costante H_0. Alcuni astronomi studiano possibili limiti della legge di gravitazione universale per spiegare osservazioni con modelli diversi, senza materia o energia oscura. La natura delle galassie è dunque ancora oggi sconosciuta, perchè la loro massa potrebbe essere dominata da particelle di natura ignota. Abbiamo fatto grandi progressi dai tempi di Hubble ai giorni nostri nell'astronomia



(a) **(b)**

Fig. 7: Galassie interagenti. (a) Le galassie, Arp273, sentono la mutua attrazione distorcendosi e sviluppando un'intensa formazione stellare. Nel futuro diventeranno un'unica galassia più grande. (b) Le Antennae, due galassie in procinto di formare un'unica galassia (NASA, ESA and the Hubble Heritage team)

extragalattica, ma abbiamo ancora domande importanti a cui rispondere negli anni che verranno.

Bibliografia

Alexander, S. (1852). "On the origin of the forms and the present condition of some of the clusters of stars, and several of the nebulae", *Astronomical Journal*, 2, pp. 95-96.

Corbelli, E. (2025). "Depictions of a lunar eclipse and the dawn of astrophysics in van Gogh's paintings", *Journal of Astronomical History and Heritage*, 28(1), pp. 240-256.

Galilei, G. (1993). *Sidereus nuncius*. A cura di Battistini, A., traduzione di Timpanaro Cardini, M. Venezia: Marsilio.

Hubble, E.P. (1925). "Cepheids in spiral nebulae", *The Observatory,* 48, pp. 139-142.

Hubble, E.P. (1936). *The Realm of Nebulae*, London: Milford,

Kant, I. (2009). *Storia universale della natura e teoria del cielo*. A cura di Scarpelli, G. & Velotti, S. Roma: Bulzoni.

Oort, J.H. (1959). "A summary and assessment of current 21-cm results concerning spiral and disk structures in our galaxy", in Bracewell R.N. (ed.), *IAU Symposium*, 9, 30 July-6 August, 1958. Stanford: Stanford University Press, pp. 409-415.

Roberts, I. (1895). "Photograph of the spiral nebula M33 Trianguli", *Montly Notices of the Royal Astronomical Society*, 56, pp. 70-72

Tully, R.B. (2023). "The Hubble Constant: A Historical Review", arxiv.org.

Wright, T. (1750). *An original theory or new hypothesis of the universe*. London: Chapelle.

Fonti d'archivio

Abetti, G. (1934). *Lettera a Magnifico Rettore della R. Università di Firenze, con allegata "Relazione sull'attività del seminario Matematico Fisico Astrofisico per il quinquennio 1928-1933"*. Archivio Storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, *Fondo Giorgio Abetti, Corrispondenza*, B. 54, f. 2.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_41, pp. 355–364
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-41

On Hubble's new idea of Large Scale: a social paradigm-based analysis

Angelo Adamo[1]

[1]INAF - IASF, Palermo, angelo.adamo@inaf.it.

Abstract: The thesis I present here concerns the idea of Large Scale in cosmology due to Hubble's discovery. The idea of a larger universe and of a completely different length to which refer all the "events" (terrestrial and cosmological) appear to be primarily a cultural need born in social and economic environments and not only in the astrophysical one. In the general political landscape, on the hint of an imminent, even more devastating world conflict, and on the crisis of values in art, reflection of the uncertain social-political conditions at the origin of the Second World War, the concept of "big" quickly became "bigger": the economy ceased to be an internal aspect of a given country, rapidly becoming a factor binding increasingly distant nations; the previous colonial policy of expanding borders led to the expansion of clashes of interests from a European to a global scale. The first Great War was truly great and was greater than all previous conflicts: 70 million people lived the experience of the trenches, and the return home of the survivors brought about unprecedented problems of social reorganization. American industrial production inflated the stock markets and its collapse caused a few years later a vortex dragging with it all the countries economically linked to the United States. I will try to show how, in this climate of new social crisis, it was possible, if not even necessary, to question also the conception of a universe hitherto considered much narrower.

Keywords: Society, Science Language, Scientific Revolution, Paradigm.

1. Introduzione

L'idea di questa indagine nasce dal sospetto che alcune grandi rivoluzioni del pensiero occorse in un ambito specifico come quello cosmologico siano state sostenute, suggerite, sponsorizzate, quasi, da altri importanti avvenimenti verificatisi in settori della società apparentemente lontani e sconnessi dal primo. Eventi economici e sociali sotto gli occhi di tutti, ma che nella maggior parte degli individui generano adattamento al cambiamento, mentre in pochi altri, come nel caso di Edwin Hubble (1889-1953), stimolano più o meno consciamente idee che vanno a impattare su particolari apparati culturali nei quali da tempo si attendeva una svolta che tardava ad arrivare. Leggendo i vari resoconti di quanto accadde in quel famoso *Great Debate* del 1920[1], mi sono imbattuto nell'articolo di Trimble (1995) la quale credo abbia avuto una intuizione per certi versi simile alla mia, ma non uguale in quanto si è limitata solo alla enumerazione degli avvenimenti importanti avvenuti in quel periodo, utili per dare un quadro storico abbastanza esaustivo di quale fosse il clima culturale nel quale Harlow Shapley (1885-1972) e Heber D. Curtis (1872-1942) si fronteggiarono alla National Academy of Sciences di Washington quel lontano 26 Aprile del 1920. Il tema del dibattito fu, come è noto, la reale dimensione del cosmo che, riassumendo, secondo il primo si estendeva per uno spazio equivalente a quello occupato dalla sola nostra galassia, mentre per il secondo andava ben oltre. Un tema trattato a partire da quello a esso connesso della vera natura delle numerose *nebulae* da tempo osservate che sfuggivano a ogni classificazione precisa. Secondo Shapley esse appartenevano alla Via Lattea, mentre per Curtis erano esterne a essa. Come avrò

[1] apod.nasa.gov

modo di dire meglio nel prosieguo, sono convinto che, risolvendo il problema, Hubble abbia avuto la possibilità di credere fermamente in ciò che i suoi dati mostravano, corroborati da ciò che nella società del tempo stava avvenendo. Per dirla alla Kuhn (la sua idea di rivoluzione scientifica sembra proprio trovare un ottimo esempio nella nuova prospettiva offerta dalla scoperta di Hubble), il cambio di paradigma scientifico introdotto dall'astronomo americano potrebbe non essere altro che uno dei risultati del più ampio cambio di visione del mondo avvenuto stavolta nel tessuto socio-economico della fine del secolo precedente e del turbolento inizio del XX secolo. Questo tema sarà il punto di arrivo di un'analisi partita inizialmente con un'attenta disanima di "The realm of neubulae" (Hubble 1936), un testo nel quale si ravvisano elementi che decisamente ancorano Hubble a mode, tendenze, certezze del tempo in cui viveva, rendendolo sì rivoluzionario, ma a partire da legami profondi con quanto all'epoca la "cultura normale" - con questa espressione compio un parallelo con la "scienza normale" della prospettiva kuhniana - aveva già solidamente consacrato come vero.

2. Termini e metafore botanici e sociali per la nuova scienza

In *The realm of Nebulae*, un libro di alta divulgazione che, riportando quasi tutte le stesse formule e tabelle presenti nei suoi articoli scientifici (Hubble 1929; Hubble & Humason 1931), non fa molti sconti al lettore, Hubble si dimostra molto sensibile al problema dell'uso dei termini tanto da intitolare un paragrafo dell'introduzione "Il linguaggio dell'astronomia" (Hubble 1929 p. 7). Lui stesso sarà costretto a espandere il glossario dei termini necessari per parlare di quella scienza che, da quel momento in poi, avrebbe incluso pure ciò che lui stesso aveva scoperto inaugurando la storia dell'astrofisica extragalattica. Afferma che "Some of the terms have long histories. The words themselves are familiar, but the technical definitions are far removed from common usage". E infatti nel suo libro fa un uso disinvolto di termini quali: "gruppo", "membro", "individuo", "colonia", "regno", "famiglia", "aggregazione", "organizzazione", "cluster". I primi tre erano già ampiamente in uso in contesti scientifici e astronomici. Li si trova, infatti, in alcuni degli scritti di Herschel, un dato che fa risalire l'ingresso di queste parole nel lessico scientifico a un'epoca precedente al pensiero di Auguste Comte (1798-1857) e Émile Durkeim (1858-1917), suggerendo così una loro origine non sociologica, bensì giuridico-sociale. Dà, poi, una definizione più precisa di gruppo distinguendolo da "cluster": "The nomenclature of the clusters is still arbitrary and in this discussion the term "cluster" will be restricted to grea clusters alone. The term "group" will be used for the lesser organization" (Hubble 1929, p. 77). Il termine "colonia" usato, ad esempio, a p. 82 potrebbe indicare l'adozione in astronomia di una terminologia geografica in un periodo storico in cui, come diremo nel prosieguo, le enormi distanze fisiche e temporali tra paesi conquistatori e paesi conquistati vengono accorciate dall'introduzione di nuovi e veloci mezzi di trasporto, mentre "aggregazione" e "organizzazione" sono, più chiaramente di altri, di derivazione sociale prima, e botanica poi. Un altro termine che Hubble introduce in ambito astrofisico e di cui si serve spesso - termine che potrebbe sembrare aver mutuato dalla sociologia o dal diritto, e che invece si scopre essere stato usato per la prima volta nelle scienze naturali, in ambito botanico, da Pierre Magnol (1638-1715) nel suo *Prodromus historiae generalis plantarum, in quo familiae plantarum per tabulas disponuntur* (1689) è "famiglia"[2] (La Vergata 1988). Stesso dicasi per la parola "inhabitants". Hubble se ne serve diverse volte, ma non come ci si attenderebbe: piuttosto che parlare di possibili forme di vita aliene, intende questi abitanti come le stesse *nebulae* che popolano lo spazio campionato dalle sue osservazioni. L'astronomo americano si pone pure problemi dal sapore moderno, notando quanto divulgare a un pubblico di non esperti sia un'arte difficile, e prepara il lettore ad accettare un uso modificato di termini già noti o all'adozione di nuovi, come, ad esempio, la parola "parsec":

> Other terms are recent additions, deliberately coined in efforts to avoid the confusion of associated ideas. The result is a vocabulary so strange to the general reader that scientific reports, many of which are relatively simple, appear to be wrapt in a mantle of obscurity. (Hubble 1936, p. 20)

[2] In seguito, esso diverrà di uso comune per definire le gerarchie tassonomiche (se ne servirà anche Linneo)

Nel testo usa anche una metafora etologica scrivendo "The sun is a star among the many millions which form the stellar system. The stellar system is a swarm of stars isolated in space. It drifts through the universe as a swarm of bees drifts through the sunrise air" e introducendo una nuova branca astrofisica, passando da una descrizione necessariamente (ancora) morfologica di ciò che osserva, sembra quasi non rendersi del tutto conto di necessitare di metodi tassonomici e termini mutuati da altre scienze: la botanica e le più giovani scienze sociali. Del resto, come faceva notare Kuhn, "l'accoglimento di un nuovo paradigma spesso richiede una nuova definizione di tutta la scienza corrispondente" (Kuhn 1969, p. 132), nonché, aggiungerei, anche del linguaggio che questa scienza parla perché la nuova interpretazione della realtà induce una nuova *percezione gestaltica* - concetto caro allo stesso epistemologo - dei problemi, quindi pure una nuova descrizione linguistica di essi. Hubble stava attuando una vera e propria rivoluzione scientifica e culturale che, passando dalle metodologie oramai note ("scienza normale"), abbattendo alcune convinzioni sbagliate circa il cosmo su grande scala, si avviava a produrre un nuovo paradigma culturale e scientifico che gli impose pure un cambio di repertorio semantico.

3. Animal realm, plant realm, mineral realm... *realm of nebulae*

Una certa istintiva analogia tra il lavoro dell'astronomo osservativo, quale Hubble era, e il naturalista - botanico, zoologo o geologo che fosse,[3] la si può già cogliere, oltre che dall'uso ricorrente del termine "regno" usato per indicare il sistema delle nebulae, quindi del cosmo su grande scala, da alcune considerazioni che il nostro, parlando di metodo scientifico, rivela nell'introduzione al suo libro:

> The observer commonly starts by accumulating an isolated group of data, together with their estimated uncertainties. The material is studied, usually by graphical methods, and relations are found between various features. (Hubble 1936, pp. 2-3)

Parole e temi che immettono di diritto questo approccio nella divisione già esistente nella prima metà dell'Ottocento tra sistematici classificatori e fisiologi operanti sia in ambito botanico, sia in quello zoologico. Ovvio che, trattandosi di una scienza del tutto nuova, l'astrofisica extragalattica, iniziata proprio con Hubble, non poteva certo avere velleità "da fisiologi": fatta esclusione per alcuni tratti più evidenti della fisica delle Cefeidi - tipologia di stelle di cui al tempo poco si sapeva dal punto di vista del loro funzionamento interno e usate da Hubble per misurare la distanza di M31, grazie alla relazione periodo-luminosità scoperta da Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) - comprendere le dinamiche fisiche (si legga "fisiologiche") all'origine dell'aspetto esteriore delle nebulae che lui aveva scoperto essere esterne alla Via Lattea era ancora difficile, se non impossibile. L'unica alternativa per Hubble - come, del resto, pure per gli altri astronomi - era predisporsi alla loro attenta osservazione per poi compiere uno studio morfologico, quasi fisiognomico, e spettroscopico di quelle debolissime nebulosità non meglio definite. Per la classificazione tassonomica delle morfologie galattiche da lui osservate, Hubble adotta nel 1926 qualcosa di decisamente simile alla cosiddetta "nomenclatura binomiale" introdotta per la prima volta, in botanica, da Gaspard Bauhuin (1560-1624) e poi perfezionata dallo svedese Carlo Linneo (1707-1778) che le ha conferito la forma tutt'ora in uso. In quel sistema di classificazione "ogni specie è designata da due parole: il nome del genere e un epiteto specifico, che distingue la specie fra tutte le

[3] Un'analogia che troviamo già matura in William Herschel, il quale, per come venivano a quel tempo intesi quei mestieri, botanico e zoologo comunque lo era davvero (basti ricordare il suo lavoro sui coralli). Tra tutti i diversi suoi articoli da me consultati, ho trovato solo in uno che l'astronomo inglese si rifà esplicitamente, in vari punti al mondo vegetale e animale, riferendosi spesso a "piante", "semi" e "animali" e in chiusura afferma: "This method of viewing the heavens seems to throw them into a new kind of light. They now are seen to referable a luxuriant garden, which contains the greatest variety of productions, indifferent stourilhing beds; and one advantage we may at lead; reap from it is, that we can, as it were, extend the range of our experience to an immense duration. For, to continue the simile I have borrowed from the vegetable kingdom, is it's not almost the same thing, whether we live successively to witness the germination, blooming, foliage, fecundity, fading, withering, and corruption of a plant, or whether a vast number of specimens, selected from every stage through which the plant passes in the course of its existence, be brought at once to our view?" (Herschel 1789, pp. 214-226).

altre dello stesso genere; insomma, cognome e nome, come per gli uomini (il paragone è di Linneo)" (La Vergata 1988, p. 341). Il genere si indica sempre con la lettera iniziale in maiuscolo; l'epiteto, invece, va in minuscolo[4].

Per Hubble abbiamo tre generi di galassie: Irr (irregolari), E (ellittiche) e S (spirali) cui seguono, nel caso delle ellittiche, epiteti numerici come, ad esempio: E0, E1, S0, ottenuti dal rapporto $\frac{(a-b)}{a}$, con a che indica il semiasse maggiore della galassia osservata e b quello minore: rapporto di cui si considera solo la prima cifra dopo la virgola, omettendo quindi lo zero nella posizione delle unità. Nel caso delle spirali, invece, si indica il diverso sviluppo dei bracci, che possono essere più o meno pronunciati, con un epiteto alfabetico minuscolo costituito da una lettera (a, b, c, ...). Stessa cosa dicasi, infine, per le cosiddette spirali barrate per le quali si usano due lettere maiuscole SB (Barred Spirals) seguite dal solito epiteto minuscolo a, b, c, ...

4. "Il cosmo non fa salti"

Un altro aspetto che fa di Hubble un uomo del suo tempo sembra essere la sua scelta di costruire il famoso "diagramma a diapason" (Fig. 1), rappresentazione grafica della classificazione delle galassie scaturita dalle sue osservazioni. Un diagramma che ricalca molto da vicino i tipici "alberi filogenetici" - con la sua struttura biforcata, sembra essere proprio l'elemento unitario di un grafo - che già da circa un secolo venivano realizzati per rappresentare catalogazioni che sottintendevano una certa idea di evoluzione/derivazione nel tempo a partire da radici comuni[5].

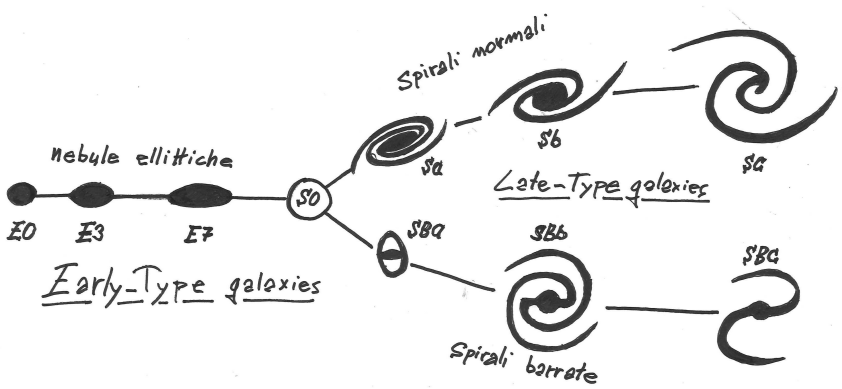


Fig. 1: Il celebre "diagramma a diapason" di Hubble (Credits: Angelo Adamo)

Proponendo quel diagramma, Hubble lascia intendere di credere pure in una evoluzione cronologica delle caratteristiche delle nebule che, a partire dalle lenticolari E0 poste a sinistra nello schema, conduce alle spirali progressivamente più strutturate e dalle braccia sempre più aperte, poste al suo estremo opposto. Non avendo prove certe dell'esistenza di questa evoluzione, ci tiene a precisare che:

> The zero point is arbitrarily selected at the free end of the elliptical section. The progression throughout the complete sequence thus runs from the most compact of the elliptical nebulae to the most open of the spirals – a progression in dispersion or expansion. The terms "early" and "late" are used to denote relative position in the empirical sequence without regard to their temporal implications. This explanation

[4] Ad esempio, nel caso dell'animale uomo, per la prima volta inserito proprio dallo studioso svedese nel novero degli animali, sappiamo che nella sua forma moderna è indicato come Homo sapiens, dove Homo indica il genere e l'epiteto specifico sapiens serve a distinguere la nostra particolare specie all'interno di quel genere da altri esemplari cronologicamente precedenti come, ad esempio, l'Homo erectus.

[5] Famoso è il cosidetto "albero della vita": il diagramma è l'unica illustrazione nell'edizione del 1859 di *On the origin of species by means of natural selection* (Darwin, 2009b, pp. 610-611).

> emphasize the purely empirical nature of the sequence of classification. The consideration is important because the sequence closely resembles the line of development indicated by the current theory of nebular evolution as developed by Sir James Jeans. (Hubble 1936, p. 38)

In ogni caso, Hubble non esclude mai in modo esplicito una possibile evoluzione cronologica delle diverse specie di nebule E, S, SB, IRR da lui osservate. Sembra piuttosto essere, come già detto, consapevole dell'incompletezza dei dati a sua disposizione e di non poter quindi arrivare a formulare una corretta teoria evoluzionistica alla base della sua nuova astrofisica extragalattica. Nota che "milions of nebulae are within reach of exhisting telescopes, but relatively few are sufficiently large and bright for detailed investigations" e che "numbers of nebulae increase rapidly with decreasing brightness, and the great majority are recorded on the photographic plates as mere formless specks, barely distinguishable from images of faint stars. These objects in general are beyond the limits of any useful classification" (Hubble 1936, p. 37): due periodi nei quali si può intravedere l'ombra di un famoso argomento di discussione del '700, secolo durante il quale, appellandosi al concetto di "continuità della natura" (*Natura non facit saltus*), alcuni teorizzavano vi fosse una variazione continua delle forme naturali capace di condurre con estrema gradualità attraverso tutta la gamma di quelle osservate[6]. Egli non ha dati circa un'evoluzione temporale delle forme delle nebule, ma proprio l'adozione di quel suo diagramma suggerisce che possa credere come, inosservato, vi sia all'opera un travaso da una tipologia del suo schema a quella adiacente, a destra. Non avendo prove per dirlo, può solo indurci a sospettare che le forme intermedie tra diverse tipologie di nebulae dello schema siano da esso assenti in quanto, troppo lontane e deboli, non hanno impressionato le sue lastre fotografiche, e lo fa esprimendo l'idea con un adeguato, ammiccante schema grafico e con termini ambigui (*early*, *late*)[7] .

5. La seconda rivoluzione industriale-tecnologica

Riporto qui un punto di vista capace di sintetizzare il quadro storico nel quale la vicenda culturale di Hubble ha avuto inizio: "La prima guerra mondiale rappresenta lo spartiacque tra due secoli: il 'lungo' Ottocento che si conclude con la sconfitta degli Imperi che ne hanno garantito la stabilità e il 'breve' Novecento delle mutazioni tragiche e innovatrici." (Frascani 2024, p. 13). Gli fa eco Viola il quale nota che:

> Gli ultimi trent'anni dell'Ottocento e i primi quindici anni del Novecento furono un lungo periodo di pace in cui l'Europa affrontò le trasformazioni più grandi di tutta la sua storia precedente. Sia la società che la politica ne risultarono sconvolte. Un immenso sviluppo culturale, economico, tecnologico, finalmente trasformò in maniera molto consistente e visibile la vita quotidiana della maggioranza dei suoi abitanti, molto più che nella prima rivoluzione industriale, e per la prima volta anche nelle campagne. (Viola 2000, p. 283)

Pubblicate solo trent'anni prima della nascita di Hubble, le idee di Darwin (Darwin, 2009a) - dalle quali, come è noto, è scaturita un'altra, fondamentale rivoluzione culturale - si basavano in buona parte su quelle di Malthus (1798), svelando così una certa dimensione economica dell'adattamento delle specie in natura. Darwin infatti nota che la selezione del più adatto si svolge sempre all'interno di un ambiente in cui vigono regole "economiche": la diffusione tendenzialmente senza freni dei patrimoni genetici individuali nella lotta per la sopravvivenza dei genotipi deve, da un certo momento in poi, fare comunque i conti con un ambiente in cui le risorse alimentari sono limitate. Malthus sottolinea che per

[6] "Non c'è alcun intervallo, né grande né piccolo, fra due sviluppi successivi e vicini. La Natura passa dall'uno all'altro senza discontinuità. Quando crediamo di cogliere un'interruzione, una soluzione di continuità, è perché ci sfuggono le sfumature intermedie", Jean-Baptiste Robinet in La Vergata 1988, p. 356.

[7] In ogni caso, per motivi statistici, e appellandosi, come aveva già fatto altrove nel testo, al "principio di uniformità della natura" dell'economista J. S. Mill, considera il campione di nebulae, un "fairy sample" (Hubble 1936, p. 57).

l'animale uomo, si ha una produzione agricola in progressione aritmetica laddove la popolazione mostra di crescere a dismisura basandosi su dinamiche che procedono piuttosto in progressione geometrica (Fig. 2a). Come le idee di Malthus nascono nel clima della prima rivoluzione industriale, stimolata dall'uso quasi spregiudicato delle macchine a vapore (una rivoluzione di cui stranamente, attirato dalla sola dimensione agricola dell'economia, egli sembra non rendersi conto), così quelle di Hubble sono state, per sua stessa ammissione, stimolate da una rivoluzione industriale di altro tipo. L'astronomo, infatti, sottolinea più volte nel libro l'importanza che il suo telescopio Hooker da 100 pollici, figlio di uno sviluppo industriale anomalo, se confrontato con il recente passato della tecnologia costruttiva di questo come di altri strumenti (si pensi ai vantaggi produttivi introdotti in quel periodo dall'uso delle catene di montaggio) e di una crescita altrettanto anomala delle distanze coperte dai trasporti aerei e navali, quindi dai commerci transcontinentali[8], ha avuto nella nascita dell'astronomia extragalattica. Nel testo, egli sintetizza la storia dell'evoluzione del concetto di "nebula" legandola all'uso dello strumento telescopio e al suo sviluppo nel tempo. Un'evoluzione che, partita con Galilei e continuata con Herschel e Huggins, culmina con l'arrivo del suo Hooker[9] (Fig. 2b)[10]. Un sentore di crescita scientifica legata a quella strumentale[11] che si avverte in più affermazioni, ma soprattutto in quella del sociologo George Sarton, citata dallo stesso astronomo che nella sua *Introduzione alla storia della scienza* (1927) scrive: "The acquisition and systemization of positive knowledge is the only human activity that is truly cumulative" (Hubble 1936, pp. 26-28). Una crescita cumulativa che, con la progressione dei numeri caratterizzanti gli sviluppi avvenuti dal conflitto franco-prussiano in poi nei vari settori della società dell'epoca, quindi anche in quello della ricerca tecnologica e scientifica, ad Hubble e ai suoi contemporanei deve essere apparsa non lineare, ma piuttosto esponenziale[12]. Mentre, parlando di galassie, Hubble notava che "The inhabitants of the realm are scattered singly and in groups. The frequencies of the groups diminish as the size of the groups increase." e che "The largest groups – the great clusters – are curiously similar organizations, and their relative distances are indicated by their apparent dimensions" (Hubble 1936, p. 82), similmente ad altri appariva chiaro che "nel 1929 500.000 persone con reddito elevato ricevono proventi complessivi pari all'ammontare dei salari di 615.000 operai." (Frascani 2024, p. 28). E mentre Hubble valutava le distanze dalle nebulae inducendole dalla misurazione di alcuni parametri di "individui" stellari (Cefeidi e novae) che a esse appartengono, analogamente, nel suo stesso paese a forte

[8] "Due anni prima l'osservatorio si era dotato di un nuovo telescopio, il più potente mai costruito dall'uomo... Lo specchio aveva un diametro di due metri e mezzo ed era stato ricavato da un blocco di quarzo che pesava due tonnellate: fuso negli stabilimenti di Saint-Gobain, nei pressi di Parigi, era stato lasciato raffreddare per un intero anno, per evitare ogni incrinatura. La sua concavità era stata molata con strumenti della massima precisione. Poi lo specchio era stato portato oltre Atlantico, caricato su un furgone e trasportato fino a Monte Wilson lungo una stradina non asfaltata. Montato al prezzo di improbe fatiche, nel novembre del 1909 il nuovo telescopio riceveva le prime immagini dell'universo" (Blom 2019, p. 160).

[9] "The conquest of the Realm of the Nebulae is an achievement of great telescopes... The instrument which definitely established the identification- and enlarge the domain of positive knowledge a thousand million fold – is the Hooker telescope-the 100-inch reflector of the Mount Wilson Observatory of the Carnegie Institution of Washington. It is the largest telescope in operation, it has the largest light-gathering power, and it penetrates to the largest distances. For these reasons, it defines the present extent of the observable region of space, and it has contributed the most significant data to the study of the region as a sample of the universe... The advance into regions hitherto unknown has been made during the last dozen years with the aid of great telescopes... The solution came ten years later, largely with the hep of a great telescope, the 100-inch reflector, that have been completed in the interim... The 100-inch reflector partially resolved a few of the nearest, neighboring nebulae into swarms of stars... The solution of the problem was an achievement of great telescopes. As telescopes and technique improved, they eventually reached a certain critical point and, in due course, the barrier fell" (Hubble 1936, pp. 20-83).

[10] "1) From the days of Galileo to the present, telescope diameters have steadily grown, with a doubling time t 2 of nearly 50 yr. 2) Beginning in 1730, major refractors' apertures followed a strictly exponential curve of growth, with t 2x=45yr, before stopping with the Yerkes 40 inch (1.02 m) in 1897. 3) Over the last 300 yr, the very largest "frontier" reflectors have defined a sharp and distinct upper boundary to the D(t) distribution, with yr and m. This exponential growth is taken to have been t 2x=48 and D 1900=2.3 m imposed strictly by the rate at which telescope technology has progressed" (Racine, 2004).

[11] Se cerchiamo un analogo all'esperienza di Hubble, forse lo troviamo proprio nella scoperta di Urano, compiuta da William Herschel col suo nuovo telescopio (Kuhn 1969, p. 144).

[12] "Geometrica", per dirla alla Malthus.

caratterizzazione industriale, venivano condotte le prime indagini di mercato su singoli individui, tese a stabilire "la distanza economica tra gruppi sociali indagando sistematicamente su quello che il pubblico voleva vedere differenziando non solo in relazione all'età o al genere, ma anche alla dimensione delle città e a molti altri criteri. L'industria americana conosceva i suoi clienti e questa conoscenza consentì la creazione dello star system" (Frascani 2024, p. 23). A tutto ciò vanno sommati gli effetti sulla già citata percezione gestaltica di un qualsiasi abitante dell'occidente di quegli anni. Tali effetti furono stimolati da fattori quali il velocissimo sviluppo dell'industria cinematografica; l'evoluzione del motore a scoppio, dei traffici navali, della tecnologia aeronautica e del conseguente ampliamento delle distanze commerciali; la diffusione dell'illuminazione, delle reti telefoniche, delle telecomunicazioni; le linee di produzione industriale e la nascita dei primi movimenti sindacali; la sperequazione tra il numero di morti e feriti durante il primo conflitto mondiale e quelli di tutti i conflitti precedenti; il numero di morti causati dalla Spagnola, prima vera pandemia; la crescita del mercato mondiale dominato dall'America, unica vera vincitrice del primo conflitto mondiale, e la politica dei dazi americana. Tutti fattori (si veda la tabella storico-social-numerica) che concorreranno, più di altri ancora, a generare la prima crisi economica mondiale del '29 durante la quale, forse per la prima volta, si verificò una inversione del problema sollevato da Malthus: l'offerta di risorse superò di gran lunga la domanda. Si tratta di dati che parlano in modo chiaro di un cambio di valore numerico da associare a ciò che fino a pochi decenni prima veniva considerato "grande". Il nuovo mondo, quello nel quale Hubble vive, celebrato da esposizioni universali e da Antonin Dvorak nella sua sinfonia più famosa – che peraltro dedica all'America - è caratterizzato da scale decisamente molto più grandi di quelle misurate fino a quel momento. A conflitto mondiale terminato, con i famosi "14 punti" di Woodrow Wilson si regolamentavano i rapporti tra i nuovi e i vecchi stati emersi dallo smembramento e dalla riorganizzazione della vecchia mappa mondiale. Analogamente un'altra legge, quella della recessione delle galassie di Hubble, smembrava la galassia-universo di Shapley[13] restituendo dignità giuridica di "universi isola" anche alle (apparentemente) piccole nebulae lontane che entravano di diritto a fare parte della nuova assemblea delle galassie.

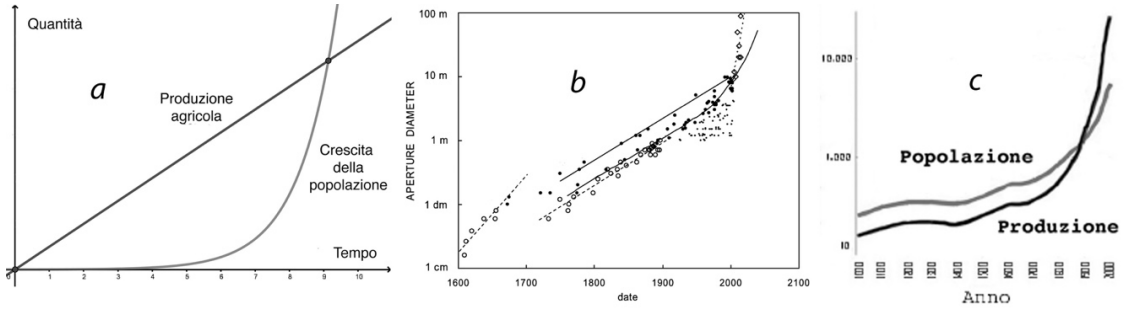


Fig. 2: (a) Esemplificazione dell'idea di Malthus alla base della teoria darwiniana. (b) Versione dell'autore di quella in Racine, si apprezza l'evoluzione dei diametri dei grandi telescope. (c) Evoluzione mondiale della produzione industriale in milioni di dollari e la crescita della popolazione in milioni di individui. Dal confronto dei tre grafici si evince quale possa essere la "firma" di una rivoluzione industriale, economica e culturale.

[13] Cecilia Payne-Gaposchkin raccontò che, Harlow Shapley, all'epoca suo capo, ricevette nel 1924 una lettera di Hubble nella quale lapidariamente si diceva: "Vorrei informarti del fatto che in questi ultimi cinque mesi, osservando assiduamente la Nebulosa in Andromeda (M31), vi ho scoperto nove stelle novae e due variabili: una di queste è sicuramente una Cefeide". Al testo era allegato un grafico della curva di luce della Cefeide dal quale risultava evidente che la distanza di M 31 fosse tale da porla al di fuori della Via Lattea. Shapley le mostrò la lettera dicendole: "Ecco la lettera che distrugge il mio Universo" Johnson, 2005, p. 94.

6. Conclusioni

C'è chi sostiene che "Il potere e l'economia sono gli ingranaggi fondamentali per comprendere la logica di uno sviluppo storico su scala planetaria dall'anno 1000 fino a oggi" (Conti & Schisani 2016, p. 1). In quest'ottica, si abbraccia l'idea dell'economista Joseph Schumpeter (1883-1950) secondo il quale "lo sviluppo è trainato dall'offerta". Uno sviluppo economico, quindi, basato sui processi produttivi stimolati dai cambiamenti tecnologici - dal suo punto di vista, cambiamenti "esogeni all'economia" (Conti & Schisani 2016, p. 2) – tra i quali annovera pure le conquiste geografiche, capaci anch'esse di creare nuovi mercati. Ne emerge un possibile quadro complessivo che sembra proprio essere quello da attendersi per cambi di paradigma economici - come Cipolla ha fatto notare: "La crescita è a balzi. L'innovazione tecnologica procede per accelerazioni improvvise una volta superate alcune strozzature e, in maniera cumulativa come è avvenuto con l'innesco della prima rivoluzione industriale e, molto prima ancora, con l'inizio delle coltivazioni agricole nel neolitico" (Cipolla 1944, p. 411). Pur non nascondendo una mia certa aderenza alla visione di Schumpeter, per quanto mostrato fin qui, non posso certo dirmi d'accordo con l'affermazione circa l'estraneità dei cambiamenti tecnologici alla dimensione economica, e questo mio articolo spero dia elementi che, se non lo dimostrano, facciano quantomeno sospettare, se non la loro natura endogena e intimamente dipendente da dinamiche e sociali e di mercato, almeno la non estraneità della particolare rivoluzione scientifica introdotta da Hubble alla dimensione economica.
Senza ovviamente mettere in dubbio il carattere scientifico del suo libro e della ricerca che lì si riassume, suggerisco che per linguaggio, metodo, riferimenti e logica sottostante, esso possa essere pure riguardato come un inconsapevole sunto/riflesso socio-economico di quell'epoca. Le impennate dei numeri caratterizzanti l'economia e la società di quel particolare periodo storico, numeri del tutto anomali rispetto a quelli registrati nei periodi antecedenti (si veda Tab. 1[14]), credo abbiano stimolato fortemente la visione di Hubble, cagionando, in modo inconsapevole, la sua intima esigenza di una nuova scala di distanze utile per parlare del cosmo che fosse enormemente più grande di quella valutata in precedenza servendosi esclusivamente di argomenti astrofisici. Kuhn nota che:

> Esaminando la documentazione della ricerca passata dal punto di vista avvantaggiato della storiografia contemporanea, lo storico della scienza può essere tentato di esclamare che, quando mutano i paradigmi, il mondo stesso cambia con essi. Guidati da un nuovo paradigma, gli scienziati adottano nuovi strumenti e guardano in nuove direzioni. Ma il fatto ancora più importante è che, durante le rivoluzioni, gli scienziati vedono cose nuove, e diverse anche quando guardano con gli strumenti tradizionali nelle direzioni in cui avevano già guardato prima... in periodi di rivoluzione, quando la tradizione della scienza normale muta, la percezione che lo scienziato ha del suo ambiente deve venire rieducata: in alcune situazioni che gli erano familiari deve imparare a vedere una nuova Gestalt. Dopo di che, il mondo della sua ricerca gli sembrerà, in varie parti incommensurabile con quello in cui era vissuto prima. Ciò che uno vede dipende sia da ciò a cui si guarda, sia anche da ciò che la sua precedente esperienza visivo-concettuale gli ha insegnato a vedere. (Kuhn 1969, pp. 139-141)

Pongo ora l'accento proprio su questa incommensurabilità: qui non si fa mai riferimento al cambiamento dei paradigmi sociali ed economici, ovvero quelli occorsi nell'ambiente esterno ai centri di ricerca, facendo quasi apparire il discorso kuhniano una serie di analisi che si esauriscono all'interno del solo ambiente scientifico. Mi urge qui proporre di applicare il significato del termine "paradigma" pure a ciò che avviene nell'ambiente attorno allo scienziato dove le rivoluzioni sono molto più numerose e, per questo, quasi, subdole. A mio parere, Hubble potrebbe aver scoperto, o quantomeno percepito, l'"incommensurabilità" citata tra il mondo della sua infanzia, che già si avviava a profondi cambiamenti se confrontati con quanto accaduto fino al conflitto franco-prussiano, e quello della sua maturità caratterizzato dalla rapida crescita dei numeri descriventi la società e le sue diverse "economie". All'iperinflazione di tutte le cifre

[14] Per descrivere il debito pubblico tedesco di quegli anni, Frascani parla addirittura di iperinflazione (Frascani, 2024, p. 40).

Età stimata del Cosmo in yr		~300 x 10^6 C. Darwin. Prima: ~ 4000, Husser																A. Eddington: 10^{10} yr							
Distanze cosmiche campionate																									500 x 10^6 l.y.
Nebulose osservate	103 (Messier)		4600 neb. E cluster (solo 231 gal.), J.W.Hersche l			~ 8000, NGC Cat.																			100 x 10^6
Apertura Telescopi									102 cm (Rifr. Yerkes)			60-inch (1,5 m) M. Wilson				100-inch (2.5 m) Hooker Telescope									
Arte							A. Dvořák, Sinfonia N° 9 "Dal Nuovo mondo"			Pellizza da Volpedo dipinge "Quarto stato"			Malher, Sinfonia N° 8 (dei mille); coro: 858 elementi; orch.:171 musicisti. Durata: 80 minuti										Manifesto del Surrealism o	D. Rivera, Murale *L'uomo controllore dell'univer so*	
Produzione Auto e dischi audio										Ransom E. Olds inventa la catena di montaggio e produce 20 auto/day	100 auto/day I prezzi scendono			50 x 10^6/yr dischi				1.2 x 10^6 auto/yr, H.Ford; 100 x 10^6 dischi /yr			5 x 10^6 auto/ yr			
Energia Elettrica																						La usa il 50% delle industrie americane; USA: 16 x 10^6 case (63% pop.) in rete; diffusione elettro-dom.		
Eventi socio-economici																			Iperinflazio ne tedesca			Crollo di Wall Street		
Morti per Pandemia																~ 50 milioni (in USA ~ 675.000, in Italia ~ 600.000)									
Morti in guerra				~ 160.000 (Guerra Franco-Prussiana)												37 - 65 milioni									
Anno	1884	1859	64	70	71	88	92	93	97	**1901**	2	8	10	14	15	17	18	20	23	24	25	29	34	36	

Tabella 1: Tabella storico-socio-economica.

che riassumono la realtà socio-economica del mondo attorno a lui, si aggiunge e, si può dire, ne consegue il nuovo dato scientifico circa una grande scala esageratamente al di là dei limiti precedentemente immaginati, che forse in altre epoche avrebbe generato solo stridore nell'incontro con cifre sociali più contenute e normali. Nel linguaggio di tutti i giorni, il concetto di "marea" viene sempre inteso come "marea generata dalla Luna sulle masse d'acqua terrestri", ma non si dà mai il caso opposto che, se sul nostro satellite naturale vi fossero distese liquide, assumerebbe di certo un carattere molto più evidente: immense maree sulla Luna indotte dalla vicina Terra ben più massiccia del nostro satellite. Qui ritengo ci si trovi di fronte a un analogo epistemologico: si parla sempre di rivoluzione scientifica e del suo riflesso sul pensiero comune, ma si compie di rado il percorso opposto che, come una marea ben più intensa – gli ambienti di ricerca sono un sottoinsieme della società, e non viceversa - va dalla massa sociale a quella del mondo della scienza. Si può riadattare un periodo del testo di Kuhn, asserendo che: "lo scienziato che abbraccia un nuovo paradigma sociale, assomiglia, più che a un interprete, a colui che inforca occhiali con lenti invertenti. Sebbene abbia di fronte a sé lo stesso insieme di situazioni di prima e sia cosciente di ciò, egli le trova nondimeno completamente trasformate in parecchi dettagli" (Kuhn 1969, p. 151)[15] .

Bibliografia

Blom, P. (2019). *La grande frattura. L'Europa fra le due guerre (1918-1938)*. Venezia: Marsilio.

Cipolla, C.M. (1944). *Storia economica dell'Europa pre-industriale*. Bologna: Il Mulino.

Conti, G. & Schisani, C. (2016). "L'evoluzione storica e l'organizzazione dei mercati attraverso moneta e finanza", in Findlay, R. & O'Rourke, K.H. (eds.) *Potere e ricchezza. Una storia economica del mondo*. Torino: UTET, pp. 1-44.

Darwin, C. (2009a). *L'origine delle specie: abbozzo del 1842, lettere 1844-1858, comunicazione del 1858*, a cura di T. Pievani. Torino: Einaudi.

Darwin, C. (2009b). *L'origine della specie; L'origine dell'uomo e altri scritti sull'evoluzione*. Roma: Newton Compton.

15 Nel testo originale, si parla di paradigma senza l'aggettivo sociale da me aggiunto, e di oggetti e non situazioni.

Frascani, P. (2024). *L'altro Novecento*. Bari-Roma: Laterza.

Hershel, W. (1789). "Catalogue of a second thousand of new nebulæ and clusters of stars; with a few introductory remarks on the construction of the heavens", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 79, pp. 212–255.

Hubble, E. (1929). "A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 15(3), pp. 168-173.

Hubble, E. (1936). *Realm of the Nebulae*, New Haven: Yale University Press.

Hubble, E. & Humason, M. (1931). "The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae", *Astrophysical Journal*, 74, pp. 43-80.

Johnson, G. (2005). *Miss Leavitt's Stars*. New York: W.W. Norton.

Kuhn, T. (1969). *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Torino: Einaudi.

La Vergata, A. (1988). "La storia naturale e le classificazioni", in Abbri F. *et al.* (a cura di) *Storia della scienza moderna e contemporanea, vol. I*. Torino: Utet, pp. 779-841.

Malthus, R. (1946). *Sul principio di popolazione*. Torino: UTET.

Racine, R. (2004). "The Historical Growth of Telescope Aperture", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116(815), pp. 77–83.

Trimble, V. (1995). "The 1920 Shapley-Curtis Discussion", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 107, pp.1133-1144.

Viola P. (2000). *Storia moderna e contemporanea*. Torino: Einaudi.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_42, pp. 365–372
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-42

Hubble non ha scoperto l'espansione dell'universo: osservazione *versus* scoperta

Giovanni Macchia[1]

[1]Università di Urbino Carlo Bo, Urbino, giovanni.macchia@uniurb.it.

Abstract: The standard belief is that the expanding universe was discovered by Edwin Hubble in 1929. Important historians of cosmology (H. Kragh, R. Smith, S. Bergia, C. O'Raifeartaigh) have recently underlined that the question is more complicated, and Hubble cannot reasonably be credited with this *discovery*: his measurements only provided the first experimental *evidence* in support of the hypothesis of an expanding universe, as a linear relation between the redshifts and distances of galaxies does not in itself imply an expansion. On the other hand, Hubble never claimed to have discovered it: his general agnostic attitude was that of a cautious empiricist; thus, he did not deny that the universe expands, but neither was he convinced that it does expand. The same happened in early 1965 when Arno Penzias and Robert Wilson measured an isotropic radiation but did *not* discover a fossil radiation from the Big Bang: that observation became an actual discovery only when Robert Dicke provided a valid theoretical context within which a primordial universal radiation acquired meaning. In short, *observation/measurement* and *discovery* should not be confused: the former might imply the latter only when a theoretical background provides valid reasons to explain that observation. My contribution aims to reflect on this subtle difference, in light also of a distinction by Bergia, according to which observations of a cosmological *nature* might assume a cosmological *value* (thus a relevance for the entire universe) only after accepting specific physical clauses, laws, or hypotheses.

Keywords: Edwin Hubble, History of Cosmology, Expanding Universe, Scientific Discovery

1. Introduzione

La cosiddetta cosmologia moderna nasce nel 1917 con un famoso breve saggio di Albert Einstein nel quale egli applica la sua recentissima Relatività Generale all'universo come un tutto, ottenendo il primo modello relativistico del cosmo. È solo il primo passo teorico dell'evoluzione di una disciplina scientifica, costola della fisica, che in poco più di un secolo, grazie a sempre più precise osservazioni/misurazioni ed elaborati modelli teorici, vedrà rivoluzionare la nostra immagine dell'universo. L'esordio della più dirompente fra queste osservazioni avverrà ufficialmente nel 1929, con un articolo dell'astronomo statunitense Edwin Hubble, grazie al quale gli astronomi cominciarono ad avere la consapevolezza che il cosmo non è statico, come creduto per millenni, ma in espansione.

Gran parte dei libri, specialistici e divulgativi, proclama Hubble come lo scopritore di questo incredibile fenomeno naturale. Ad esempio, Einstein afferma: "dopo la scoperta di Hubble della 'espansione' del sistema stellare" (Schilpp, 1958, p. 630). L'astrofisico e divulgatore Gribbin scrive: "*La* scoperta del secolo, almeno in cosmologia, è stata senza dubbio la scoperta drammatica fatta da Hubble, e confermata dalle equazioni di Einstein, che l'Universo non è eterno, statico e immutabile, ma è in espansione" (Gribbin, 1994, p. 19)[1] . Anche l'astrofisico Lamberti afferma che Hubble: "stava preparando il terreno per quella che sarebbe stata la maggiore delle sue scoperte: l'espansione dell'universo" (Lamberti, 2011, p. 68). E potrei continuare a lungo con citazioni similari.

[1] Le citazioni prese da testi che nella bibliografia non compaiono in italiano sono state da me tradotte.

Negli ultimi anni, però, diversi studi – fra i quali Block (2012), Grøn (2018), Nussbaumer & Bieri (2009), van den Bergh (2011a), Way & Nussbaumer (2011), ma già Peebles (1984) – hanno messo in discussione questo fatto che pareva assodato, sostenendo che la questione della paternità di tale scoperta vada rivista, e che spetti maggiormente al fisico e astronomo belga Georges Lemaître[2].

Per comprenderne la ragione vediamo brevemente i contributi di questi due grandi scienziati.

2. Il contributo di Hubble

Agli inizi del 1929, Hubble pubblicò uno storico articolo (1929a) in cui ricavava empiricamente una relazione approssimativamente lineare, che diverrà nota come legge di Hubble, in base alla quale $v = H_0 D$, cioè la velocità di recessione v (misurata tramite il redshift)[3] delle nebulose extragalattiche è proporzionale (secondo un parametro, la costante di Hubble H_0, che rappresenta il tasso attuale di crescita dell'espansione) alla loro distanza D dall'osservatore. In breve: maggiore è la distanza della nebulosa (oggi diciamo galassia) che osserviamo, più veloce il suo allontanamento da noi. Ovviamente questa legge vale anche per la distanza reciproca di due galassie qualsiasi, a prescindere dal nostro ruolo di osservatori, che può essere pensato occorrere su una qualsiasi altra galassia.

Tale articolo mostrava una tendenza moderata all'allontanamento, ma nel 1931, in un più lungo articolo (in collaborazione con l'astronomo statunitense Milton Humason), e che includeva più spostamenti verso il rosso rispetto a quello del 1929 (40 nebulose in più, e più distanti, rispetto alle 24 del 1929), veniva confermata e meglio suffragata quella relazione.

Hubble misurava i redshift, ma nei grafici e nella sua legge compaiono delle velocità perché egli intese lo spostamento delle righe spettrali verso il rosso come l'effetto di una "normale" velocità di allontanamento (benché da lui considerata solo apparente), desumibile dall'usuale effetto Doppler (che si ha per il moto di una sorgente *nello* spazio). Concettualmente, però, questo era sbagliato, perché in ambito cosmologico, cioè alle grandi scale, abbiamo a che fare con l'espansione *dello* spazio stesso.

2.1. *Legge empirica* vs *legge teorica*

Ciò che di fatto trovò Hubble fu una relazione di natura empirica (ottenuta dalla misurazione dei redshift e delle distanze) solo approssimativamente vera (valida solo per $z \ll 1$, a piccole distanze D), cioè trovò una legge redshift-distanza data da: $zc = HD$ (con c la velocità della luce). Infatti, quella impropriamente chiamata legge di Hubble, cioè la summenzionata legge velocità-distanza $v = HD$, è di natura teorica e segue automaticamente dall'assunzione che lo spazio in espansione sia uniforme (omogeneo e isotropo) ed è rigorosamente vera (per tutti gli z, per tutte le distanze) in tutti gli universi uniformi. Il collegamento che connette queste due leggi è la relazione velocità-redshift di Fizeau-Doppler, data da $v = cz$ (che vale solo per $z \ll 1$).

In breve, il punto importante è che "lo spostamento verso il rosso è un fatto osservabile e la legge a cui obbedisce è una legge empirica; ma l'espansione dell'universo è un'interpretazione teorica di questo fatto e di questa legge" (Merleau-Ponty & Morando, 1976, p. 185). Dunque Hubble scoprì la legge empirica solo approssimativamente vera, non quella teorica, rigorosamente vera ed espressione effettiva e generale dell'espansione cosmica:

[2] In particolare, il 2011 è stato un anno "duro" per Hubble: si veda il sito web dove sono elencati diversi lavori pro-Lemaître pubblicati in quel periodo.

[3] Il redshift, cioè lo spostamento verso il rosso, solitamente indicato con z, è l'aumento della lunghezza d'onda λ, ovvero la diminuzione della frequenza e dell'energia, dei fotoni ricevuti della radiazione elettromagnetica di un certo corpo emittente in allontanamento; in formule: $z = \frac{\lambda_{ric} - \lambda_{em}}{\lambda_{ric}}$ (dove ric = ricevuta, em = emessa).

> Hubble deve quindi essere considerato lo scopritore di questa legge empirica. Ma la legge dell'allontanamento delle galassie non è la stessa dell'universo in espansione, un concetto che Hubble non suggerì nel 1929. Se intendiamo l'espansione dell'universo nel senso relativistico standard, Hubble non può essere considerato il suo scopritore. Sebbene abbiamo visto che egli abbia menzionato 'la possibilità che la relazione velocità-distanza possa rappresentare l'effetto de Sitter', ciò non implica, tuttavia, che abbia interpretato i redshift come causati esclusivamente o anche prevalentemente da un effetto Doppler dovuto alla loro recessione. Dobbiamo sottolineare che in nessun punto del suo articolo del 1929 Hubble conclude che le galassie si allontanano da noi o suggerisce che l'universo si stia espandendo. Parole come 'recessione' ed 'espansione' non compaiono nell'articolo (Kragh & Smith, 2003, p. 153).

A conferma di quanto detto, si consideri che nessuna delle autorità scientifiche (Eddington, de Sitter, Tolman, Milne) negli anni Trenta e Quaranta del XX secolo indicò chiaramente Hubble come lo scopritore dell'universo in espansione, al più della "scoperta" della relazione redshift-distanza (Kragh, 2021, par. 3.4.4). Nel 1929, l'articolo di Hubble ricevette solo una manciata di citazioni e nessuna lo considerò come la prova osservativa dell'espansione. Né lo fece alcun altro scrittore di astronomia degli anni Trenta e Quaranta. Solo negli anni Cinquanta apparvero le prime affermazioni di questo tenore, diventate, negli anni Settanta, il racconto standard nei libri di testo di astronomia e nelle opere divulgative. Del resto, Hubble stesso non credette mai veramente all'espansione.

2.2. Lo scetticismo di Hubble

Nel 1929, Hubble era interessato a risolvere soprattutto la questione di quale dei due modelli teorici statici proposti da Einstein e da de Sitter fosse favorito dalle sue osservazioni, e, in particolare, se dagli spettri fosse possibile ricavare redshift paragonabili a quelli previsti dal modello di de Sitter. Insomma, cercava di condurre un test critico in grado di consentirgli di decidere tra i due modelli statici, non cercava modelli in evoluzione e, infatti, chiarì che la legge lineare redshift-distanza era una correlazione puramente empirica. Certo, affermò la legge nella forma di una legge velocità-distanza, interpretando così implicitamente i redshift come un effetto Doppler, ma, come già detto, allo stesso tempo sottolineò che le velocità coinvolte erano "apparenti". Infatti, in un articolo di pochi mesi dopo (luglio del 1929), scrisse: "È difficile credere che le velocità siano reali; che tutta la materia si stia effettivamente disperdendo lontano dalla nostra regione di spazio. È più facile supporre che le onde luminose siano allungate e le linee degli spettri siano spostate verso il rosso, come se gli oggetti si stessero allontanando, per qualche proprietà dello spazio o per forze che agiscono sulla luce durante il suo lungo viaggio verso la Terra" (Hubble, 1929b, p. 96). Per lui erano più probabili altre cause per i redshift.

Stessa cautela nell'articolo con Humason del 1931, il cui ultimo capoverso recita: "Il presente contributo riguarda una correlazione di dati empirici di osservazione. Gli autori sono costretti a descrivere gli 'spostamenti di velocità apparenti' senza avventurarsi nell'interpretazione e nel suo significato cosmologico" (Hubble & Humason, 1931, p. 80). Tra l'altro, Hubble e Humason escogitarono poi un test per scoprire se i redshift fossero dovuti a velocità reali o se invece fossero il segnale di una nuova, sconosciuta legge di natura. Questo test si basava su un programma di conteggio di galassie, interpretato in termini di curvatura dello spazio, che Hubble realizzò dal 1931 al 1934 con un conteggio di 44000 galassie. Dal test sull'espansione che Hubble fece nel 1936, egli "concluse che gli spostamenti verso il rosso probabilmente non erano veri spostamenti di velocità e che bisognava invocare una legge sconosciuta della natura. Aderì rigidamente a questa visione fino alla sua morte nel 1953" (Sandage, 2004, p. 518).

Anche nel 1936, Hubble ribadì: "L'ipotesi che i redshift siano spostamenti di velocità porta quindi a un modello particolare di universo omogeneo in espansione... I necessari aggiustamenti e le compensazioni suggeriscono che il modello possa essere un'interpretazione forzata dei dati. L'ipotesi che i redshift non siano spostamenti di velocità è più economica e meno vulnerabile, fatta eccezione per il fatto che, al

momento, non si conoscono altre spiegazioni soddisfacenti" (Hubble, 1929b, p. 626).

Stesso scetticismo, sempre nel 1936, lo espresse nel suo *The Realm of the Nebulae*: "Si deve sospendere il giudizio fino a quando si chiarirà dalle osservazioni se il redshift rappresenti effettivamente un moto, oppure no. Per il momento, i redshift possono essere espressi in termini di velocità per pura convenienza. Si comportano infatti come spostamenti spettrali dovuti a una velocità... indipendentemente dall'interpretazione che alla fine ne verrà data" (Hubble, 1936a, p. 122-3).

Per Hubble, quindi, l'unico fatto certo era che esisteva una relazione fra redshift e distanza, e quelle "velocità apparenti" lasciavano spazio ad altre interpretazioni dei redshift stessi, a un qualche fenomeno naturale ignoto non ancora identificato[4]. Egli non negava fermamente che l'universo si espandesse, ma, appunto, non era nemmeno convinto che si espandesse. In alcune occasioni si espresse favorevolmente sull'universo in espansione, mentre in altre lo criticò, definendolo un'ipotesi inutile e non dimostrata, come, nuovamente, in un articolo del 1942: "I redshift sono dovuti o alla recessione delle nebulose o a qualche principio finora non riconosciuto che opera nello spazio internebulare. Quest'ultima interpretazione porta alla semplice concezione di un universo omogeneo sensibilmente infinito di cui la regione osservabile è una frazione insignificante... l'evidenza empirica ora disponibile non favorisce l'interpretazione dei redshift come spostamenti di velocità" (Hubble, 1942, p. 214). Insomma, come già anticipava Sandage nella citazione sopra, Hubble rimase dubbioso sull'espansione fino al suo ultimo lavoro, presentato in occasione della *George Darwin Lecture*, tenuta nel maggio del 1953 (4 mesi prima di morire) per la Royal Astronomical Society.

2.3. Hubble fra teoria e osservazione

Hubble fu onesto nel non attribuirsi mai la paternità della scoperta dell'espansione, anche perché sostanzialmente non vi credette mai! Meno corretto, però, fu nel non citare alcuni autori di cui si era servito. Block (2012) nota che l'astronomo Vesto Slipher non è menzionato nell'articolo del 1929, eppure la stragrande maggioranza delle velocità radiali usate provengono dal suo lavoro; inoltre, nell'articolo del 1931, Humason e Hubble citano di sfuggita il modello teorico di de Sitter ma non quello di Lemaître; anche nel suo libro del 1936, *The Realm of the Nebulae*, Hubble non menziona i lavori teorici sull'espansione di Friedmann, Lemaître, Robertson, e nemmeno di de Sitter (ma quest'ultimo probabilmente per questioni personali) (Sandage, 2004, p. 504).

Una parziale risposta a queste ultime critiche è forse rintracciabile nella sua propensione a tenere distinte osservazione e teoria, evidente dal suo evitare d'interpretare i risultati sperimentali attraverso la lente di un modello teorico specifico, anche perché sapeva che ulteriori dati presto disponibili avrebbero potuto modificare gli scenari, quindi lavorò indipendentemente da qualsiasi impegno teorico. Sottolineò questo punto in una lettera del 1931 a De Sitter, dove scrisse che lui e Humason usano "il termine velocità 'apparenti' per sottolineare le caratteristiche empiriche della correlazione. L'interpretazione, crediamo, dovrebbe essere lasciata a te e ai pochi altri che sono competenti per discutere la questione con autorità" (Sharov & Novikov, 1993, p. 67).

Riguardo alla sua legge affermò: "La legge è empirica e deve rimanere empirica finché non viene spiegata da una teoria accettata" (Hubble, 1936a, p. 4); eppure, ben sapeva che i due approcci sono legati nel profondo: "Osservazione e teoria sono intrecciate insieme, ed è inutile tentare di separarle completamente. Le osservazioni coinvolgono sempre la teoria" (Sharov & Novikov, 1993, p. 35).

[4] Per una panoramica sulle cosmologie alternative di quegli anni che negavano l'espansione, si veda Kragh, 2007, par. 3-4.

3. Il contributo di Lemaître

Lemaître dimostrò che esiste un modello d'universo che si espande dallo stato statico di Einstein, e predisse esplicitamente l'espansione come l'effetto relativistico della dilatazione spaziale, sostenendo, sulla base di dati astronomici, che quel modello probabilmente rifletteva l'universo reale. Nel suo articolo del 1927, dal titolo esplicito: *Un universo omogeneo di massa costante e raggio crescente*, derivò la legge velocità-distanza $v = HD$ all'interno di un modello soluzione delle equazioni della Relatività Generale. Combinando i redshift tabulati da Strömberg nel 1925 (di 42 nebulose extragalattiche) e le magnitudini apparenti misurate da Hubble nel 1926 convertite in distanze, calcolò due valori per la (futura) "costante di Hubble": H = 575 e H = 670 $km\,s^{-1}Mpc^{-1}$.

Lemaître trovò, così, la relazione di Hubble due anni prima dello stesso Hubble, interpretandola alla luce della sua soluzione delle equazioni della Relatività Generale descrivente un universo in espansione. Testò quella relazione con i pochi dati osservativi di velocità e distanze, verificando che era in accordo con essi. Insomma: "Lemaître è stato senza dubbio il primo a collegare la teoria dell'espansione dell'universo con l'osservazione" (O'Raifeartaigh, 2013, p. 54). Del resto, già Peebles nel lontano 1971 diede lo stesso giudizio: "Secondo il criterio usuale per stabilire il merito delle scoperte scientifiche, Lemaître merita di essere chiamato il 'Padre della Cosmologia del Big Bang'" (Peebles, 1971, p. 8). Non a caso, nel 2018, l'Unione Astronomica Internazionale, ha deciso di attribuire anche a lui la paternità della legge di Hubble, chiamandola *legge di Hubble-Lemaître.*

4. Scoperta e osservazione

Naturalmente, in gioco per l'attribuzione di questa paternità non c'è solo la priorità "cronologica" della scoperta dell'espansione, ma la ben più sottile questione filosofica di che cosa costituisca compiutamente una scoperta. Vi sono diverse concezioni su questo e sulle caratteristiche che una scoperta debba avere. Per esempio, spesso si pensa che le scoperte si riferiscano a fatti di natura empirica: uno scienziato ha fatto una scoperta se ha scoperto che X esiste. Spesso si parla di scoperte anche nel senso più ampio di innovazioni scientifiche, senso che comprende scoperte di tipo teorico o concettuale. Secondo Thomas Kuhn, una scoperta è una riorganizzazione concettuale di dati o domini fattuali. Alcuni autori ritengono che la maggior parte delle scoperte non possa essere precisamente localizzata nello spazio e nel tempo: spesso le scoperte non sono eventi singoli, ma processi complessi e disordinati, che si estendono per un periodo di tempo e coinvolgono molti attori. Pertanto, una scoperta non richiede necessariamente uno scopritore o un evento di scoperta (Kragh & Smith, 2003).

Sebbene per Kragh & Smith la distinzione tra scoperte fattuali e teoriche è utile come prima approssimazione, ma è troppo semplicistica per coprire la struttura complessa della maggior parte delle scoperte, in generale mi sembra che si possa parlare di scoperta solo quando l'osservazione/misurazione è accompagnata da una spiegazione teorica. Il semplice osservare difficilmente equivale a scoprire compiutamente: c'è bisogno di una interpretazione pertinente.

Del resto, già "a monte", come Hanson (1958) e altri filosofi hanno da tempo sottolineato, l'osservazione non può essere completamente separata dai punti di vista teorici (si dice che l'osservazione è carica di teoria), dunque la "pura" osservazione di per sé non ha senso. Però la scoperta scientifica consiste anche nell'identificazione/riconoscimento di un certo fenomeno, anche dal punto di vista esplicativo: scoprire X non significa solo osservare X, ma anche identificarlo ("riconoscerlo" all'interno di un quadro di conoscenze) come X. Si pensi, ad esempio, ai seguenti tre casi: i primi astronomi che vedevano macchie sul Sole, pensando però che fossero pianeti transitori, *non* scoprirono le macchie solari; quando nel 1846 l'astronomo inglese James Challis notò una "stella" che poi si rivelò essere Nettuno, *non* scoprì il pianeta; lo stesso accadde all'inizio del 1965 quando Arno Penzias e Robert Wilson misurarono una

radiazione isotropa: *non* scoprirono la radiazione fossile del Big Bang: quell'osservazione divenne una scoperta effettiva solo quando Robert Dicke fornì un valido contesto teorico all'interno del quale quella radiazione acquistò il senso, appunto, di una radiazione universale primordiale.

Nel nostro caso, strettamente parlando, non è corretto dire, secondo O'Raifeartaigh, che "Hubble ha *scoperto* l'espansione dell'universo": "Tale affermazione confonde l'osservazione con la scoperta, poiché una relazione lineare tra velocità di recessione e distanza per le galassie lontane non suggerisce di per sé un universo in espansione. È molto più corretto affermare che il grafico del 1929 fornì la prima evidenza sperimentale a sostegno dell'ipotesi di un universo in espansione" (O'Raifeartaigh, 2013, p. 53). In effetti, riassume Bergia ribadendo una considerazione qui già esposta, "la realtà della relazione lineare (legge di Hubble) fra redshift e distanza fu accettata rapidamente da molti astronomi, ma questo non implica necessariamente che essa venisse letta come una prova dell'espansione" (Bergia, 1995, p. 87).

Possiamo, quindi, affermare che la relazione empirica di Hubble fu l'espressione della prima evidenza sperimentale, dotata perlomeno di una iniziale sistematicità, a sostegno dell'ipotesi *teorica* di un universo in espansione. Per avere, invece, la scoperta dell'espansione dell'universo fu necessario che il modello teorico di Lemaître e le osservazioni di Hubble e Humason confluissero in una nuova consapevolezza in cui entrambi gli approcci potessero sostenersi e completarsi vicendevolmente.

D'altra parte, per Kragh e Smith sembrano esserci scoperte "di serie A" e "di serie B": nelle seconde, lo scoprire è "solo" inquadrare teoricamente e *prevedere* osservativamente (e dunque, da questo punto di vista, Lemaître da solo scoprì l'espansione), mentre nelle prime, più "forti", vi è anche un'*effettiva* osservazione che giustifica la teoria (quindi Lemaître non scoprì l'espansione: troppo pochi i dati su cui si basò). Nelle loro parole: "Sebbene [Lemaître] avesse previsto esplicitamente l'espansione dell'universo, non riuscì a giustificare la previsione con dati osservativi che supportassero in modo convincente la legge lineare che sospettava. Nella misura in cui Lemaître non stabilì osservativamente che l'universo si sta effettivamente espandendo, non fece una scoperta; ma nella misura in cui ne fornì ragioni sia teoriche che osservative, scoprì l'espansione dell'universo" (Kragh & Smith, 2003, p. 153).

Su questa stessa linea si situa O'Raifeartaigh, quando afferma, riferendosi (impropriamente, per quanto visto prima) alla legge di Hubble, cioè alla legge velocità-distanza e non alla legge empirica redshift-distanza, che

> La legge di Hubble è intesa come una relazione empirica tra velocità e distanza per le nebulose. Lemaître non ha fornito alcuna misura della velocità o della distanza, né ha stabilito la linearità della relazione velocità/distanza. Ha invece previsto una relazione lineare tra velocità e distanza dalla teoria e, supponendo che tale relazione esistesse, ha utilizzato i valori medi dei dati osservativi per le nebulose a spirale per stimare un coefficiente di espansione per l'universo... Pertanto, ci sembra che attribuirgli la scoperta di una relazione velocità/distanza per le nebulose confonda la teoria con l'osservazione. (O'Raifeartaigh, 2013, p. 56)

5. Osservazioni cosmologiche

In cosmologia, casi come quelli di Hubble e Lemaître, e di Penzias e Wilson, possono essere interpretati alla luce di una sottile distinzione evidenziata da Bergia (1997, p. 171) fra osservazioni di natura cosmologica (ONC), cioè osservazioni astronomiche o astrofisiche che non riguardano oggetti singoli, ma classi universali di oggetti, e *osservazioni con valenza cosmologica* (OVC), cioè osservazioni che potenzialmente permettono, previa accettazione di determinate clausole, leggi e ipotesi fisiche, di trarre conclusioni sulle proprietà dell'universo (visibile e forse, azzardando, come un tutto).

Facciamo degli esempi: l'ONC che il cielo notturno è nero acquisisce una valenza cosmologica, permette cioè di inferire che esso non può essere esistito da sempre, se si assume che l'universo è spazialmente infinito, essenzialmente statico, immutabile nelle sue proprietà medie, e popolato in media

uniformemente di stelle.

L'osservazione/rilevazione di natura cosmologica di una radiazione isotropa come quella misurata da Penzias e Wilson, diventa una OVC quando viene interpretata alla luce di una teoria che la spiega/riconosce.

Le OVC, così, sono osservazioni per certi versi cariche di teoria non solo a monte, come già si diceva, ma anche a valle, nel senso di "caricate di teoria" successivamente, nell'atto interpretativo.

Nel nostro caso, i redshift sono osservazioni/misurazioni di natura cosmologica, in quanto riguardano tutto l'insieme delle galassie visibili, ma solo la loro interpretazione come allontanamento delle galassie è una OVC, in quanto consente di ricavare la proprietà espansiva dell'intero universo. Da questo punto di vista Hubble si fermò alla sola ONC, cioè alla correlazione empirica suddetta.

D'altra parte, la teoria non solo è costitutiva di una scoperta, ma è forse anche, in cosmologia, più affidabile, per certi versi, del mero "fatto osservato", come ci ricorda Hermann Bondi in un articolo del 1955, ma del tutto valido ancora oggi. Questo perché le teorie cosmologiche, più delle osservazioni, si basano su dirette estensioni di teorie che usiamo e testiamo nella fisica terrestre: "Nel lavoro osservativo lunghe catene di inferenze si basano spesso su dati piuttosto incerti, mentre nelle teorie fisiche dell'astronomia, sebbene vengano utilizzate anche lunghe catene di inferenze, esse si basano generalmente su dati sperimentali molto più affidabili" (Bondi, 1955, p. 158).

6. Conclusioni

Cosa sia una scoperta scientifica (problema di filosofia della scienza), e come essa "diventi" tale (problema di sociologia della scienza), sono ovviamente questioni profonde che qui ho appena sfiorato. Che una concomitanza ottimale e proficua di osservazione e teoria siano gli ingredienti principali di una vera scoperta scientifica è quasi banale a dirsi, ma non ad "applicarsi", perché entrambi questi fattori si compenetrano in dosi e direzioni non prestabilite nel divenire continuo della ricerca. Va da sé che osservazione/misurazione e scoperta non vanno confuse: la prima potrebbe implicare la seconda solo quando uno sfondo teorico sia in grado di fornire valide ragioni per spiegare quell'osservazione, inserendola in un discorso più ampio del suo contesto dato. Riguardo alla nostra vicenda, possiamo riassumere dicendo che alle misure di Hubble, e alla sua scoperta di una "mera" correlazione empirica, serviva un quadro teorico per renderle parte compiuta dell'immagine dell'effettiva scoperta dell'espansione, e quel quadro lo aveva pressoché già delineato, e compreso/accettato, Lemaître, fornendo anche qualche legame con le poche osservazioni disponibili. La semplice morale più generale che si evince è che la cosmologia e la scienza tutta sono imprese collettive, dai contributi innumerevoli, frastagliati e stratificati, per questo ritagliare con il bisturi della ricostruzione storica le paternità delle loro scoperte, sebbene sia affascinante e auspicabile per il sano rispetto dei fatti accaduti ma anche a mo' di riconoscimento delle "fatiche" personali, diventa spesso, a un certo livello d'indagine, se non impossibile perlomeno piuttosto artificiale.

Bibliografia

Bergia, S. (1995). *Dal cosmo immutabile all'universo in evoluzione*. Torino: Bollati Boringhieri.

Bergia, S. (1997). "Problemi fondazionali e metodologici in cosmologia", in Boniolo, G. (ed.) *Filosofia della fisica*. Milano: Bruno Mondadori, pp. 169-244.

Block, D.L. (2012). "Georges Lemaître and Stigler's Law of Eponymy", in Holder, R.D. & Mitton, S. (eds.) *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy*. Berlin: Springer, pp. 89-96.

Bondi, H. (1955). "Fact and Inference in Theory and in Observation", *Vistas in Astronomy*, 1, pp.155–62.

Gribbin, J. (1994). *In the beginning: The birth of the living universe*. London: Penguin Books.

Grøn, Ø. (2018). "The Discovery of the Expansion of the Universe", *Galaxies*, 6(4), 132.

Kragh, H. (2007). *Conceptions of Cosmos. From Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology*. Oxford: Oxford University Press.

Kragh, H. (2018). "Hubble Law or Hubble-Lemaître Law? The IAU Resolution". Available at: arXiv:1809.02557 (Accessed on November 2024).

Kragh, H. (2021). *Between the Earth and the Heavens: Historical Studies in the Physical Sciences*. New Jersey: World Scientific.

Kragh, H. & Smith, R.W. (2003). "Who discovered the expanding universe?", *History of Science*, 41, pp. 141-162.

Hanson, N.R. (1958). *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hubble, E. (1929a). "A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae", *Proceedings of the National Academy of Science*, 15(3), pp. 168-173.

Hubble, E. (1929b). "A clue to the structure of the universe", *Astronomical Society of the Pacific Leaflets*, 1(23), pp. 93–96.

Hubble, E. (1936a). *The realm of nebulae*. London: Oxford University Press.

Hubble, E. (1936b). "Effects of Red Shifts on the Distribution of Nebulae", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 22(11), pp. 621-627.

Hubble, E. (1942). "The problem of the expanding universe", *Science*, 95(2461), pp. 212–215.

Hubble, E. & Humason, M.L. (1931). "The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae", *The Astrophysical Journal*, 74, pp. 43–80.

Lamberti, C. (2011). *Capire l'universo. L'appassionante avventura della cosmologia*. Milano: Springer.

Lemaître, G. (1927). "Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, A47, pp. 49–59.

Merleau-Ponty, J. & Morando, B., (1976). *The Rebirth of Cosmology*. New York: Alfred A. Knopf.

Nussbaumer, H. & Bieri, L. (2009). *Discovering the Expanding Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.

O'Raifeartaigh, C. (2013). "The Contribution of V.M. Slipher to the Discovery of the Expanding Universe", in Way, M.J. & Hunter, D. (eds.) *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932*. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific Conference, pp. 49-61.

Peebles, P.J.E. (1971). *Physical Cosmology*. Princeton: Princeton University Press.

Peebles, P.J.E. (1984). "Impact of Lemaître's ideas on modern cosmology", in Berger, A. (ed.) *The Big Bang and Georges Lemaître*. Dordrecht: Reidel, pp. 23-30.

Sandage, A. (2004). *The Mount Wilson Observatory: breaking the Code of Cosmic Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

Schilpp, P.A. (1958). *Albert Einstein, scienziato e filosofo*. Torino: Einaudi.

Sharov, A.S. & Novikov, I.D. (1993). *Edwin Hubble: The Discoverer of the Big Bang Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.

Smith, R.W. (1982). *The Expanding Universe. Astronomy's "Great Debate" 1900-1931*. Cambridge: Cambridge University Press.

van den Bergh, S. (2011a). "The Curious Case of Lemaitre's Equation No. 24", *The Journal of The Royal Astronomical Society of Canada*, 105(4), p. 151.

van den Bergh, S. (2011b). "Discovery of the expansion of the universe", *The Journal of The Royal Astronomical Society of Canada*, 105(5), pp. 197-8.

Way, M. & Nussbaumer, H. (2011). "Lemaître's Hubble relationship", *Physics Today*, 64(8), p. 8.

Dialogue Between History, Teaching and Dissemination in Physics and Astronomy

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_43, pp. 375–380
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-43

Fotone o quanto di luce? Investigazione sulla radiazione elettromagnetica dagli inizi del XX secolo

Valentina Bologna[1], Viviana Poli[2], Fulvio Parmigiani[3] and Francesco Longo[4]

[1]Università degli Studi di Trieste, Centro di Formazione Insegnanti e Dipartimento di Fisica, Trieste, valentina.bologna@units.it.
[2]Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Fisica, Trieste, viviana.poli@studenti.units.it.
[3]Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Fisica & Elettra - Sincrotrone Trieste S.C.p.A., Trieste, fparmigiani@units.it.
[4]Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Fisica & INFN - Sezione di Trieste, Trieste, francesco.longo@ts.infn.it.

Abstract: Nell'insegnamento della Fisica, termini e concetti vengono talvolta utilizzati senza evidenziare il processo storico ed epistemologico che li ha introdotti e che ha portato alla loro scelta per nominare, identificare e spiegare un particolare fenomeno. Analogamente a quanto accade nella pratica didattica, questo è successo anche quando i fisici cercavano di costruire la conoscenza sulla radiazione elettromagnetica. Per supportare gli studenti nell'apprendimento di questo fenomeno, abbiamo cercato di adottare un approccio storico-culturale che delinea il processo epistemologico vissuto dai fisici all'inizio del XX secolo. Dalla Storia della Fisica emergono aspetti linguistici ed etimologici fondanti un insegnamento culturalmente e storicamente integrato. Essi contribuiscono, inoltre, a costruire quel contesto culturale necessario a favorire la comprensione delle sfide e delle innovazioni dell'elettrodinamica quantistica.

Keywords: Storia della Fisica, Didattica della Fisica, Ottica, Epistemologia.

1. Breve introduzione e metodo di indagine

Utilizzare un approccio che integri in maniera opportuna il contesto storico e culturale nell'ambito della didattica si rivela fondamentale per presentare agli studenti una teoria fisica in modo organico, permettendo loro di comprenderla e di collocarla adeguatamente nel contesto educativo. In questo lavoro di ricerca, è stato svolto un processo di indagine su tre livelli, al fine di analizzare e sistematizzare il processo storico che ha condotto all'introduzione dei termini e dei concetti relativi al fotone ed evidenziare quelle che potrebbero essere delle possibili implicazioni dal punto di vista didattico.

Il livello di indagine storica ha lo scopo di comprendere e sistematizzare il cambiamento di paradigma relativo al concetto di fotone agli inizi del XX secolo, inteso come cambiamento delle assunzioni basilari all'interno di una teoria fisica dominante. Esaminando l'origine e la prima ricezione del vocabolo "fotone", nel secondo livello di indagine è stato utilizzato un approccio etimologico alla storia della scienza, ovvero allo studio dell'origine e della diffusione dei termini impiegati per riferirsi a un determinato concetto. Nel terzo livello, rappresentato da un'indagine didattica, è stata approfondita l'influenza a livello educativo dei processi storici ed epistemologici.

Alla base del metodo di analisi utilizzato vi è la distinzione, proposta da Klaus Hentschel, tra "termine" e "concetto": quest'ultimo indica "una nozione chiaramente delineata", mentre il termine rappresenta una "denotazione concreta e linguisticamente fissata", arbitrariamente scelta per riferirsi a un pensiero definito (Hentschel, 2018). Nel seguito si farà dunque riferimento a "concetto" nel livello di indagine storica e al "termine" nel livello etimologico.

2. Approfondimento dei diversi livelli di indagine

2.1. *Livello di indagine storica*

Agli inizi del XX secolo, i fisici sono stati impegnati in un processo di "disambiguazione ontologica"[1], ovvero nella comprensione del concetto associato al termine "fotone", attività che risulta essere propria anche di molti studenti nell'atto di comprendere la fisica. Spesso nelle scienze sono presenti delle "metafore concettuali"[2], che fungono da utili abbreviazioni[3] e i cui limiti sono chiari a chi le utilizza (Lamb, 1995). Servendosi in modo continuo di tali espressioni si rischia, però, di assumere il significato di queste metafore come significato letterale. È dunque fondamentale delineare chiaramente il concetto a cui il termine "fotone" (talvolta anche abbreviato con l'espressione "quanto di luce") fa riferimento, così da permettere agli studenti di acquisire il corretto modello mentale.

Di seguito verranno innanzitutto brevemente presentati i modelli fenomenologici riguardanti la natura della luce a partire dal XVII secolo, per esporre poi la concezione diffusa agli inizi del XX secolo. Si cercherà quindi di comprendere come e perché sia stata introdotta l'ipotesi del "quanto di luce" e di illustrare le ragioni che portarono a trattare tale ipotesi come plausibile, fino a diventare una vera e propria conoscenza consolidata.

Nell'affrontare il livello di indagine storica, il punto di partenza è stato quello di analizzare i modelli fenomenologici diffusi verso la fine del XVII secolo riguardo la natura della luce. Nell'opera *Opticks*, Newton sostenne di aver dimostrato la natura corpuscolare della luce per mezzo del celebre *Experimentum Crucis*, arrivando a considerare la luce come costituita da veri e propri corpuscoli colorati che si combinavano apparendo bianchi (Newton, 1952). Rispetto a questa teoria prevalse però una descrizione ondulatoria della natura della luce, secondo quanto sostenuto da Huygens.

Nel XIX secolo erano stati fatti molti passi avanti riguardo alla comprensione dell'elettromagnetismo. Il contributo di Maxwell, avente lo scopo di introdurre un unico quadro teorico per descrivere l'elettricità e il magnetismo, portò all'unificazione concettuale della luce e delle altre forme di radiazione elettromagnetica. La teoria ondulatoria della radiazione elettromagnetica rappresentò dunque il paradigma dominante fino agli inizi del XX secolo. Tuttavia, alcuni fenomeni non potevano essere completamente spiegati da questa teoria, sostenendo la necessità di una successiva revisione della comprensione del tempo.

Nel XX secolo venne affrontato il problema della radiazione del corpo nero. Le difficoltà teoriche erano legate al fatto che le leggi della fisica classica non riuscivano a spiegare in modo soddisfacente lo "spettro di corpo nero", ovvero l'intensità della radiazione emessa da questo sistema. Fu Planck ad avere un'intuizione rivoluzionaria per risolvere questo problema: egli propose la quantizzazione dell'energia degli oscillatori armonici (Branchetti, Cattabriga & Levrini, 2019). In altre parole, egli cercò di risolvere un "problema classico" proponendo un modello nel quale suggerì che l'energia della radiazione emessa dagli oscillatori all'interno del corpo nero non potesse essere continua, come previsto dalla fisica classica, ma dovesse trovarsi in quantità discrete, la cui entità poteva essere quantificata mediante una costante fondamentale ad oggi nota come "costante di Planck".

Einstein compì, invece, un passaggio molto diverso dal punto di vista concettuale: egli quantizzò l'energia del campo elettromagnetico. Dunque, pur riconoscendo la discretizzazione dei livelli energetici della carica legata, Einstein postulò che anche l'energia del campo elettromagnetico fosse quantizzata e, in questa maniera, semplificò enormemente il calcolo matematico relativo all'effetto fotoelettrico.

---

[1] Espressione utilizzata in (Brookes & Etkina, 2009, p. 7) e tradotta dall'inglese.

[2] Espressione utilizzata in (Brookes & Etkina, 2009, p. 3) e tradotta dall'inglese.

[3] È stato scelto il vocabolo "abbreviazioni" come richiamo all'espressione "*short and convenient*" utilizzata da Lamb per riferirsi al termine "fotone" (Lamb, 1995, p. 77).

Sostanzialmente, ciò che fece Planck fu quantizzare l'energia di un moto oscillatorio ed Einstein utilizzò gli stessi argomenti termodinamici di cui si servì Planck, ma li applicò al campo elettromagnetico, anziché alla carica legata. Non disponendo nel 1905 degli strumenti derivanti dalla seconda quantizzazione della meccanica quantistica di Dirac, l'operazione compiuta da Einstein parve al tempo piuttosto ardita e suscitò un ampio dibattito tra i fisici. Con il senno di poi è facile comprendere che il modello proposto da Einstein era corretto, dal momento che è possibile applicare lo stesso formalismo alla radiazione elettromagnetica e al moto di una carica legata, essendo entrambi sistemi oscillatori (Roychoudhuri, Kracklauer & Creath, 2008).

Il contributo di Compton fu di notevole importanza nel convincere molti fisici dell'effettiva esistenza del "quanto di luce" proposto da Einstein. Per studiare l'influenza che l'effetto Compton e la sua interpretazione del 1923 ebbero sull'accettazione della "*Light Quantum Hypothesis*" (LQH) è utile fare riferimento al metodo proposto da Brush, il quale fa un'analisi dell'impatto che tale teoria ebbe nelle pubblicazioni di quel periodo. In Figura 1, si può osservare come si sia verificato un netto aumento di pubblicazioni di libri di testo e articoli a favore della LQH a partire dall'anno in cui venne spiegato l'effetto Compton e ancor più dopo il 1927, anno in cui il fisico statunitense ricevette il Premio Nobel (Brush, 2007).

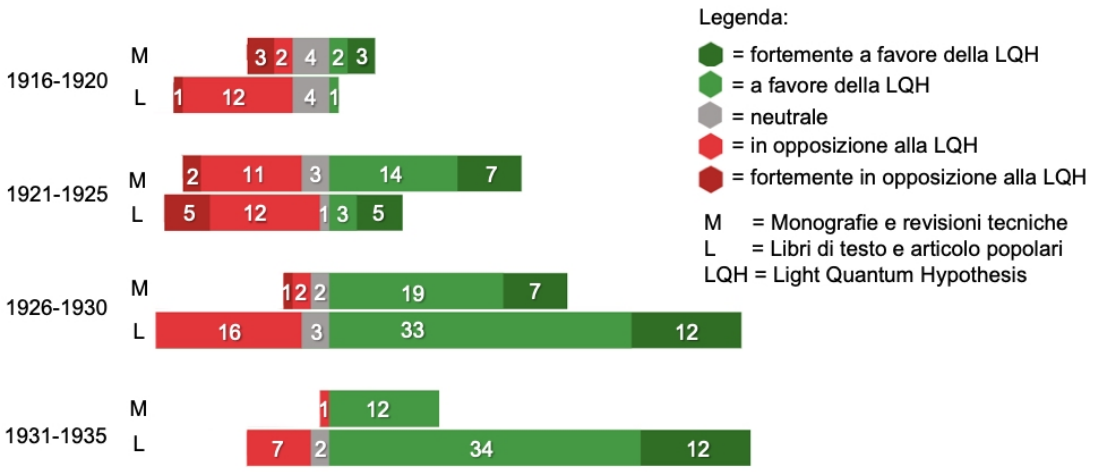


Fig. 1: Grafico realizzato a partire dai dati della tabella tratta da (Brush 2007, pp. 240-241). Accettazione della natura quantizzata della luce.

2.2. *Livello di indagine etimologica*

Indagando sull'origine del termine "fotone", è possibile scoprire che il primo ad utilizzare tale vocabolo fu il fisico e psicologo Troland in un articolo del 1916, come unità di misura dell'intensità dello stimolo luminoso sulla retina (Troland, 1917). Successivamente, il fisico Joly iniziò a interessarsi riguardo alla percezione del colore e tentò di elaborare quella che egli definì "teoria quantistica della visione", nella quale il "fotone" rappresentava "l'unità di stimolo luminoso" liberato dalla corteccia cerebrale (Joly, 1921). Ad ogni modo, entrambe queste teorie non ebbero molto rilievo e vennero ben presto dimenticate.

Nel 1926, il termine "fotone" entrò nel linguaggio della fisica grazie a Lewis, il cui principale obiettivo di ricerca era quello di superare le limitazioni e le ambiguità delle teorie esistenti nell'ambito della fisica atomica dell'epoca. L'ipotesi di Lewis era che nei processi di emissione e assorbimento ci fossero come mediatori dei veri e propri corpuscoli di energia che viaggiavano da un atomo all'altro con velocità c e che egli chiamò fotoni (Lewis, 1926, p. 238). È doveroso sottolineare che il fotone di Lewis differiva in modo significativo dal concetto di "quanto di luce" di Einstein: Lewis postulò che i fotoni fossero indistruttibili, cioè che non potessero essere né generati né distrutti, ma potevano solo essere

"lanciati avanti e indietro" tra emettitore e assorbitore senza subire alterazioni. Questo è però in contrasto con l'interpretazione moderna del fotone come particella mediatrice di massa zero delle interazioni elettromagnetiche. Dunque, sebbene egli sia stato uno dei pionieri nell'utilizzo di questo vocabolo nel contesto della fisica, non si può affermare che Lewis sia il padre del moderno concetto di "fotone".

Anche se il concetto associato al fotone di Lewis venne ben presto dimenticato, il termine da lui proposto si diffuse rapidamente. In Tabella 1, ripresa dallo studio di Kragh (2014), si può osservare la comparsa del termine "fotone" rispetto all'espressione "quanto di luce" nei titoli di articoli scientifici in lingua inglese. È possibile constatare che nel periodo 1926-1935 le due forme erano utilizzate con frequenza quasi uguale; dopo il 1945 prese invece il sopravvento l'utilizzo del termine "fotone", la cui diffusione ebbe una crescita molto rapida nei successivi decenni .

	1926-1935	1936-1945	1946-1955
Light quantum (quanta)	20	0	5
Photon(s)	19	29	243

Tabella 1: Versione tradotta della corrispondente tabella tratta da Kragh (2014, p. 276). Diffusione del termine "fotone" nei titoli degli articoli scientifici in lingua inglese.

Un'ulteriore testimonianza della rapida diffusione del termine "fotone" è data dal fatto che esso fu scelto nel titolo "*Électrons et Photons*" del quinto Congresso di Solvay del 1927. In quell'occasione, molti fisici utilizzarono tale vocabolo, ma solo Compton richiamò l'attenzione sulla sua origine, affermando:

> Nel riferirmi a questa unità di radiazione userò il nome *fotone*, suggerito di recente da G.N. Lewis... Rispetto ai termini *quanto di radiazione* o *quanto di luce*, questo nome ha il vantaggio della brevità e di evitare qualsiasi dipendenza implicita dalla meccanica quantistica... o dalla teoria quantistica della struttura atomica. (Compton, 1928, p. 57; citazione tradotta)

Compton è anche probabilmente responsabile di aver reso popolare il vocabolo, dopo averlo utilizzato nel suo discorso al conferimento del Premio Nobel nel 1927.

2.3. Livello di indagine didattica

Per analizzare l'influenza a livello educativo dell'indagine storica ed epistemologica, il primo interrogativo che possiamo porci è: anche nella prassi didattica il termine "fotone" è diventato dominante rispetto a una chiara definizione del concetto? Per rispondere a questa domanda, sottolineiamo innanzitutto l'importanza del ruolo dell'insegnante, che è quello di guidare lo studente verso una più profonda conoscenza concettuale e verso una corretta costruzione di un modello mentale, ovvero della rappresentazione di un oggetto o di un processo a livello cognitivo. La figura dell'insegnante può dunque essere paragonata a quella di un mediatore linguistico, più che di un semplice traduttore: se quest'ultimo si limita, infatti, a riprodurre un termine da una lingua ad un'altra, come un mediatore linguistico l'insegnante deve invece fare attenzione a scegliere il termine più opportuno per veicolare un determinato concetto in maniera efficace ed immediata.

A partire da questa esigenza didattica, l'insegnante partirà da un proprio *Cultural Content Knowledge* iniziale, ovvero da una conoscenza di un dato contenuto rielaborata da un punto di vista culturale (Galili, 2012a; 2012b), e dovrà interrogarsi sulla correttezza o meno del modello mentale che egli stesso possiede per spiegare questo concetto. Attraverso un percorso simile a quello fin qui descritto, l'insegnante potrà essere accompagnato nella conoscenza del cambiamento storico di paradigma avvenuto agli inizi del XX secolo e, allo stesso tempo, arriverà ad un personale cambiamento di paradigma. In questo modo, egli potrà costruire un corretto modello mentale ed un più ricco ed evoluto *Cultural Content Knowledge* e ciò

andrà a riflettersi positivamente sulla didattica (Fig. 2).

Fig. 2: Schema raffigurante l'evoluzione del cambiamento di paradigma operato dall'insegnante a partire da un'esigenza didattica.

3. Conclusioni e possibili implicazioni per lavori futuri

Con questa indagine si è cercato di discutere come "fotone" e "quanto di luce" non siano espressioni completamente appropriate ad esprimere in maniera chiara, immediata e intuitiva il concetto a cui fanno riferimento e potrebbero dunque non supportare adeguatamente una corretta costruzione concettuale in un contesto didattico. Ad ogni modo, tenendo presente che nel programma didattico delle scuole secondarie di secondo grado i fondamenti della meccanica quantistica vengono affrontati in maniera molto rapida e approssimata, in tale circostanza risulta conveniente adottare questi vocaboli per non creare ulteriori inutili difficoltà da parte degli studenti nella comprensione degli argomenti presentati. A questo livello, sarebbe interessante e istruttivo proporre un percorso storico-culturale, per mettere in evidenza la ricchezza del processo che è stato alla base della scelta di tali termini. Se si vuole però introdurre gli studenti alle moderne applicazioni della meccanica quantistica, allora sarebbe necessario utilizzare vocaboli più opportuni e maggiormente evocativi: si propone, ad esempio, l'espressione "quanto di energia elettromagnetica", che racchiude in sé informazioni utili a inserirsi nella prospettiva dell'ottica quantistica.

Sarebbe opportuno, inoltre, condurre uno studio della trattazione effettuata dai libri di testo delle scuole secondarie di secondo grado riguardo alla presentazione dei fondamenti della meccanica quantistica. Andrebbe indagato, in particolare, se nella presentazione del processo storico venga messa in evidenza la pregnanza del processo di costruzione e differenziazione concettuale derivante dal cambiamento di paradigma.

Un'altra possibile implicazione per dei lavori futuri è, infine, una ricerca di carattere storico-didattico di formalizzazione del cambiamento di paradigma avvenuto nella seconda metà del XX secolo. Data la rapidità e l'importanza degli sviluppi tecnologici derivanti dalle applicazioni dell'ottica quantistica, è necessario effettuare un'accurata analisi della comprensione e della conoscenza, soprattutto da un punto di vista didattico, dei contenuti concettuali alla base della teoria quantistica.

Bibliografia

Branchetti, L., Cattabriga, A. & Levrini, O. (2019). "Interplay between mathematics and physics to catch the nature of a scientific breakthrough: the case of the blackbody", *Physical review, Physics education research*, 15(2), p. 020130-1.

Brookes, D.T. & Etkina, E. (2009). " 'Force', ontology, and language", *Physical Review Special Topics, Physical Education Research*, 5(1), p. 010110-1.

Bruce, W.S. (2020). *Our changing views of photons – a tutorial memoir*. Oxford: Oxford University Press.

Brush, S.G. (2007). "How ideas became knowledge: the light-quantum hypothesis 1905–1935", *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 37(2), pp. 205-246.

Compton, A.H. (1928). "Discordances entre l'expérience et la théorie électromagnétique du rayonnement", in *Électrons et Photons, Rapports et Discussions du Cinquiéme Conseil de Physique tenu a Bruxelles du 24 au 29 Octobre 1927*. Gauthier-Villars, Parigi: Institut International de Physique Solvay, pp. 55-85.

Galili, I. (2012a). "Cultural Content Knowledge – The Case of Physics Education", *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 20(2), pp. 1-13.

Galili, I. (2012b). "Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science.", *Science & Education*, 21, pp. 1283-1316.

Hentschel, K. (2018). *Photons: the History and Mental Models of Light Quanta*. Springer Cham.

Joly, J. (1921). "A quantum theory of colour vision", *Proceedings of the Royal Society B*, 92, pp. 219-232.

Kragh, H.S. (2014). "The names of physics: plasma, fission, photon", *The European Physical Journal H*, 39(3), pp. 263–281.

Lamb, Jr. W.E. (1995). "Anti-Photon", *Applied Physics B*, 60, pp. 77-84.

Lewis, G.N. (1926). "Light waves and light corpuscles", *Nature*, 117, pp. 236-238.

Newton, I. (1952). *Opticks or A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflections & Colours of Light*. New York: Dover.

Troland, L.T. (1917). "On the measurement of visual stimulation intensities", *Journal of Experimental Psychology*, 2, pp. 1-33.

Roychoudhuri, C., Kracklauer, A.F. & Creath, K. (2008). *The nature of light: what is a photon?* University of Rochester, Rochester, New York: CRC Press, Taylor & Francis.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_44, pp. 381–388
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-44

La forza e le trasformazioni di Lorentz: un esempio di come la storia della fisica può semplificare la didattica

Andrea Battocchio[1]

[1]Liceo Statale "Primo Levi" di San Donato Milanese, San Donato Milanese (Mi), andrea.battocchio@levi.edu.it.

Abstract: The Lorentz force, which is the force acting on a moving charge within an electromagnetic field, is generally introduced in secondary school textbooks as an experimental result: its origin is not deeply described since demonstrating it would require a good grasp of differential calculus. However, the dependence of the Lorentz force on the charge's velocity - and therefore on a specific reference frame - leads to conceptual consequences, especially after studying the theory of relativity, which are usually overlooked. Indeed, in a frame of reference moving with the charge itself, where the velocity vector is zero, its origin remains unexplained. In the same paper where Lorentz derived the expression for the force that bears his name, he also deduced the coordinate transformations that are also named after him. Through these transformations, it is possible to explain in a simple manner the emergence of the force detected by an observer moving with the charge, without resorting to differential calculus. This paper thus highlights how the historical connection between the Lorentz force and transformations simplifies the explanation of a complex phenomenon, showing how the application of these transformations allows to calculate the electric field that determines the force acting on a moving charge within a magnetic field, even in a frame of reference moving with the charge itself.

Keywords: Lorentz Force, Lorentz Transformations, Secondary School Physics, Length Contraction

1. Introduzione

La forza di Lorentz agisce su una particella carica in movimento all'interno di un campo magnetico. La sua espressione nella forma più generale è $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$, dove $\vec{E}$ e $\vec{B}$ sono rispettivamente il campo elettrico e magnetico, q la carica della particella e $\vec{v}$ la sua velocità.

A livello di scuola secondaria secondaria la forza di Lorentz è solitamente riferita al solo campo magnetico, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ ed è introdotta o partendo dall'interazione tra un filo percorso da corrente e un campo magnetico, come spiegazione microscopica della forza a cui è soggetto il filo (ad es. Amaldi, 2020; Caforio & Ferilli, 2012; Fabbri *et al.*, 2020) o per via sperimentale (ad es. Parodi *et al.*, 2006; Tipler, 1991); scelte entrambi coerenti con gli strumenti matematici in possesso degli studenti di scuola secondaria, non ancora in grado di maneggiare il calcolo differenziale.

La configurazione più frequentemente usata per descrivere l'azione della forza di Lorentz è quella di un cursore, costituito da una piccola barretta metallica, che si muove con una velocità v all'interno di un solenoide con asse perpendicolare sia alla direzione di v sia alla lunghezza maggiore della barretta (Fig. 1a). Il passaggio di corrente nel solenoide genera un campo magnetico $\vec{B}$ che produce una forza elettrica sulle cariche presenti nel cursore, detta appunto forza di Lorentz. Questa configurazione permette di visualizzare facilmente i vettori interessati e di proporre uno schema di allestimento sperimentale ipoteticamente realizzabile in laboratorio, ma pone un problema difficilmente risolubile nel quadro dell'elettrodinamica classica: cosa accade se invece di essere il cursore a muoversi all'interno del solenoide è il solenoide stesso a muoversi con una velocità uguale a $-v$, la forza che agisce sulle cariche della barretta è la stessa?

La risposta a questa domanda nell'ambito della teoria della relatività è immediata, dopo aver dedotto le trasformazioni che coinvolgono i campi elettrici e magnetici in funzione della velocità misurata nel sistema di riferimento considerato, tuttavia le *Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento*[1] non prevedono, per nessun indirizzo di scuola secondaria, un approfondimento della relatività ristretta fino a quel livello. In alternativa è possibile rispondere all'interno dell'elettrodinamica classica seguendo il percorso storico compiuto da Hendrick Lorentz e adoperando la sua ipotesi di contrazione reale delle dimensioni di un corpo che si muove con una certa velocità, minore di quella della luce, rispetto ad un sistema di riferimento fissato universalmente. Ipotesi che propose nel 1892 nella prima memoria dedicata alla teoria degli elettroni (Lorentz, 1892), la stessa in cui derivò la forza che porta il suo nome.

2. Inquadramento storico

Secondo la teoria di Maxwell le onde elettromagnetiche, e quindi la luce, si propagavano grazie alle oscillazioni di un mezzo di supporto chiamato etere, questo mezzo doveva quindi circondare completamente la Terra e riempire anche lo spazio. Uno dei dibattiti più accesi tra i fisici nella seconda metà del XIX secolo riguardava il rapporto tra l'etere e i corpi soggetti a interazioni elettromagnetiche in movimento e in particolare il moto della Terra. Durante il suo moto, infatti, la Terra attraversava necessariamente l'etere ma il comportamento di quest'ultimo non era ancora stato chiarito. Le ipotesi plausibili erano o che l'etere rimanesse immobile, come trasparente al passaggio della materia, oppure che fosse trascinato dal moto della Terra o di altri corpi. Nel primo caso doveva essere possibile rilevare, attraverso opportuni esperimenti, il moto relativo tra l'etere e i corpi in movimento, ma tutte le esperienze condotte, in particolare quelle di Michelson-Morley (1887) e di Fizeau (1859) avevano mostrato che, se il moto relativo esisteva, doveva essere molto piccolo rispetto a quello previsto teoricamente. Pertanto l'etere o era completamente trascinato, oppure lo era solo parzialmente. L'ipotesi di un trascinamento parziale era supportata anche dalla determinazione da parte di Augustin Fresnel della velocità della luce all'interno di un oggetto in moto con velocità v:

$$v_{luce} = \frac{c}{n} + v\left(1 - \frac{c}{n^2}\right) \tag{2.1}$$

dove n è l'indice di rifrazione dell'oggetto e $(1-\frac{c}{n^2})$ rappresenta il cosiddetto coefficiente di trascinamento, cioè quanto, secondo Fresnel, l'etere partecipava per trascinamento al moto dell'oggetto (Whittaker, 1910, pp. 116–117).

Dopo un'approfondita analisi delle due ipotesi, Lorentz si convinse che l'etere non potesse essere trascinato, ma doveva rimanere immobile e trasparente al moto della Terra (Hirosige, 1969). La teoria degli elettroni nacque in questo contesto, con l'obiettivo di spiegare il coefficiente di trascinamento di Fresnel senza ricorrere all'ipotesi che l'etere fosse trascinato, nemmeno in modo parziale:

> Mi è sembrato utile sviluppare una teoria dei fenomeni elettromagnetici basata sull'idea di una materia ponderabile perfettamente permeabile all'etere e in grado di muoversi senza comunicare a quest'ultimo il minimo movimento. Alcuni fatti dell'ottica possono essere invocati a sostegno di questa ipotesi e, benché il dubbio sia ancora legittimo, è certamente importante esaminare tutte le conseguenze di questa visione. Sfortunatamente, una difficoltà molto seria si presenta sin dall'inizio. Come, infatti, ci si potrebbe fare

[1] "Lo studio della teoria della relatività ristretta di Einstein porterà lo studente a confrontarsi con la simultaneità degli eventi, la dilatazione dei tempi e la contrazione delle lunghezze; l'aver affrontato l'equivalenza massa-energia gli permetterà di sviluppare un'interpretazione energetica dei fenomeni nucleari (radioattività, fissione, fusione)". Decreto MIUR 7 ottobre 2010, n. 211, «Schema di regolamento recante "Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento concernenti le attività e gli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per i percorsi liceali di cui all'articolo 10, comma 3, del decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n. 89, in relazione all'articolo 2, commi 1 e 3, del medesimo regolamento"»

> un'idea precisa di un corpo che, muovendosi all'interno dell'etere e attraversato quindi da questo mezzo, è allo stesso tempo sede di una corrente elettrica o di un fenomeno dielettrico? Per superare la difficoltà, per quanto mi è stato possibile, ho cercato di ricondurre tutti i fenomeni a uno solo, il più semplice di tutti, che non è altro che il movimento di un corpo elettrizzato. Si vedrà che, senza approfondire la relazione tra la materia ponderabile e l'etere, si può stabilire un sistema di equazioni adatto a descrivere ciò che accade in un sistema di tali corpi. Queste equazioni si prestano a varie applicazioni, che saranno trattate nei capitoli successivi, e ci forniranno una deduzione teorica del "coefficiente di trascinamento" che Fresnel introdusse nella teoria dell'aberrazione. Basterà, in queste applicazioni, ammettere che tutti i corpi ponderabili contengono una moltitudine di piccole particelle con cariche positive o negative e che i fenomeni elettrici sono prodotti dal movimento di queste particelle. Secondo questa visione, una carica elettrica è costituita da un eccesso di particelle con cariche di un segno determinato, una corrente elettrica è un vero e proprio flusso di questi corpuscoli e, negli isolanti ponderabili, ci sarà uno "spostamento dielettrico" non appena le particelle elettrizzate in essi contenute vengono allontanate dalle loro posizioni di equilibrio. (Lorentz, 1892, p. 432)

Tra le equazioni richiamate nel passo riportato, vi è quella della forza agente su una particella carica in movimento all'interno di un campo elettromagnetico. Lorentz derivò l'espressione di quella forza partendo dal principio di D'Alembert combinato con il principio dei lavori virtuali, che per una singola particella di massa m è

$$\sum(Fds) = \frac{d(mv)}{dt}\delta s = \frac{d}{dt}(mv \cdot \delta s) - mv - \frac{d}{dt}\delta s \tag{2.2}$$

dove l'ultimo termine è la variazione dell'energia cinetica della particella, indicata con δT, e la quantità $mv \cdot \delta s$ rappresenta la variazione dell'energia cinetica per effetto dello spostamento δs , indicata $\delta' T$.

Ponendo $\frac{d(mv)}{dt}\delta s = \delta A$, l'equazione 2.2 assume la forma

$$\delta A = \frac{d}{dt}\delta T - \delta T \tag{2.3}$$

Lorentz, seguendo Maxwell (1873, p. 251), attribuì all'energia cinetica il valore $T = \frac{1}{2\mu_0}\vec{H} \cdot \vec{B}$, dove $\vec{H}$ e $\vec{B}$ sono i vettori induzione e campo magnetico.

Per una particella carica con una velocità v all'interno di un campo elettromagnetico, è la differenza tra la variazione dell'energia potenziale del sistema e il lavoro fatto dalla forza elettromagnetica che agisce sulla particella: $\delta A = \delta U - F\delta s$. Come energia potenziale Lorentz assunse una funzione quadratica dello spostamento elettrico $\vec{D}$, $U = \frac{1}{2\epsilon_0}\vec{D} \cdot \vec{D}$ e dunque, dato che lo spostamento δs di una carica q provoca la variazione $\delta D = q\delta s$, la variazione dell'energia potenziale del sistema a seguito dello spostamento della particella è $\delta U = \frac{1}{2\epsilon_0}Dq\delta S$, da cui

$$\delta A = \frac{1}{2\epsilon_0}qD\delta s - F\delta s \tag{2.4}$$

Infine, attraverso le equazioni di Maxwell, arrivò a concludere che $\delta T = q(\vec{v} \times \vec{B})\delta s$ e $\delta T = 0$.

Sostituendo $\delta A, \delta T$ e $\delta' T$ nella 2.4 ricavò

$$\frac{1}{\epsilon_0}qD\delta s - F\delta s = q(\vec{v} \times \vec{B})\delta s \tag{2.5}$$

e, ponendo $\vec{D} = \epsilon_0\vec{E}$, si ha l'espressione $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$.[2] Nella stessa memoria, poche pagine più avanti, Lorentz introdusse la trasformazione di coordinate

[2] Per una trattazione puntuale della derivazione fatta da Lorentz con una notazione moderna si rimanda a Hirosige, 1969.

$$x = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} x \tag{2.6}$$

con l'obiettivo di mostrare come l'equazione di un'onda elettromagnetica che si propaga all'interno di un mezzo in movimento con velocità v lungo una determinata direzione x

$$(1 - \frac{v^2}{c^2}) \frac{\delta^2 \Psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta z^2} + \frac{2v}{c^2} \frac{\delta^2 \Psi}{\delta x \delta t} - \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 \Psi}{\delta t^2} = 0 \tag{2.7}$$

è riconducibile all'equazione di un'onda in un mezzo fermo

$$\frac{\delta^2 \Psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 \Psi}{\delta t^2} = 0 \tag{2.8}$$

La trasformazione 2.6, scritta da Lorentz nella forma generale

$$l' = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} (x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2} \tag{2.9}$$

dove A e B sono due punti qualsiasi di un corpo in moto, rappresenta una contrazione della distanza $l = \overline{AB}$ lungo la direzione x del moto, a cui il fisico olandese non attribuì inizialmente un significato reale; rappresentava solo un artificio matematico che gli permetteva di dedurre la velocità di propagazione di un'onda elettromagnetica in un corpo in movimento, sotto le ipotesi della teoria degli elettroni, senza considerare l'effetto di trascinamento dell'etere da parte del corpo.

Tre anni prima, George Fitzgerald aveva già tentato di spiegare il risultato dell'esperimento di Michelson-Morley tramite una contrazione:

> Il risultato [dell'esperimento di Michelson-Morley] sembra in contrasto con altri esperimenti che mostrano come l'etere nell'aria può essere trascinato solo in misura impercettibile. Suggerirei che l'unica ipotesi che può conciliare questo contrasto è che la lunghezza dei corpi materiali cambi, a seconda che si muovano attraverso l'etere o trasversalmente ad esso, di una quantità che dipende dal quadrato del rapporto tra la loro velocità e quella della luce. Sappiamo che le forze elettriche sono influenzate dal moto rispetto all'etere dei corpi elettrificati e sembra una supposizione non improbabile che le forze molecolari siano influenzate dal moto e che le dimensioni di un corpo si alterino conseguentemente. (Fitzgerald, 1889)

Lorentz, ricalcando la medesima spiegazione di Fitzgerald sulla dipendenza delle forze molecolari dei corpi dal moto di questi rispetto ad un etere fisso, pochi mesi dopo la pubblicazione della prima memoria sulla teoria degli elettroni, affermò, in una seconda nota, che non era inconcepibile un cambio delle dimensioni reali dei corpi, conferendo alla contrazione introdotta per via matematica una realtà fisica:

> Da cosa sono determinate la grandezza e la forma di un corpo solido? Apparentemente dall'intensità delle forze molecolari; qualsiasi causa che le modifichi influirebbe anche sulla forma e sulle dimensioni. Oggi possiamo presumere che le forze elettriche e magnetiche agiscano tramite l'intervento dell'etere. Non è irragionevole supporre lo stesso per le forze molecolari, ma allora può fare la differenza se la linea di congiunzione di due particelle di materia, che si spostano insieme attraverso l'etere, è parallela alla direzione del movimento o perpendicolare ad essa. Si comprende facilmente che non ci si può aspettare un'influenza dell'ordine $\frac{v}{c}$, ma un'influenza dell'ordine $\frac{v^2}{c^2}$ non è esclusa, ed è proprio quello di cui abbiamo bisogno. (Lorentz, 1893)

Nel 1904 Lorentz sviluppò ulteriormente la sua teoria degli elettroni e dei fenomeni elettromagnetici dei corpi in movimento, caratterizzata da una reale contrazione degli oggetti in moto rispetto ad un sistema

di riferimento assoluto coincidente con quello dell'etere, e formulò le trasformazioni di coordinate complete che portano il suo nome. La teoria della contrazione di Lorentz anticipò la teoria della relatività di Einstein e, grazie a essenziali correzioni apportate da Poincaré, può essere considerata ad essa empiricamente e predittivamente equivalente (Janssen, 2002). Per diversi motivi, alcuni di natura più filosofico-estetica che strettamente fisica (Acuña, 2014), ha prevalso la teoria di Einstein ed oggi la teoria di Lorentz è ricordata solo a livello storico, ma da un punto di vista didattico potrebbe essere ancora molto efficace perché basata su un sistema di riferimento assoluto e su uno spazio-tempo euclideo, elementi che facilitano la spiegazione di alcuni fenomeni senza un radicale cambio di paradigma rispetto alla meccanica newtoniana e all'elettrodinamica classica. Ad esempio, utilizzando la contrazione di Lorentz come da lui descritta nelle prime due memorie del 1892 e 1893, si può rispondere compiutamente alla domanda posta nell'introduzione ed illustrata nella seguente proposta didattica: quale forza agisce sulle cariche presenti in un cursore inserito all'interno di un solenoide che si muove con velocità $-v$?

La proposta permette inoltre di comprendere operativamente l'unicità del campo elettromagnetico e la trasformazione reciproca di $\vec{E}$ e $\vec{B}$:

$$\begin{aligned} E_x &= E_x & B_x &= B_x \\ E_y &= \gamma(E_y - vB_z) & B_y &= \gamma(B_y - vE_z) \qquad \text{con } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ E_z &= \gamma(E_z - vB_y) & B_z &= \gamma(B_z - vE_y) \end{aligned}$$

3. Proposta didattica

Si consideri un solenoide conduttore di lunghezza L formato da n spire quadrate di lato l. La densità di carica elettrica su un lato della spira è $\rho = l(A \cdot l)$, dove q è la quantità di carica totale presente nel tratto di filo che compone la spira e A è la sezione del filo. Quando la spira è percorsa da una corrente i, all'interno del solenoide si genera un campo magnetico $\vec{B}$, uscente dal foglio in Fig. 1a, di intensità pari a $B = \mu_0 \frac{n \cdot i}{L}$.

Se all'interno del solenoide è posto un cursore di materiale conduttore che si muove con una velocità v perpendicolare al campo $\vec{B}$, le cariche elettriche presenti nel cursore sono soggette ad una forza di Lorentz $\vec{F}$, che separa le negative dalle positive, creando un campo elettrico $\vec{E}$, perpendicolare a $\vec{v}$ e a $\vec{B}$, dato da $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, con $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$. I valori scalari di $\vec{F}$ e di $\vec{E}$ sono quindi rispettivamente $F = qvB$ e $E = vB$.

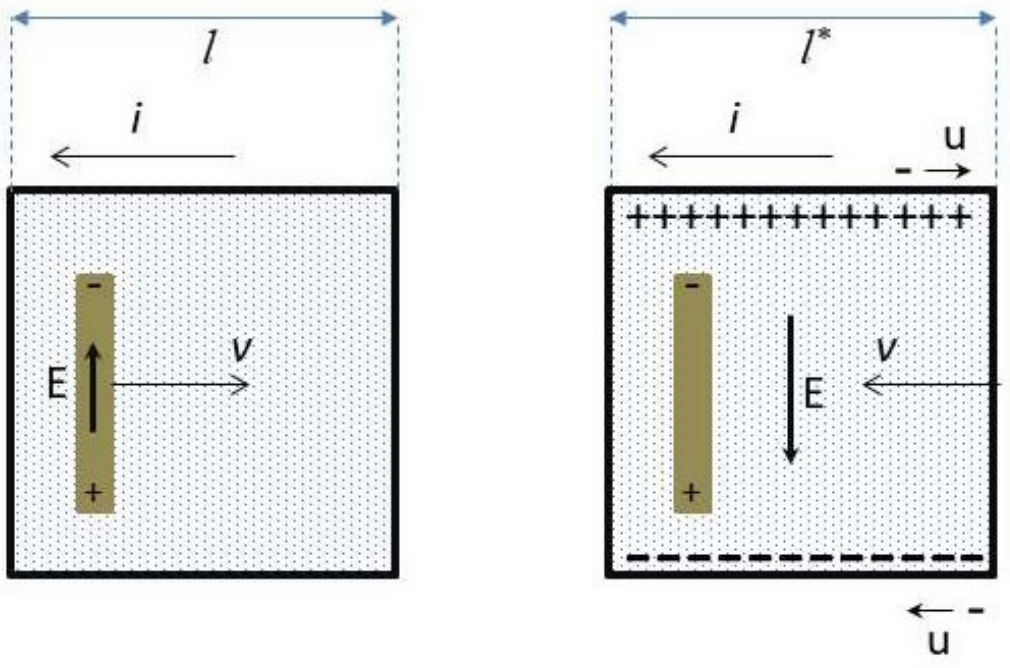
Se invece è la spira percorsa dalla corrente i a muoversi con una velocità v, in verso opposto al caso precedente, e il cursore è fermo all'interno del solenoide (Fig. 1b), per la contrazione di Lorentz la lunghezza dei due lati della spira paralleli alla velocità è $l^* = \gamma l$. La differente lunghezza del lato della spira modifica anche la densità di carica ρ. Con riferimento alla Fig. 1b, la densità di carica positiva, dovuta agli ioni sui lati superiore e inferiore della spira è uguale a

$$\rho^+ = \frac{q}{A \cdot l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \simeq \rho\left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) \tag{3.1}$$

La densità di carica negativa, invece, è deterrminata sul lato superiore dagli elettroni che si muovono in senso orario con una velocità di deriva u, opposta alla velocità v della spira, e sul lato inferiore dagli elettroni che si muovono con velocità u concorde a quella della spira. La densità di carica per i due lati, superiore e inferiore, è dunque diversa[3]:

[3] L'approssimazione deriva dallo sviluppo in serie di Taylor dei due valori di ρ^-_{sup} e ρ^-_{inf} arrestato al secondo ordine e dall'aver trascurato il termine u^2 nello sviluppo di $(v \pm u)^2$.

$$\rho^-_{\text{sup}} = \frac{q}{A \cdot l \sqrt{1-\frac{(v-u)^2}{c^2}}} \simeq \rho(1+\tfrac{v^2-2uv}{2c^2}) \quad \text{e} \quad \rho^-_{\text{inf}} = \frac{q}{A \cdot l \sqrt{1-\frac{(v+u)^2}{c^2}}} \simeq \rho(1+\tfrac{v^2+2uv}{2c^2})$$



(a) **(b)**

Fig. 1: (a) Cursore in moto all'interno di un solenoide fermo. (b) Cursore fermo all'interno di un solenoide in moto.

Sul lato superiore della spira si ha quindi una densità di carica positiva che eccede la densità di carica negativa e viceversa per il lato inferiore:

$$\Delta\rho_{\text{ sup}} = \rho^+ - \rho^- = \rho(1+\frac{v^2}{2c^2}) - \rho(1+\frac{v^2-2uv}{2c^2}) = \rho\frac{uv}{c^2}$$

$$\Delta\rho_{\text{ inf}} = \rho^+ - \rho^- = \rho(1+\frac{v^2}{2c^2}) - \rho(1+\frac{v^2+2uv}{2c^2}) = -\rho\frac{uv}{c^2}$$

Considerando ora il solenoide nella sua interezza, i lati superiore e inferiore, composti da n spire, possono essere visti come le facce di un condensatore piano con una carica totale $Q = \frac{qnuv}{c^2}$.

Il campo elettrico all'interno di un condensatore piano è dato da $E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$, dove S è la superficie della piastra del condensatore che, nel caso delle due facce della spira, è $S = l^* L$; quindi all'interno del solenoide si genera un campo elettrico

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 l^* L} = qn\frac{uv}{c^2}\frac{1}{\epsilon_0 l^*} \tag{3.2}$$

Dato che il campo magnetico nel solenoide è $B = \frac{\mu_0(n\cdot i)}{L}$ e la corrente $i = \frac{qu}{l}$, si può sostituire il rapport $\frac{n}{L} = \frac{Bl}{\mu_0 qu}$ nell'equazione :

$$E = q\frac{uv}{c^2}\frac{Bl}{\mu_0 qu}\frac{1}{\epsilon_0 l^*} \tag{3.3}$$

Procedendo poi con le opportune semplificazioni e tenendo presente che $c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$ e $l^* = l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ si ottiene:

$$E = q\frac{uB}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \simeq vB(1 + \frac{v^2}{2c^2}) \tag{3.4}$$

cioè un campo elettrico diretto dall'alto verso il basso in fig. 1b, con un valore che, per $v \ll c$, è pari in prima approssimazione a $E = vB$.

A questo campo elettrico è sottoposto il cursore fermo le cui cariche saranno attratte dalle piastre del condensatore di segno opposto con una forza $F = qE = qvB$, che è esattamente la forza di Lorentz (Lüders & Pohl, 2018, pp. 132–135).

4. Conclusioni

Nonostante la teoria di Lorentz sia stata superata dalla teoria della relatività di Einstein, se non proprio dalla relatività ristretta, verso cui mantiene un'equivalenza formale, certamente dalla relatività generale,[4] essa conserva tuttora un valore storico e didattico di primo piano. Dal punto di vista storico il suo studio permette di inserire il tema della relatività in un *continuum* scientifico, risolvendo i problemi della teoria di Maxwell legati all'elettrodinamica dei corpi in movimento, senza modificare la geometria dello spazio-tempo. Proprio questa caratteristica è il maggior pregio della contrazione di Lorentz dal punto di vista didattico, perché fornisce delle spiegazioni ai fenomeni che gli studenti possono afferrare rimanendo nel quadro di riferimento della meccanica classica. La proposta didattica presentata ne è un esempio, completa la spiegazione di come agisce la forza di Lorentz quando le cariche che subiscono la forza si trovano in un corpo fermo all'interno di un campo magnetico generato da una sorgente in moto; inoltre i semplici calcoli proposti conducono operativamente alle trasformazioni del campo magnetico in campo elettrico e viceversa. I fenomeni che possono essere analizzati mediante la teoria della contrazione di Lorentz, senza il ricorso a concetti controintuitivi, coprono in linea di principio tutta la relatività ristretta, ma sarebbero sufficienti anche soltanto quelli contenuti nelle *Indicazioni nazionali* per ipotizzare di sostituire, esclusivamente a scopo didattico, la teoria della relatività ristretta con la più intuitiva teoria della contrazione di Lorentz[5], introducendo le deformazioni geometriche dello spazio-tempo solo in occasione della relatività generale, quando anche l'azione a distanza, altro concetto fondamentale della meccanica newtoniana, viene sostituita da un campo gravitazionale descritto dal tensore metrico.

Bibliografia

Acuña, P. (2014). "On the empirical equivalence between special relativity and Lorentz's ether theory", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, pp. 83–302.

Amaldi, U. (2020). *Il nuovo Amaldi per i licei scientifici*. Bologna: Zanichelli.

Bell, J. (2010). Come insegnare la realtività ristretta, in *Dicibile e indicibile in meccanica quantistica*. Milano: Adelphi.

Caforio, A. & Ferilli, A. (2012). *Fisica! Le leggi della natura*. Le Monnier scuola.

Fabbri, S., Masini, M. & Baccaglini, E. (2020). *FTE - Fisica Teorie Esperimenti*. Brescia: Sei.

[4] Esistono anche trattazioni della relatività generale basate sulla realtà fisica della deformazione dei corpi (Janossy, 1971).

[5] Un supporto teorico "per condurre gli studenti lungo la strada tracciata da Fitzgerald, Larmor, Lorentz e Poincaré" proviene da John Bell (Bell, 2010) che dimostra come la contrazione di Lorentz possa essere effettivamente derivata dalla deformazione degli orbitali atomici. Ringrazio Alessandro Amabile per questa osservazione emersa nel corso dell'esposizione al congresso.

Fitzgerald, G. F. (1889). "The Ether and the Earth's Atmosphere", *Science*, 13(328), p. 390.

Fizeau, H. (1859). "Sur le hypothéses relatives a l'éther lumineux", *Annales de Chimie et de Physique*, 57, pp. 385–404.

Hirosige, T. (1969). "Origins of Lorentz' Theory of Electrons and the Concept of the Electromagnetic Field", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1, pp. 151–209.

Janossy, L. (1971). *Theory of Relativity Based on Physical Reality*. Budapest: Akademiai Kiadó.

Janssen, M. (2002). "Reconsidering a Scientific Revolution: The Case of Einstein versus Lorentz", *Physics in Perspective*, 4, pp. 421–446.

Lorentz, H.A. (1892). "La théorie électromagnétique de Maxwell et son application auzx corps mouvants", *Archives Néerlandaises Des Sciences Exactes et Naturelles*, XXV.

Lorentz, H.A. (1893). "De relatieve beweging van de aarde en den aether", *Verslagen Der Zittingen van de Wis- En Natuurkundige Afdeeling Der Koninklijke Akademie*, 1, pp. 74-79.

Lüders, K. & Pohl, R.O. (eds.) (2018). *Pohl's Introduction to Physics*. Cham: Springer.

Maxwell, J.C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism: Vol. II*. Oxford: Clarendon Press.

Michelson, A.A. & Morley, E.W. (1887). On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. *American Journal of Science*, XXXIV(203), pp. 333–345.

Parodi, G.P., Ostili, M. & Mochi Onori, G. (2006). *L'evoluzione della fisica*. Torino: Paravia.

Tipler, P.A. (1991). *Invito alla fisica*. Bologna: Zanichelli.

Whittaker, E.T. (1910). *A History of the Theories of Eather and Electricity*. London: Longmans, Green and Co.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_45, pp. 389–396
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-45

From Faraday's candle to today's STEM: some suggestions for teachers

Pietro Cerreta[1]

[1]Associazione ScienzaViva, Calitri (Av), p.cerreta13@gmail.com.

Abstract: According to Faraday, there was nothing more instructive than a burning candle for the juvenile audience of his time. This topic can still be educational for our pupils if we actualize some of its phenomena. First, let us expose the flame of a candle to the rays of the sun, or put it in front of the light of a video projector: we will show that on a screen made of a white sheet of paper not only the trace of the convective motions of the air heated by the flame will appear, but also something curiously opaque at the tip of the flame itself: the black smoke that radiates the light. Moreover, let us cut the flame horizontally at different heights employing a thin wire gauze: we shall see that the flame is hollow and that during combustion a white vapor of melted wax comes out from its interior, while higher up we would get black smoke. Of equal interest in the meantime will be noting the automatic cooling of the outer edges of the candle, the separation of the melted wax from the flame, the necessity of a plaited wick for it to feed by capillarity by drawing from the cup below, the water vapor and carbon dioxide as products of combustion, and the similarity of this to human respiration. Topics that interconnect physics, chemistry, technology, and biology as Faraday wanted are suitable for teachers who prefer STEM teaching.

Keywords: Faraday, Candle, STEM, Teachers

1. Un intreccio tra teoria e pratica

Da una ventina d'anni a questa parte, parlando di didattica delle scienze, anche noi in Italia abbiamo cominciato a porre l'attenzione sulle cosiddette discipline STEM, un acronimo coniato negli Stati Uniti che invita a considerare nell'insieme, quasi come un tutt'uno, Scienze, Tecnologia, Ingegneria e Matematica, piuttosto che vederle ancora separate come eravamo da sempre abituati. La necessità di questo nuovo approccio, dice il Ministero dell'Istruzione in una recente circolare, deriva:

> dal presupposto che le sfide di una modernità sempre più complessa e in costante mutamento non possono essere affrontate che con una prospettiva interdisciplinare, che consente di integrare e contaminare abilità provenienti da discipline diverse (scienza e matematica con tecnologia e ingegneria) intrecciando teoria e pratica per lo sviluppo di nuove competenze, anche trasversali. (Ministero dell'Istruzione e del Merito, 2023, p.2)

In termini più elementari, l'atteggiamento auspicato dalla nota ministeriale propone anche in Italia, come avviene in tanti Paesi che hanno accettato tali novità, un sapere scientifico arricchito dal ben saper fare, sia con le mani che con le apparecchiature di ogni tipo.

È interessante osservare che, nel prosieguo del testo or ora citato, i dirigenti del Ministero propongono addirittura un'estensione di tale prospettiva e aggiungono che:

> la storia della scienza, le civiltà classiche, la grammatica latina, possono... contribuire allo sviluppo delle conoscenze matematiche, scientifiche, tecnologiche nonché delle competenze attese dalle discipline STEM, in una visione armonica della formazione dei giovani e in un orizzonte di unitarietà della cultura. Per questo si è passati dal paradigma STEM a quello olistico di STEAM. (Ministero dell'Istruzione e del Merito, 2023, p.2)

Un segno palese che tale approccio - interdisciplinare nonché tecnicamente esperienziale - è diventato ormai comune anche nel nostro continente è, ad esempio, il fatto che al Festival Europeo di *Science on Stage* i docenti di materie scientifiche possono presentare solo progetti coerenti con esso. Lo mostra, appunto, la specifica indicazione STEM o STEAM in ciascuno dei temi-guida predisposti dagli organizzatori per la selezione internazionale dei concorrenti a tale manifestazione, che si è svolta qualche mese fa a Turku, in Finlandia.

Nel prendere atto del progressivo affermarsi di questa nuova tendenza educativa, mi è venuto in mente l'atteggiamento pedagogico analogo, proposto da Faraday nelle sue sei lezioni-spettacolo sulla "Storia chimica di una candela" da lui svolte per il pubblico giovanile nella Royal Institution di Londra, durante il periodo natalizio tra il 1860 e 1861.

Secondo il celebre chimico-fisico inglese, la candela che arde, benché ovvia nella sua semplicità, costituiva in realtà uno strumento didattico eccezionale per le seguenti ragioni:

> Non c'è una sola legge, secondo la quale sia governata una qualsiasi parte di questo universo, che non entri in gioco e sia coinvolta in tali fenomeni[1]. Non esiste una porta migliore e più ampia, attraverso la quale potete entrare nello studio della filosofia naturale[2], di quella che porta a considerare i fenomeni fisici che avvengono in una candela. (Faraday, 2009, p. 5)

Mi chiedo, allora, se non sia il caso di suggerire ai moderni insegnanti STEM di ricorrere proprio ai vari espedienti strumentali di cui Faraday decise di servirsi più di centosessanta anni fa al fine di stimolare la meraviglia e la curiosità scientifica nei ragazzi londinesi. Stratagemmi che i docenti di oggi potrebbero adoperare esattamente allo stesso modo per introdurli nell'intreccio delle diverse leggi naturali vigenti nei pochi centimetri cubici che circondano la candela e che la rendono tanto singolare e bella. D'altra parte, i materiali di cui si serviva Faraday, quasi tutti di facile reperibilità, messi nelle mani degli alunni odierni, addestrerebbero questi ultimi all'uso progressivo dell'ingegno pratico a cui s'ispira la filosofia STEM, cioè al saper fare usando opportune attrezzature, recuperando la manualità che purtroppo è diventata spesso estranea alle loro abitudini quotidiane. Adottare lo stile di Faraday, dunque, consentirebbe agli studenti di imparare come costringere la natura a rivelare ogni singola legge che regola i suoi fenomeni. Nello stesso tempo costituirebbe un utile ponte armonico con la storia della scienza, come raccomanda tra l'altro il Ministero dell'Istruzione.

Rivisitando alcune delle lezioni più affascinanti della "Storia chimica di una candela" (Cerreta, 2024), mi auguro di dimostrare qui di seguito in che modo ciò potrebbe essere attuato.

2. Il bordo, la cosa più bella in una candela

Tra i primi argomenti affrontati da Faraday nelle sue conferenze c'è quello dell'alimentazione della fiamma. Dopo che con un fiammifero si dà fuoco allo stoppino di cotone, a mantenere viva la fiamma è la cera da questa stessa disciolta. Non appena fusa, la cera scorre in una piccola concavità che si crea in modo spontaneo intorno allo stoppino: una sorta di ciotola capace di raccoglierla, mancando la quale, essa colerebbe in basso per gravità, senza giungere, in alto, al luogo della combustione. È sorprendente che la cera fusa abbia modo di salire, per capillarità, attraverso lo stoppino che regge la fiamma, proprio grazie alla spontanea formazione di questa ciotola.

È dunque l'automatismo della ciotola, per fortuna, a venirci incontro. Vediamo meglio come.

Non appena si accende la candela, l'aria che circonda la fiamma si riscalda e comincia a salire verso l'alto, per convezione, richiamando così aria fresca dal basso. Quest'aria

[1] La complessità dei fenomeni.

[2] L'interdisciplinarità delle materie di studio.

fresca, mentre ascende lungo la superficie cilindrica della candela, ne raffredda il bordo superiore e lo irrigidisce, rendendolo cioè più resistente al calore: sicché - ad una certa distanza dal lucignolo – in modo progressivo prende forma una barriera circolare di contenimento, spessa qualche millimetro, in cui va a fermarsi il combustibile che è in via di liquefazione. Da quest'ultimo la fiamma attinge quell'alimento ad essa necessaria per mantenersi in vita. Lo fa, come s'è detto, per capillarità, magari attraverso uno stoppino appositamente intrecciato (Fig. 1) che favorisce ancor più l'ascesa del liquido verso l'alto, mentre, via via nel frattempo, la cera solida circostante continua a sciogliersi al calore che la fiamma stessa sviluppa. Insomma, la ciotola (Fig. 1) di una candela si forma grazie al naturale raffreddamento del bordo di quest'ultima, per cui c'è una netta differenza strutturale tra essa e il contenitore solido appositamente predisposto per il funzionamento di una lampada ad olio. Ciò che meraviglia Faraday, e che in definitiva vuole che gli astanti apprendano dal suo discorso, è che le fiamme delle candele:

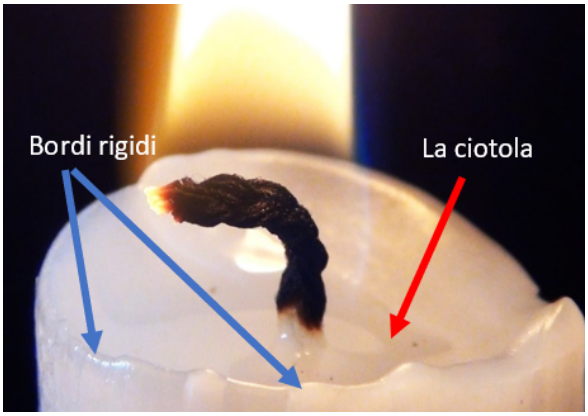


Fig. 1: Nella candela si producono bordi rigidi che consentono la formazione della ciotola, in cui lo stoppino intrecciato pesca la cera fusa, cioè il liquido destinato ad alimentare la fiamma.

> rimangono confinate sopra il liquido sottostante e non invadono la concavità ai bordi. Non posso immaginare un esempio più bello di capacità di adattamento, di quello in base al quale una candela mette una parte a disposizione dell'altra fino alla fine della sua attività. Un combustibile come questo, che brucia lentamente senza mai disturbare la fiamma, è uno spettacolo molto bello, soprattutto quando arrivate a imparare che cosa potente è una fiamma, quale forza ha di consumare la cera quando la lambisce e di cambiarne la forma se sola le si avvicina troppo. (Faraday, 2009, p. 23)

Ecco perché lo scienziato, affascinato da questo concorso di adattamenti, armonici e spontanei, fornito da agenti vari nella produzione della fiamma, giunge infine ad affermare che il bordo, per lui, è "la cosa più bella in una candela". Lo spiega così ai suoi giovani ascoltatori: "Spero che adesso comprenderete che la perfezione di un processo, consistente nella sua utilità, rappresenta il suo aspetto più bello. Non è la cosa più bella da vedere, ma è quella che funziona meglio, che per noi è la più conveniente" (Faraday, 2009, p. 23). Su quella cosa che, per lui, "funziona meglio", a parer mio oggi può essere interessante soffermarsi in una prospettiva didattica STEM.

3. L'ombra della fiamma

La candela illumina: ma come è fatta la sua fiamma e perché è luminosa?

Per cominciare a dare un'idea ai ragazzi di ciò che c'è dentro la fiamma e non si vede ad occhio nudo, Faraday mostra innanzitutto un disegno realizzato da Hooke[3] (Fig. 2) e, benché questo si riferisca al funzionamento di una lampada ad olio, egli non ha scrupolo ad utilizzando poiché lo "si può applicare anche alla fiamma di una candela" (Faraday, 2009, p. 23). Tra le parti dell'atmosfera che in questo disegno avvolgono la fiamma, a Faraday preme segnalare senz'altro la corrente ascendente dei moti convettivi lì rappresentata con linee fittissime: è essa che fa stendere la sua punta verso l'alto. Ma, più di ogni altra cosa, gli preme sottolineare la

[3] Nel testo di Faraday, per la precisione, il nome che compare è Hooker. Studi successivi hanno però provato che si trattò di un errore originario di trascrizione: in realtà, l'autore a cui egli si riferisce è Robert Hooke (1635-1703) e l'immagine da lui mostrata è quella pubblicata nel libro di questi dal titolo Lampas del 1677 (James, 2011, p. xxvii) qui riportata in Fig. 2.

presenza al centro della figura di una forma scura, affusolata, che circonda il lucignolo (Fig. 2).

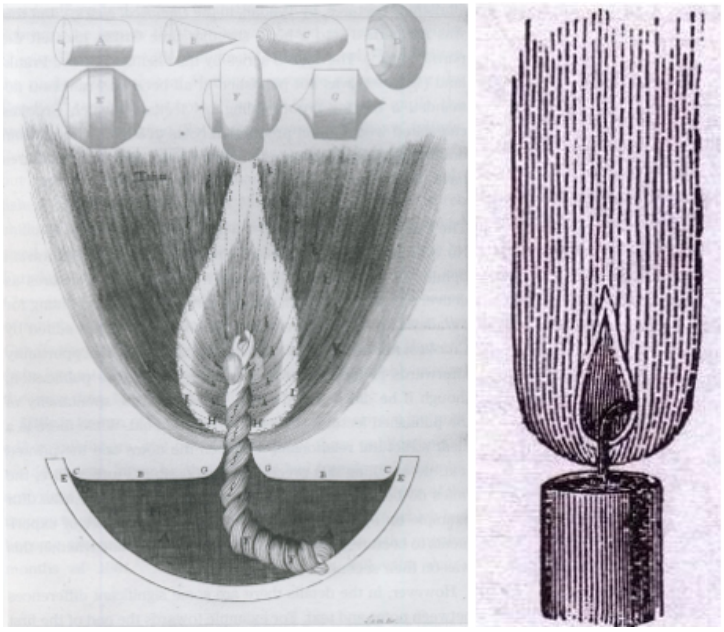


Fig. 2: (a) L'immagine disegnata da Hooke. (b) quella simile, rielaborata dal grafico che assisteva alle lezioni e poi riprodotta nel libro di Faraday

Per osservare direttamente quest'ultima, Faraday suggerisce subito ai ragazzi cosa fare: una volta a casa "potete vederla prendendo una candela accesa e mettendola al sole, in modo da proiettare la sua ombra su un foglio di carta" (Faraday, 2009, p. 33)[4]. Ma prima che tornino a casa, poiché in un ambiente chiuso, com'è quello in cui sta svolgendo la lezione, non può entrare la luce del sole, il conferenziere cerca di non deludere la loro attesa. Ha già preparato per loro, lì presenti, una elegante dimostrazione pratica: "Adesso imiterò la luce solare collegando la batteria voltaica alla lampada elettrica" (Faraday, 2009, p. 33) con una lampada ad arco. Faraday, a questo punto, dopo aver eseguito l'esperimento che conferma le suesposte previsioni sulla macchiolina scura al centro della fiamma, non trattiene l'emozione e rivela tutta la sua meraviglia al riguardo, pronunciando la seguente frase, in seguito diventata famosa:

> È sorprendente notare che una cosa sufficientemente luminosa da produrre le ombre di altri oggetti, è in grado di proiettare la propria ombra su un pezzo di carta bianca, di modo che potete realmente vedere fluire intorno alla fiamma qualcosa che non è parte della fiamma, ma che è ascendente e trascina la fiamma verso l'alto (Faraday, 2009, p. 33).

Si badi che la lampada elettrica usata da Faraday non è ancora quella ad incandescenza di Edison. Verosimilmente, per la potenza chiamata ad erogare, si tratta di una lampada ad arco voltaico adattata con una lente di Fresnel a mo' di proiettore (Fig. 3), come nei fari (Faraday, 1860, p.168). La lampada ad arco voltaico era stata realizzata all'inizio dell'ottocento da Humphry Davy (1778-1829), lo scienziato che aiutò Faraday a diventare protagonista della scienza sperimentale.

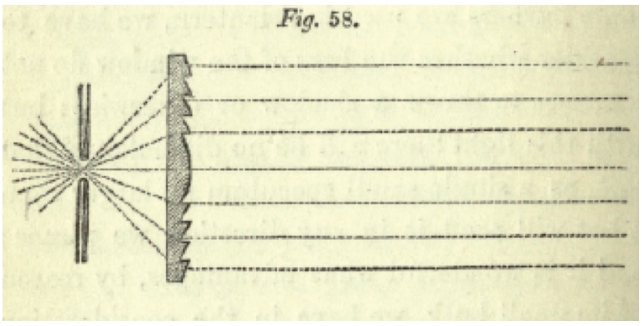


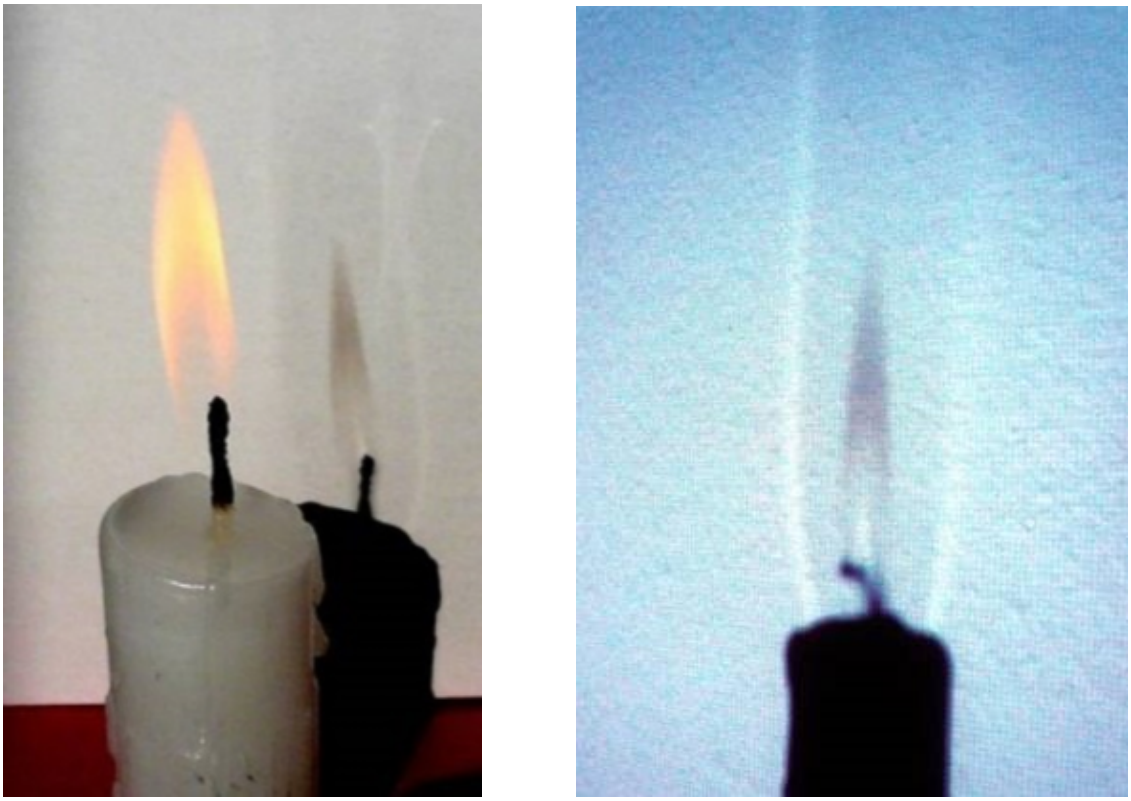
Fig. 3: Lo schema del proiettore di Faraday costituito da una lampada ad arco e una lente di Fresnel.

Qui di seguito vengono presentate due fotografie dell'ombra della fiamma prodotta da una candela: a sinistra, quella ottenuta con la luce diretta del sole e a destra quella che si acquisisce orientando sulla fiamma il fascio luminoso di un moderno videoproiettore, in un luogo chiuso, secondo la modalità adottata da Faraday nel corso della sua lezione.

Nella Fig. 4a, la candela accesa è illuminata dal sole ed è posta a breve distanza da uno schermo sul quale si distingue molto bene l'ombra della sua fiamma nonché l'ovale

[4] Dal Codice Atlantico, sappiamo che Leonardo usò la stessa tecnica (Cerreta, 2012, p. 69), ma per Faraday non si tratta di plagio.

scuro allungato verso l'alto dalla corrente di aria calda circostante descritta sia da Hooke che da Faraday il quale dice: "qualcosa che non è parte della fiamma, ma che è ascendente e trascina la fiamma verso l'alto", come abbiamo visto in precedenza.



(a) **(b)**

Fig. 4: (a) La fiamma messa al sole: la sua ombra proiettata su un foglio di carta. (b) Ombra della fiamma ottenuta quando essa è esposta alla luce di un videoproiettore. Si notino le due striscioline chiare e simmetriche, emergenti come un calice, ai lati dell'ombra.

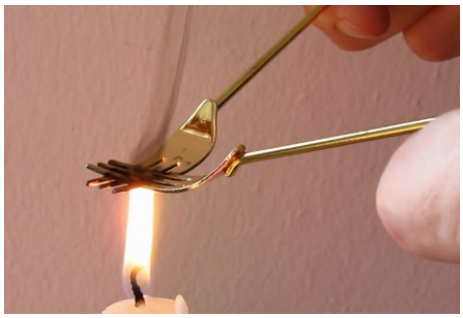
Nella Fig. 4b, si vede invece l'immagine dell'ombra della fiamma ottenuta sulla parete di una stanza chiusa dopo aver illuminato la candela con la lampada di un videoproiettore. Sicché qui, ora, oltre alla forma affusolata dell'ombra centrale, risaltano due striscioline chiare, simmetriche, risultanti dalla rifrazione della luce attraverso i filetti fluidi della suddetta aria fresca proveniente dal basso e che scorre verso l'alto. Filetti che qui si comportano con la luce che l'attraversa come lenti convergenti, perciò appaiono più chiari, a causa della loro maggiore densità rispetto all'aria calda prossima alla fiamma.

4. Cosa c′è dentro la fiamma?

Un ulteriore passo sperimentale, compiuto da Faraday davanti al suo pubblico, fu quello teso ad indagare il perché la fiamma, di per sé così brillante, si mostrava poi opaca alla luce del sole o di un proiettore. Per esplorarne il contenuto, egli pensò che fosse il caso di tagliarla a diversi livelli con una reticella metallica, per vedere cosa ne usciva fuori. Ebbe, così, l'ulteriore sorpresa di veder emergere dal suo interno un sottile flusso di fuliggine, fatta di granellini piccolissimi di carbone capaci di sporcare il palmo della mano, se fatto passare proprio sulla punta della fiamma. Se oggi, seguendo l'esempio dello scienziato, tagliamo la fiamma con un comune "spargifiamma", possiamo verificare noi stessi, direttamente, cosa si presentò agli occhi del suo pubblico (fig. 5a).

Quel che vediamo è, insomma, una colonnina di fumo nero, tecnicamente detto nerofumo. Esso

(a)



(b)

(c)

Fig. 5: (a) Nerofumo, o fuliggine, che fuoriesce dalla fiamma, se la si taglia con una reticella. (b,c) Nerofumo e vapore di cera uscenti a diversi livelli dalla fiamma con due forchettine incrociate.

esce fuori dalla fiamma non appena questa viene interrotta dalla reticella inserita in orizzontale al suo interno. Questo oggetto, essendo metallico, "ruba" calore alla fiamma e, a quel livello, interrompe il processo di combustione in atto. Se il taglio avvenisse invece più in basso, all'altezza della punta dello stoppino, ad esempio, vedremmo fuoriuscire un flusso di fumo bianco, cioè di vapore di cera, segno che la combustione vera e propria lì non è ancora cominciata. Per mostrarlo ai ragazzi, volendo, possiamo usare anche due forchettine incrociate (Fig. 5b, 5c). Faraday, entusiasta, ora si chiede: "Non è magnifico capire cosa stia avvenendo in un tale processo, e in quale modo cose sporche come il carbone possano diventare così incandescenti?" (Faraday, 2009, p.65). È, dunque, il nerofumo prodotto all'interno della fiamma che, diventato incandescente, la fa diventare luminosa. Egli dimostra subito dopo che, tuttavia, non in tutte le fiamme c'è nerofumo. Ad esempio, non ce n'è in una fiamma alimentata ad alcool perché questo contiene poco carbonio. Infatti un batuffolo di cotone impregnato di alcool, una volta acceso, produce una luce molto tenue, quasi invisibile! (Faraday, 2009, p.71)

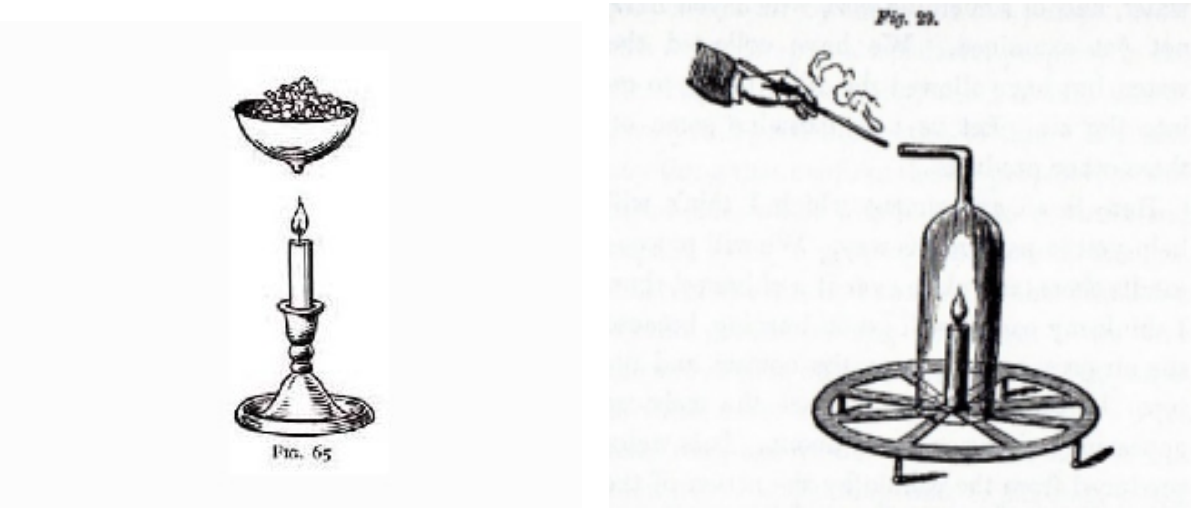
Fig. 6: Il giallo e il blu della fiamma di una candela.

Osservando da vicino una candela che arde (Fig. 6) oggi potremmo riassumere così ciò che notiamo: dove c'è il giallo, la candela si comporta come una "lampada ad incandescenza", mentre dove c'è il blu, essa è come una sorta di "lampada fluorescente" (la luce blu, infatti, proviene da frammenti instabili di molecole di cera e non dalla radiazione di corpo nero). In definitiva, con la candela, gli insegnanti STEM, interessati come sono ad evidenziare nelle materie di studio gli aspetti della complessità e

dell'interdisciplinarità, potrebbero segnalare in questo caso l'intreccio tra fenomeni luminosi diversi che qui è in atto.

5. Che fine fa la materia di cui è composta una candela?

"La candela - dice Faraday - se brucia correttamente, sparisce senza lasciare traccia di sporcizia nel portacandele e questo è un fatto molto singolare" (Faraday 2009, p. 45).



(a) **(b)**

Fig. 7: (a) La condensazione del vapore acqueo sotto un recipiente contenente del ghiaccio. (b) La produzione di anidride carbonica verificata mediante lo spegnimento di una fiammella

La materia della candela sembra davvero "sparire" perché, bruciando, si trasforma in vapor d'acqua e anidride carbonica che son cose non percepibili ad occhio nudo. Il conferenziere ha il compito quindi di allestire delle esperienze concrete che di ciò diano conto. Vediamo le due scelte da Faraday. La prima appartiene ormai ad una pratica didattica abbastanza nota e della quale, secondo me, l'immagine di Fig. 7a esplicita bene il risultato voluto: il vapor d'acqua che fuoriesce dalla fiamma si condensa sulla superficie inferiore di una coppa contenente ghiaccio e, dopo un po', comincia a gocciolare, palesando così la sua presenza. La seconda, d'altro canto, consente di risalire in via indiretta alla presenza di anidride carbonica nella fiamma mediante un curioso dispositivo da lui inventato (Fig. 7a). Faraday, infatti, accende un fiammifero davanti al collo angolato di una bottiglia di vetro, in cui è stata collocata la candela accesa, e fa notare al pubblico che la sua fiammella dopo un po' si spegne.

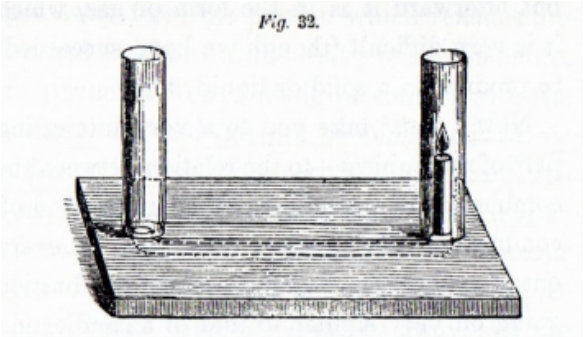


Fig. 8: L'apparecchio di Faraday

Ciò vuol dire che in detta corrente, oltre all'aria calda, sale veramente dell'anidrite carbonica: infatti solo l'intervento di tale gas potrebbe spiegare l'estinzione della fiammella in quel modo. "Il mio alito spegnerà quella candela!" (Faraday, 2009, p. 223): così lo scienziato infine annuncia agli astanti uno degli ultimi e forse il più educativo esperimento in stile STEAM delle sue lezioni.

> "In tutti noi c'è un processo vitale di combustione - egli dice - che avviene in modo molto simile a quello di una candela. Il rapporto fra la vita dell'uomo e una candela è

> vero non soltanto in senso poetico; se mi seguirete, credo di potervelo chiarire... ho inventato un piccolo apparecchio...” (Faraday, 2009, p.221).

Con il dispositivo di Faraday (Fig. 8), infatti, se uno alita nel tubo vuoto, che è a sinistra, grazie ad un tubicino di collegamento infilato nel supporto di legno, riesce a spegnere la candela posta a destra. Ergo: nell'alito umano c'è anidride carbonica! La somiglianza tra il respiro umano e il funzionamento di una candela mostra in tal modo un intreccio concettuale tra fisica, chimica, tecnologia e biologia. E le parole conclusive di Faraday, allora pronunciate, credo che valgano tuttora come valido augurio per i ragazzi che seguono un percorso STEM:

> “tutto quello che posso dirvi alla fine di queste conferenze... è che voglio esprimere il mio desiderio che voi possiate, nella vostra vita, essere paragonati ad una candela... che possiate brillare come essa, come una luce che illumini quelli che vi circondano”. (Faraday, 2009, p. 241)

L'unico problema è che oggi la candela non costituisce più, per i nostri ragazzi, la più importante sorgente di luce.

Bibliografia

Cerreta, P. (2012) “La candela di Faraday, un bell'esempio di diffusione della cultura Scientifica”, *Giornale di Fisica*, 53(1), pp. 59-90.

Cerreta, P. (2024), “La storia chimica di una candela di Faraday”. Disponibile su youtu.be (Accesso 7 Ottobre 2024).

Faraday M. (1860), *A Course of 6 lectures on the various forces of matter and their relations to each other*. London: Griffin.

Faraday, M. (2009), *La storia chimica di una candela. Sei lezioni di Chimica alla Royal Institution*. A cura di P. G. Albertazzi, Treves Editore.

James, F.A.J.L. (2011). “Introduction”, in Faraday, M. *The chemical history of a candle*. New York: Oxford University Press.

Ministero dell'Istruzione e del Merito (2023), “Linee guida per le discipline STEM”. Disponibile su: miur.gov.it (Accesso 7 ottobre 2024).

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_46, pp. 397–404
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-46

Cultural Understanding of Physics – Quantum Mechanics a Century Later

Marco Giliberti[1] and Luisa Lovisetti[2]

[1]University of Milan, Department of Physics "Aldo Pontremoli", Milan, marco.giliberti@unimi.it.
[2]University of Milan, Department of Physics "Aldo Pontremoli", Milan, luisa.lovisetti@unimi.it.

Abstract: In a world where the second quantum revolution drives the study of physics orienting much research toward technological developments, physics courses often focus more on the applied aspects of quantum mechanics than on the epistemological ones. This technological shift of goals is quite widespread, and certainly not limited to quantum mechanics alone. Indeed, academic proposals to transform courses of mathematical analysis into calculus, to reduce the credits for analytical mechanics, or to diminish or abolish courses on relativity due to their limited practical applications are not uncommon. In many countries, one can even pursue a doctorate without a master's degree... This trend results in a widespread lack of cultural and historical awareness among students and young graduates in physics. This lack not only hinders a deeper and more meaningful understanding of quantum mechanics itself but also provides an inconsistent epistemological framework for physics in general, risking giving an incorrect image of the nature of science. This presentation will provide elements for discussion on the importance of contextualizing quantum mechanics within its cultural and historical environment as an emblematic example of a process aimed at cultivating physicists who are not only experts in a narrow field of research but also aware of the importance of a broader cultural context (at least to manage changes and innovations). In particular, we will discuss some examples of the initiatives by the physics education research group of the University of Milan aimed at fostering a cultural and historical understanding of quantum mechanics.

Keywords: Quantum Mechanics, History of Physics, Nature of Science

1. Introduction

> Hundred years have passed; hundred summers, with the length
> Of hundred long winters! and again I hear
> These waters, rolling from their mountain-springs
> With a sweet inland murmur[1] (Wordsworth & Coleridge, 1979, p. 254).

To echo William Wordsworth, it has been one hundred years since the extraordinary insight of young Werner Heisenberg first led to the formulation of the theory that became known as quantum mechanics. A century has passed, during which the physical motivations, conceptual foundations, epistemological drives, and revolutionary aspects have seemingly fallen into slumber, no longer stirring any impression among physics students. More than asleep, perhaps these roots are buried beneath the dazzling array of technological applications, ignored under the snow.

This is not the case for the general public, however. For them, these hidden roots remain active, fuelled by questionable popular approaches or fanciful interpretations, still capturing attention in bookstores or the media, often generating much confusion. The public asks questions, they are curious; the physics students, on the other hand, are silent and calculate - when they are able.

[1] In the original lines of this ballad, we changed the word "five" in "hundred" to adapt their meaning to the centenary of quantum mechanics.

For its part, quantum mechanics has aged remarkably well over its century-long lifespan. Alongside relativity, it remains one of the two fundamental pillars of theoretical physics, providing the framework upon which all our theories are built. In recent years, particularly with the advent of the so-called second quantum revolution, it has shown great promise in harnessing its principles and peculiarities to create an entirely new generation of technologies with potentially enormous impacts in various fields. Not that it has not already been practically useful in past decades; while initially "serving" mainly to clarify certain delicate physics issues, it soon revealed its immense potential for technological applications: transistors and lasers truly reshaped our world. Even today, it continues to demonstrate its incredible versatility and power in areas such as quantum cryptography and quantum computing.

It is therefore no surprise that much of the research is aimed at technological advancements, and that physics degree programs tend to emphasize the applied aspects of quantum mechanics over the epistemological ones. As a consequence of this approach, we increasingly encounter academic proposals to transform calculus into applied calculus courses, reduce university credits dedicated to analytical mechanics, or even diminish or eliminate relativity courses from undergraduate programs due to their limited practical applications.

This trend brings with it a widespread lack of cultural and historical awareness, as well as an epistemological deficiency, among students and young physics graduates. Such a deficiency not only hinders a deeper and more meaningful understanding of physics in general but also of the specific disciplinary content being taught. It also provides a conceptual framework that is largely incoherent and decontextualized. And without context, true understanding is impossible...

Science is now widely regarded as highly important for society, but its more human and profound aspects - the ones that, like art, can touch the deepest chords of the human soul - are still not truly taken into consideration. While science is often seen as more useful than the humanities, and perhaps more appreciated in this regard, it is valued primarily for its practical aspects. This is concerning, especially given the increasing, and entirely appropriate, focus on ethical issues and the dangers associated with the misuse of knowledge. As a result, scientific disciplines are often regarded with a certain degree of apprehension (Giliberti & Lovisetti, 2023).

In this situation, we believe that a proper understanding of the Nature of Science (NOS), its methods of knowledge, its values, and its convictions, is essential for an accurate grasp of scientific content. In fact, we believe that the NOS should be considered in teaching like a fundamental scientific topic itself, indispensable for understanding other concepts.

In this, attention to the cultural dimensions of physics can be of great help. One of the primary cultural aspects of physics lies in its drive to transcend conventional thinking, to break through the ordinary interpretation of reality, and to recognize that questions which seemed meaningful for centuries are, in fact, meaningless. Attention to the cultural aspects also helps to overcome simplistic *clichés* that breed mistrust and provoke emotional reactions.

So, we are encouraged to wonder whether the importance and utility of quantum mechanics or society is primarily limited to its technological applications, or whether there might also be an important cultural, and perhaps even moral, value of the theory.

This is not a rhetorical question. In fact, many physics graduates struggle to meaningfully articulate how physics contributes to culture beyond stating its importance for technological advancements and a generic statement about the knowledge it has provided about the world. However, they often fail to express any personal, social, moral, political, or artistic value that comes from this understanding.

Among over a hundred master's students in physics and about fifty doctoral students we surveyed, none could provide a meaningful answer beyond vague statements such as "it has changed our worldview"; how, why, and with what consequences remained largely inexpressible for most.

Research in physics education has yielded a very clear result: the traditional structure of disciplinary knowledge, as typically presented in textbooks, does not provide the most effective framework for learning. To motivate students and foster comprehension (including an understanding the NOS), a profound revision of the framework that shapes the knowledge we call physics is necessary, along with reflection on the role of teaching (Giliberti, 2021). In this revision and reconstruction of teaching, the history of the discipline can play a vital role.

2. Research on the knowledge of elements of history among physics students and graduate students at the University of Milan

The same physicists who struggle to express the cultural significance of physics often lack knowledge of its history. This ignorance is widespread, and found at all levels: among undergraduate students, master's students, PhD candidates, postdoctoral researchers, and even graduates who become teachers, as revealed by several open-ended questionnaires we conducted over the past three years at the University of Milan regarding the history of quantum mechanics.

But after a hundred years, we find ourselves returning to the roots of our knowledge, once again hearing the waters of culture, "rolling from their mountain-springs". These waters, once flowing underground, now surface "with a sweet inland murmur", reminding us anew of the role of universities and their traditions in sustaining and promoting culture in society. This murmur is the sound of students in the corridors, the increasingly fervent voices of dissatisfaction from our graduates who question the value of what they studied, despite their devotion to their field; it is the lesson of our teachers, growing ever more desperately hollow.

Especially in this moment of great social disparity, which has become untenable, focusing almost exclusively on tangible matters is a dangerous temptation. As it is written in Deuteronomy "He made you experience hunger... to help you understand that man does not live by bread alone, but that man lives by every word that comes from the mouth of the Lord" (*La Bibbia...*, 2005, p. 346). We live by the Logos, by words, by language - both mathematical, abstract language, and the language of the heart - which gives meaning and fills us with awareness. When symbols no longer speak to us and words are not understood, even the most moving poetry becomes the barren ground.

As a research group in physics education, we have been working for years on methods and strategies to meaningfully introduce quantum mechanics into high school curricula and non-STEM undergraduate programs. As part of this research, we posed the following questions to 184 undergraduate and 113 master's degree students in physics or mathematics, to 47 PhD students and early-career researchers, and 162 high-school teachers:

1. When was quantum mechanics first formulated as a theory?
2. Which scientists contributed the most to the birth and initial development of quantum mechanics?
3. How many different formulations of quantum mechanics exist?
4. When was the "bra-ket" notation introduced?

For question 1, only 5% of respondents answered "1925", which is the correct answer. The most frequent answers were "1900", "1905", and "1913", with only 16% providing a date from the 1920s. In our view, these responses do not simply (or only) indicate a lack of historical knowledge. In fact, they reveal a conceptual issue, highlighting how many physicists fail to differentiate between a series of models, such as Planck's blackbody model (1900), Einstein's explanation of the photoelectric effect (1905), or Bohr's hydrogen atom model (1913), and a fully developed theory.

This confusion is probably also due to the use of the term "old quantum theory" to refer to this earlier set of models: the old quantum theory, despite its name, is not properly a theory but rather a collection

of *ad hoc* models proposed between 1900 and roughly 1924. Moreover, this "terminological" issue also persists in schools, where the term "quantum mechanics" is often used to refer to the old quantum theory or, more generally, to quantum physics, without making the necessary distinctions. Nevertheless, the responses we obtained clearly show a lack of awareness of these distinctions. This historical gap may also affect the conceptual understanding of the physics involved.

Regarding the answers to question 2, the most common responses were Planck, Einstein, Bohr, and Pauli, followed - though at a considerable distance - by Heisenberg and Schrödinger. Surprisingly, no one mentioned von Neumann, who provided the first rigorous mathematical foundation for quantum mechanics in his 1932 book *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (von Neumann, 1932). This remarkable work formalized the principles of quantum mechanics using operator theory on Hilbert spaces, a mathematical framework that remains the standard way of presenting the theory more than ninety years later. Similarly, Born, despite his crucial contribution to the probabilistic interpretation of the wave function, was not mentioned even once. Dirac was mentioned by only 7 respondents, and only as a secondary figure, far behind others considered more important.

As for the third question, 39% of respondents believed there is only one formulation of quantum mechanics (some even explained that there is no distinction between Heisenberg's matrix mechanics and Schrödinger's wave mechanics "because they are equivalent"), which is somewhat akin to saying there is no distinction between the Lagrangian and Hamiltonian approaches in classical mechanics because they are physically equivalent. Another 53% chose two formulations (those of Heisenberg and Schrödinger). Only 5% recalled Feynman's path integral formulation. Wigner, Dirac, and Jordan, those evidently lesser-known figures, were never mentioned, nor was de Broglie-Bohm's pilot-wave formulation.

Regarding the responses to the fourth question, it is interesting to note that 86% of respondents believed Dirac introduced his bra-ket notation before the theoretical formulation of quantum mechanics, while in reality, it appeared only in 1939, fourteen years after Heisenberg's pioneering paper.

3. On the opportunity of history of physics in education

Is all of this just pure rote learning? From our perspective, no. On the contrary, the responses summarized above highlight significant gaps, not only from a historical point of view, but also conceptually, and culturally (in a broad sense), in the understanding of the NOS. Culture is what brings knowledge to life, and knowledge is what allows culture to develop, enabling each individual to establish the ethical foundation of their behaviour.

> With an eye made quiet by the power
> Of harmony, and the deep power of joy,
> We see into the life of things. (Wordsworth & Coleridge, 1979, p. 256)

A well-documented history of physics, accompanied by an accurate and rigorous treatment of scientific content and a teaching method that encourages active learning, should help bridge these gaps, playing a crucial role in improving our understanding of both physics and the NOS.

First, a critical study of the history of physics helps us recognize how certain key events are often presented incorrectly or imprecisely in textbooks. An example of this is the alleged Rutherford gold foil experiment which, although well-known to all physicists, did not occur as commonly described in texts (Leone, Robotti & Verna, 2018).

The knowledge of the formal structure of quantum mechanics, on the other hand, helps us understand that commonly used phrases like "electrons behave sometimes as particles and sometimes as waves" are not supported by the theory. From a theoretical/conceptual standpoint, the state of a system is always described by a vector in Hilbert space, regardless of which experiment is being described.

The combination of history and formal theory also helps us understand how and why questions of dualism are truly misplaced. The fact that a beam of matter (such as electrons (Merli, Missiroli & Pozzi, 1976; Tonomura *et al.* 1989) or fullerenes (Arndt *et al.* 1999) exhibits behaviours similar to those of waves or particles does not mean that it is necessarily "composed" of waves or particles; the implication is simply untrue. For instance, in single-quantum experiments, we do not "see" waves or particles, but rather interference fringes that gradually build up.

Studying history should also help us understand how scientific knowledge develops over time, showing the evolution of ideas, how they are tested, refuted, or refined, and how discoveries accumulate to form the body of knowledge that we now consider established theory. More specifically to our topic, Kuhn's concept of a "paradigm shift" can be effectively illustrated through the history of the old quantum theory and quantum mechanics, showing how scientific progress sometimes involves a radical reconsideration of fundamental concepts.

A historical approach would also allow us to see how science is influenced by the cultural, social, economic, and political context of its time. Understanding these influences helps us see science not as an isolated activity, but as an integral part of society, both shaped by, and shaping itself social and cultural changes. For example, it would allow us to understand why the majority of scientists studying blackbody radiation were German, and why this occurred at the end of the nineteenth century. Or why there was such a strong emphasis on observables, and how, starting in the 1930s, the United States became step by step the new centre of world physics, while Europe lost its prominence.

The history of quantum physics also offers an opportunity to reflect on the deep connection between science and technology, where each fuels and strengthens the other, creating a dynamic of continuous growth. Physicists rely on scientific instruments which, when placed within a theoretical framework, act as extensions of their senses, enabling science to progress; in turn, science stimulates technological advancement. Scientific discoveries generate new knowledge, which drives the development of advanced technologies designed to explore natural phenomena more deeply.

Equally important is the link between theory and experiment. It is crucial to examine how experiments such as those conducted by Lenard, Millikan, Stern-Gerlach, and Davisson-Germer were really carried out, describing in sufficient detail the apparatus used, the procedures followed, and the results obtained. These "details" are not mere technical aspects but are central to a deeper understanding of physics and its development.

Furthermore, the history of physics is rich in extraordinary successes, but also in errors and misunderstandings. Studying these failures teaches us the importance of experimentation, critical thinking, and continual revision in the scientific process. It shows us that the development of physics (and science in general) does not follow a linear path but is marked by setbacks, changes in direction, and reconsiderations. This is particularly evident when considering the numerous "pre-quantum" atomic models preceding Bohr's, such as those proposed by Kelvin, Perrin, Lenard, Thomson, Nagaoka, Jeans, and Rutherford.

The study of history also helps us understand the complex relationship between mathematical formalism and physical theory, showing how they often develop iteratively and reciprocally. Mathematical tools are sometimes adapted or created from scratch. In some cases, a scientific theory emerges intuitively or heuristically - through preliminary models that do not yet constitute a fully developed theory but represent initial attempts with both strengths and limitations. These limitations need to be analysed and discussed from a physical standpoint. Only later is the theory formalized mathematically into a broader, more coherent framework. In this context, analysing the various models of the old quantum theory and seeing how they gradually led to quantum mechanics offers us an extraordinary opportunity for understanding.

However, this does not mean we should avoid speaking of "wave-particle duality". The term "wave-particle duality" is clearly standard, well-established, and widely used in the literature; therefore, we

certainly cannot think of discarding it. However, its meaning must be clarified to avoid misunderstandings. In fact, it does not accurately reflect the behaviour of matter, there is not a "true" duality but rather effects that appear in ways reminiscent of waves or particles. In this case, as well, a more precise and historically informed understanding is essential to avoid misconceptions and to fully appreciate the complexity of quantum physics. Indeed, "culture" also includes an awareness of a series of inaccuracies and terms that are not entirely adequate but are still in use for various, mostly historical reasons.

4. On the use of history of physics by the physics education research group of the University of Milan

As far as we are concerned, we believe that universities should be the driving force behind a transformation that helps to perceive (and not merely declare) physics as a form of culture, starting with how we present our courses to students. Indeed, we believe that there is still a need to discuss tools and methods that promote a specialized and disciplinary understanding of physics for physicists, in order to highlight its deep cultural aspects: ways to foster a cultural understanding of physics for future physics graduates and even for PhD students.

It is also important to create spaces that promote an understanding of the structural connection between physics and society. By "promoting", we do not primarily or necessarily mean focusing on the proper and effective communication of science. Instead, as James Clerk Maxwell once said, we mean, and aim for, cross-fertilization between disciplines:

> I suppose that when the bees crowd round the flowers it is for the sake of the honey that they do so, never thinking that it is the dust which they are carrying from flower to flower which is to render possible a more splendid array of flowers, and a busier crowd of bees, in the years to come. We cannot, therefore, do better than improve the shining hour in helping forward the cross-fertilization of the sciences. (Maxwell, 2011, pp. 743-744)

Many people who have studied physics in school have not encountered enough cultural elements to understand which aspects of it (and why) fascinate a physicist. There is something important missing in our teaching, and we struggle to realize it. This likely happens because we need to look at physics through different eyes - through a metacognitive lens. For this reason, it is also important to place disciplinary aspects within a broader human context.

> I have learned
> To look on nature, not as in the hour
> Of thoughtless youth, but hearing oftentimes
> The still, sad music of humanity. (Wordsworth & Coleridge, 1979, p. 258)

That is why, in recent years, our research group in Milan has undertaken various projects aimed at proposing this cultural view of quantum physics. We have conducted educational experimentations, involving students and teachers from secondary schools and universities, with the goal of presenting the content of physics rigorously, integrating historical aspects, and promoting critical reflection on the birth of the old quantum theory and the early developments of quantum mechanics.

For example, we conducted three trials (two in-person and one online) focused on the old quantum theory and on the construction of quantum mechanics, involving 210 high school students and 93 teachers. These trials were also reinterpreted for university-level courses, with 59 master's students in mathematics or physics.

During the lessons, we proposed a series of experimental activities (e.g., experiments with spectral lamps, determining the charge-to-mass ratio of the electron, or using thermal cameras), as well as guided readings of 24 excerpts from original scientific papers. We also organized numerous 10-minute

group activities that required active reading and comprehension, using a conceptual inquiry approach to theoretical tasks.

The main goal was to present physics content rigorously and coherently while reflecting, through a multimodal approach, on the significant cultural impact of the gradual emergence of the old quantum theory and the early developments of quantum mechanics. The aim was to help create a framework that fosters critical thinking, while also providing a cultural and thoughtful perspective on quantum physics, highlighting key disciplinary and learning challenges specific to the subject.

Through various types of assessments, including all group work, individual in-progress tests, and a final exam with 10 open-ended questions that had not been previously addressed or discussed during the course, we evaluated students' average marks (using an evaluation grid traditionally employed at the school level), their ability to connect different ideas in a given context (Knowledge Integration Construct) (Liu *et al.* 2008), their level of critical thinking, and their understanding of the NOS. Comparing their results with those of control groups who followed a traditional approach, we found that the participants in the experimental groups showed a deeper and more well-rounded understanding of the topics covered, and also recognized the relevance of quantum physics for their cultural development.

At the heart of all these activities is a thorough and comprehensive historical reconstruction of the old quantum theory and early quantum mechanics, which gave birth to a book (Giliberti & Lovisetti, 2024). This reconstruction is the result of an in-depth research of approximately 800 primary sources, rigorously read in their original language and translated specifically for the reader, alongside around 300 secondary sources.

The historical account, which serves as the central thread of the entire book, has been enriched with comments, examples, and explanatory notes of a pedagogical nature, aimed specifically at "curious minds" at the university level - primarily, physics students and researchers in quantum physics. The inclusion of pedagogical and didactic insights within the historical narrative is intended to provide a broad cultural context that facilitates the understanding and contextualization of the physics discussed. This approach not only aims to deepen comprehension but also to stimulate natural curiosity and the desire to explore the various issues related to quantum physics. Additionally, at least in our view, it offers a concrete vision of the cultural significance of quantum mechanics.

The goal of this book is therefore to enable readers to gain a deeper understanding of the answers provided by the physics of the time - specifically, what they tell us from a physical standpoint, why those answers emerged, and from what experimental facts or theoretical aspects they were derived. However, we also hope to offer readers the opportunity to discover and grasp the questions physicists of that era were asking - questions that, in traditional quantum physics courses, are often overshadowed by a focus on the answers alone.

> [I am] well pleased to recognize
> In nature and the language of the sense,
> The anchor of my purest thoughts, the nurse,
> The guide, the guardian of my heart. (Wordsworth & Coleridge, 1979, p. 260)

Bibliography

Arndt, M., *et al.* (1999). "Wave-particle duality of C_{60} molecules", *Nature*, 401, pp. 680-682.

La Bibbia di Gerusalemme (2005). Bologna: Edizioni Dehoniane Bologna.

Giliberti, M. (2021). "Stories and Theatre for Teaching Physics at Primary School", *Education Sciences*, 11(11), pp. 696-709.

Giliberti, M. & Lovisetti, L. (2023). "Quousque tandem?", *Giornale di Fisica*, 64(3), pp. 191-211.

Giliberti, M. & Lovisetti, L. (2024). *Old Quantum Theory and Early Quantum Mechanics: a Historical Perspective for the Inquiring Reader*. Cham: Springer.

Leone, M., Robotti, N., & Verna, G. (2018). "'Rutherford's experiment' on alpha particles scattering: the experiment that never was", *Physics Education*, 53, 035003.

Liu, O.L., Lee, H.-S., Hofstetter, C., & Linn, M.C. (2008). "Assessing Knowledge Integration in Science: Construct, Measures, and Evidence", *Educational Assessment*, 13(1), pp. 33-55.

Maxwell, J.C. (2011). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Cambridge: Cambridge University Press.

Merli, P.G., Missiroli, G.F. & Pozzi G. (1976). "On the statistical aspect of electron interference phenomena", *American Journal of Physics*, 44, pp. 306-307.

von Neumann, J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Springer.

Tonomura, A., *et al*. (1989). "Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern", *American Journal of Physics*, 57, pp. 117-120.

Wordsworth, W. & Coleridge, S. (1979). *Ballate liriche*. Milan: Arnoldo Mondadori.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_47, pp. 405–408
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-47

Birth and death of "Demonstration Experiment" in Physics

Salvatore Ganci[1]

[1]Monza, museodellascienza.s.ganci@gmail.com.

Abstract: this paper revisit the development of the so-called "demonstration experiment" in Physics, with particular reference to the teaching in high schools in Italy.

Keywords: Demonstration, experiment, classroom

1. Introduction

The historical development of the demonstration experiment in physics seems useful in analyzing a short sentence in a celebrated book by Richard M. Sutton:

> Demonstrating in Physics is an old art which has been and should be constantly developing; new methods of illustrating fundamental principles are always desirable and some of the older methods need to be more clearly formulated... Demonstrations are for the student and not for the instructor. If this simple truth were kept constantly in mind, the major crimes of the physics lecture room would be eliminated. (Sutton, 1938)

The Sutton book appeared in times when in Italy a monumental volume (Perucca, 1937) was published under the patronage of the Ministry of Education. At these times, the only Italian high school was the 'Liceo Classico', where the fundamental teaching was Latin, Greek, and humanistic disciplines. Physics was studied only in the two final years, and the teacher of Physics was the same in Mathematics for five years. In the last year, math was limited to Algebra, Euclidean Geometry, Analytical Geometry, and Trigonometry. We had a very useful and in-depth book on the demonstration experiment (usually carried out by a technician) without a real possibility of use (two hours in the fourth class and three hours in the fifth class). Pyramidal structure of a school (Ministry Giovanni Gentile) in a unique élite School and, subordinated, Technical Schools. A choice obliged for children aged 11 or 12 years after the Elementary School.

That paradoxical background led Enrico Persico (1956) to write a funny article in *Il Giornale di Fisica*. He refers to an university exam where the student cannot schematically draw an electroscope, she estimates the passage of 20,000 amps in a light bulb, but at the question "write and discuss Maxwell's equation" the candidate relaxes itself and 'runs like a train,' leaving the examiner in a gloomy melancholy.

2. A little history of "demonstration experiment"

Demonstration Experiments in Physics books start from the XVIII century. For example, a notable textbook by J-A. Sigaud De La Fonde (1784) is devoted to the demonstration experiment "seen" with the main intent to strike and amaze. As a simple example, we find in the first volume the quantitative verification of the Archimedes principle in liquids with the same (unchanged) apparatus still present today in the Physics Equipment catalogues[1]. During the XIX Century, a German book (Frick, 1862)

[1] i. e. www.leybold-shop.com

translated into English entered the practical details of use and manufacturing apparatuses. Phywe[2] during the middle of the XX Century sold single apparatus or sets of apparatuses with detailed cards, representing the German interest in the demonstration experiment. All this Literature was distributed and translated in each national Language of the buyer. Demonstration experiments become easy to mount for the technician or the teacher and surely work.

In America, another milestone of the "demonstration experiment" is the Lloyd William Taylor book (Brown, 1959) but out the purpose of an intermediate school.

But with the prophetic *The Times They Are A-Changin'* of Bob Dylan, we found P.S.S.C. project introduced in Italy around 1963. This project spread in Europe and, in general, the times are now ripe to lead to the 1968 revolution. It is the death of the "demonstration experiment? It is an open question. The classroom experiment is replaced by various projects (PSSC/Nuffield) but in Italy, there are now more high schools, and in one of these, devoted to Physical-Mathematical matters (Liceo Scientifico) the scarcity of hours of Physics makes the classroom experiment resurrect as the minor of evils.

3. Pedagogical consideration

It can be useful to start some pedagogical considerations from the textual analysis of the Sutton sentence at the beginning of this paper: "Demonstration experiment in physics is an old art which has been and should be constantly developing". A good demonstration experiment, well shown and discussed requires a lot of accurate preparation. Colin Siddons jokes about the characteristic of the demonstrative experiment that it doesn't work:

> It it wriggles, is biology
> If it stinks, is chemistry
> If it doesn't work, it's physics (Siddons, 1988, p. 9)

The demonstration experiment is well remembered (particularly if it doesn't work...) so the words "old art" are fully appropriate. A Technician/Teacher mounts one or more experiments as a support to a parallel lesson and always makes sure everything works by rehearsing just before the presentation. If the experiment works, it has the advantage of being well remembered and the phenomenological data are well impressed, *if* the demonstration experiment measures something, *then* its pedagogical value is valuable.

If it doesn't work? The reason why it did not work involved more physics but the experiment failed is equally remembered.

Sutton outlines: "New methods of illustrating fundamental principles are always desirable and some of older methods need to be more clearly formulated". It is evident that technology evolves and some sophisticated measures, not possible in the reality of the past century, become understandable and they are close to the vision of the student who lives in the present era. A CRO oscilloscope is so alien that it is difficult to explain its mechanism. Older methods of analysis (as an example) in resonance become very simple using virtual instruments based on the sound card and some hardware found around the Lab.

4. Conclusions

There are conclusions? It is a matter of point of view, of contingent situations, and/or more other variables. In Italy, the demonstration experiment had value also in undergraduate courses of physics until the middle of the XX century or a little more, with a specific human resource that no longer exists: "the Graduate Technician". So, the University remains without a precious human resource. The true "death" of the demonstration experiment in high Italian schools is the pandemic that forced all school Headmasters to allocate special classrooms to teaching in order to increase the distance in face-to-face lessons. Now,

[2] The 1950-1960 old Phywe Physics apparatuses are still the equipment of many schools in Italy.

during the pandemic, students were invited to observe phenomenology with simple experiments at home and various experiments found in web films. The Lab Technicians in High Schools are so engaged in "factotum" works and the teacher has no incentives to use Lab apparatuses.

> Demonstrations are for the student and not for the instructor.

The good demonstration experiments it is for everyone; they include the smell of petroleum-tarnished metal, of all little craft-making that reveals the sensibility of the co-working Instructor. It was an "Added Value" lost. All is superfluous? What substitute it in the future?

> The answer my friend is blowin' in the wind.

Acknowledgments

Critical discussions with Frik Koch are sincerely acknowledged.

Bibliography

Brown, Th.B., *et al.* (eds.) (1959). *Lloyd William Taylor Manual of advanced Undergraduate Experiments in Physics*. Reading, London: Addison-Wesley.

Frick, J. (1862). *Physical technics; or Practical instructions for making experiments in physics and the construction of physical apparatus with the most limited means*, translated [from the 2nd German edition] by John D. Easter. Philadelphia: Lippincott & co.

Persico, E. (1956). "Che cos'è che non va?", *Giornale di fisica*, 1(1), pp. 64-66.

Perucca, E. (1937). *Guida pratica per esperienze didattiche di fisica sperimentale*. Bologna: Zanichelli.

Siddons C. (1988), *Experiments in Physics*. Oxford: Blackwell.

Sigaud De La Fonde, J.A. (1784). *Description et Usage d'un Cabinet de Physique Expérimentale*. Paris: Gueffier.

Sutton, R.M. (1938). *Demonstration Experiments in Physics*. New York: Mc Graw-Hill.

Museums, Archives, and Scientific Collections of Physics and Astronomy in Italy and Abroad

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_48, pp. 411–420
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-48

The Mathematisch-Physikalischer Salon in Dresden: a princely collection of scientific instruments

Peter Plassmeyer[1]

[1]Mathematisch-Physikalischer Salon, Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Dresden, peter.plassmeyer@skd.museum.

Abstract: Since 1728, one of the world's leading collections of historical scientific and philosophical instruments, clocks and watches, and globes is housed in the famous Zwinger Building in Dresden, capital of Saxony. The "Mathematisch-Physikalischer Salon" was founded under August the Strong, Elector of Saxony and King in Poland, and runs back to the 16th century "Kunstkammer" in the residential palace. The exhibits are outstanding examples of finely crafted scientific instruments and devices.

Keywords: Museum, Kunstkammer, Cabinet of Physics, Astronomy, Globes

The Museum, that I present here, the Mathematisch-Physikalischer Salon (MPS), is among 14 other museums part of the Dresden State Art Collections. Dresden is the Capital of the German State of Saxony and was before 1918 the Residence of the Saxon Princes and Kings. And, Dresden has been a twin city of Florence since 1978[1] .

The Mathematisch-Physikalische Salon goes back to 1728, and is the oldest museum in the Zwinger building (Fig. 1). It was founded under Augustus the Strong, Elector in Saxony, as his Cabinet of Mathematical and Physical Instruments. (For a history of the museum see Plassmeyer, 2020, pp. 7-17) Today, the MPS houses one of the world's leading collections of historical scientific instruments, horological instruments, mechanical automatas, astronomical devices, and globes. The exhibits on show are outstanding examples of finely crafted scientific instruments and devices. Their mechanisms and how they work are quite fascinating – yet they can equally be admired for their beauty.
The collected objects are following five main functions:

- The first group are the instruments *to observe*. A gregorian reflecting telescope by Johann Gottlob Rudolph Miltitz, circa 1750 (MPS C I f 8) is an excellent example of this. It was built on an estate near Meissen, its tube is covered with Meissen porcelain.
- *To demonstrate* with Astrolabes, globes, planetaries or oraries are representing such devices.
- *To experiment* means the philosophical instruments in a cabinet of physics.
- Reference standards were stored in it *to compare*. The Dresden Kunstkammer of the 16th and 17th centuries also took the tasks that are now held by the calibration office.
- *To measure* a town, a region, a country, the Earth, and the skies, surveying plays an important role in the MPS's collection. Surveying instruments have been collected since the 16th century and surveying was a core task of the collection until the 19th century.

[1] This text is a written form of my paper given at the conference. He will receive a reduced part of the illustrations shown in the paper. I want to thank Antonella Gasperini and Mauro Gargano for their kind invitation to participate in the Congress in Florence.

Fig. 1: The Zwinger Building in Dresden with the Mathematisch-Physikalischer Salon.

Proof of the importance of MPS-owned objects to articulate the court's intellectual profile is the sumptuous folio volume "Suite des Principes de la Geometrie", (Sächsische Landes- und Universitätsbibliothek SLUB, MSCR. Dresd. C. 38) the sixteen-year-old Prince Karl dedicates to his father, Augustus III. in 1749 as the harvest of his studies, "und partie des fruits de se études". In the most beautiful French handwriting, the prince comments upon drawings explicating the principles of geometry and the application in terrestrial and astronomical surveys – as a result of his exercises. In its construction and function, the crescent-shaped instrument shown in the image corresponds with a semicircular instrument that belongs to our museum. It was made around 1690 by Louis Chapotot in Paris (Fig. 2). (Plassmeyer, 2007, pp. 8-9) More than a century earlier, Christoph Schissler made a surveying instrument, a Quadratum Geometricum, in Augsburg, which is one of the most magnificent scientific instruments of its time. As early as the 16th century, outstanding surveying instruments found their way into Dresden's Kunstkammer. (Dolz, 2020, pp 25-27) The exceptional reliefs on the frame illustrate the instrument's use as a surveying device: right triangles can be mapped in scaled form onto the sides of the square. Christoph Schissler built this instrument in 1569 in Augsburg (Fig. 3). With the help of the laws of similar triangles, the instrument can be used to gauge distances that could not be measured directly – for example, the height of an inaccessible tower or the width of a river.

A copy of this instrument was made by Schissler 10 years later in 1579 for the Imperial Court in Prague. This instrument was sold to England in 1603, and today it is shown on display in the Oxford History of Science Museum. A third instrument was made by Schissler another 10 years later for the Fugger Family in Augsburg. This one doesn't have descriptive reliefs. At the beginning of the 17th century, it was given as a present to the Medici-Family, and it should be on display in Museo Galilei. The Dresden instrument was severely damaged in the bombing night of February 13, 1945, and the manuscript explaining its functions was burned. Fortunately, photographs of the illustrations have been preserved. Surveying and mapping of the Saxon territory was an important task of the Saxon court from the 16th to the 20th century.

Fig. 2: Graphometer, Louis Chapotot, Paris, 1680ca, ©MPS, C III f 10.

Fig. 3: Quadratum Geometricum, Christoph Schissler, Augsburg 1569 (severely damaged in 1945), ©MPS, C I 1.

Fig. 4: Itinerary scroll, ©MPS.

A brass gilt odometer (Christoph Trechsler, Dresden 1584, MPS C III a 4) used in a carriage worked similarly to a milometer in a modern car (Fig. 5). The distance covered was calculated from the number of wheel revolutions multiplied by the circumference of the wheel. The maximum measurable distance was 20 miles=180 kilometres, 1 mile being 2000 rods. It is highly probable that Elector August used

Fig. 5: Exhibition Room with Trexler's odometer and an itinerary scroll in the first case, ©MPS.

this odometer on some of his journeys. With all the collected information, the prince drew two different documentation of his journeys: maps and itinerary scrolls. In 1575, in association with the court painter Friedrich Bercht, Elector August produced an itinerary scroll recording his journey to the Imperial Diet in Regensburg (Fig. 4). It took 13 days to cover the approximately 54 Saxon miles (370 km). The scroll is therefore divided into travelling days, from one overnight encampment to the next. The route is depicted as a straight line. Changes in directions are shown employing compass roses. Along the route the Elector charted villages and towns, woods, rivers and fishponds, mills, and even gallows. The route scroll is 13,4 m long. Not every town and village receives its woodcut, occasionally a print is used several times. More than 150 survey sketches made by Elector August have been preserved, including some of the Pretsch District. They take the form of compass traverses, in which the distances between bends in the path of bounding points are measured with an odometer, and changes of direction with a compass. Elector August (ruled 1553–1586) actively participated in the measurement of his lands as a surveyor and cartographer. This distinguishes him from most other rulers of his time. A large number of sketches and maps drawn in August's own handwriting have been preserved, recording both his territories and his travels. At the same time, he commissioned innovative mechanical odometers. His efforts resulted in sophisticated devices that could automatically record both the distance traveled, and changes in direction. In the inventory of the Dresden Kunstkammer, his surveying method is referred to as "Wagen Messkunst" (The Art of Measurement by Carriage). (Dolz, 2020, pp. 21-27)

Burning lenses and burning mirrors are among the unique selling points of the Cabinet of Physics, which was set up in the Zwinger in the 18th century (Fig. 6). The firing apparatus shown in the picture came from Ehrenfried Walther von Tschirnhaus, who discovered the recipe for Meissen porcelain with his experiments. In the last quarter of the 18th century, an astronomical observatory and the time service for Dresden were added to the cabinet. Other philosophical and astronomical instruments came from a private collection and were placed on princely property. Far away from the Electorical capital of

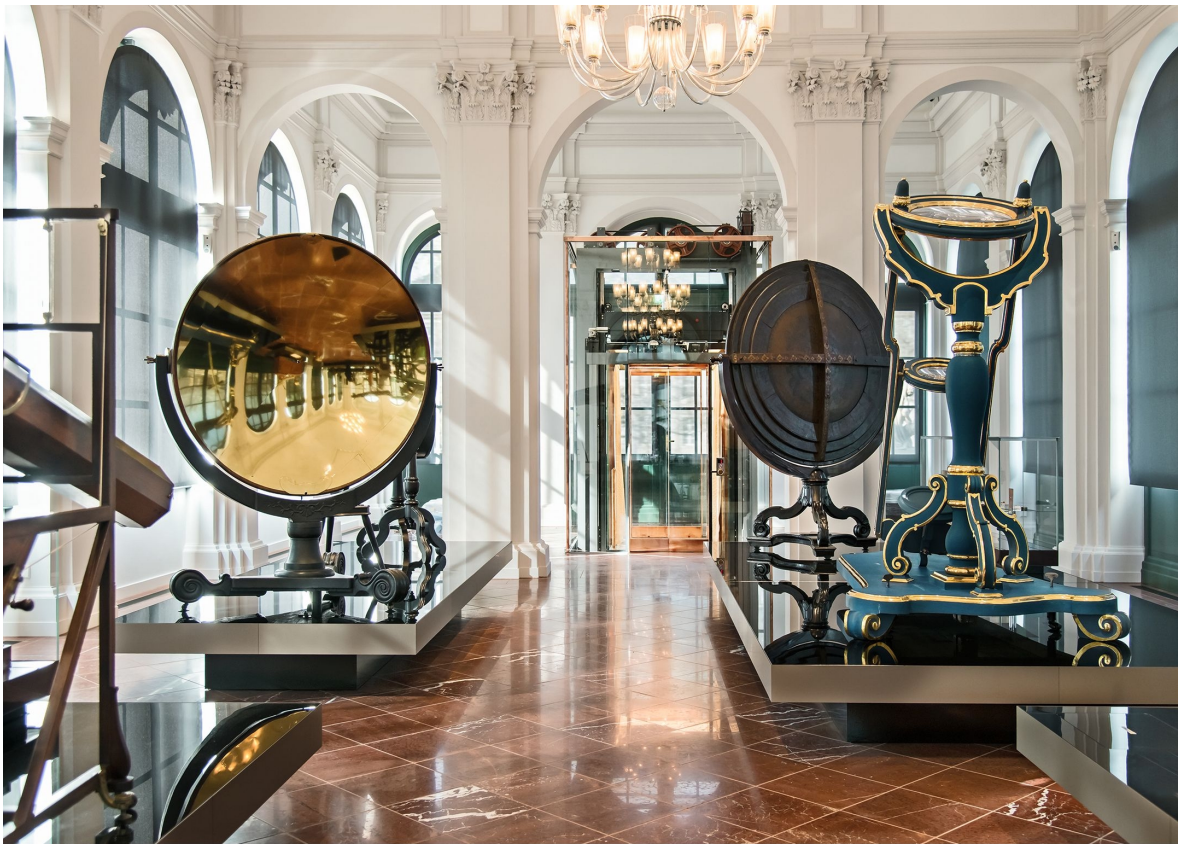


Fig. 6: Exhibition Room with Burning Lenses and Mirrors, ©MPS.

Dresden, a workshop for constructing scientific instruments was established by Imperial Count Hans von Löser (1704–1763) of his estate at Schloss Reinharz. The optical and physical devices manufactured there, mostly for Löser's research investigations, were on a par with the very best contemporary products from London and Paris. Famous scientists even came from abroad to see Löser's instruments, despite the relatively remote location of the estate. (Korey, 2007, pp 21-26) After his death, the workshop was closed down. Most of Löser's instruments were taken to Dresden, where they considerably expanded the existing collection of the Mathematisch-Physikalischer Salon in the Dresden Zwinger palace.

Well-known and often published is the reflecting telescope, made in 1742 (Fig. 7). To better observe the night sky, Löser even ordered that the castle tower be heightened.

Let me come to the outstanding globe collection of our museum.

To comprehend the celestial laws of the stars and planets is among the oldest dreams of humankind. Based on this, astronomers have surveyed the sky, outlining mathematical theories to understand the movements of the stars in the most exact possible manner and attempt to predict them. In order to realistically envision the celestial processes without being compelled to undertake complex calculations, the Saxon electors acquired numerous exquisitely worked celestial machines: Elector August the astronomical clock (Fig. 8), his son Christian the mechanical celestial globe (Fig. 9a). For the princes, these extremely rare machines carried heaven on earth. Moreover, they symbolized something central vis-à-vis their legitimacy as rulers: their proximity to god. In the astronomical clock, constructed by Eberhard Baldewein, the hessian Landgrave Wilhelm publishes his newly determined positions of the stars in the globe on top of his world machine. Reinhold and Roll in Augsburg used for their celestial globes published positions of the stars. Other versions of their globes are today in Vienna, Paris, London, St. Petersburg, and Capodimonte. Of course, we have the most pairs of globes in several sizes published by Blaeu, Doppelmayr, Seutter, Coronelli, and so on in our collection. But we also have some special designs. The oldest instrument in our collection is this celestial globe, made in the late 13th century in

Fig. 7: Exhibition Room with Instruments from Löser's workshop in Reinharz Castle, ©MPS.

Fig. 8: Exhibition Room with Baldewein's Astronomical Clock, ©MPS, D IV d 4.

Persia, and should arrived in Dresden in the Middle of the 16th century.

(a) **(b)**

Fig. 9: (a) Mechanical Celestial Globe, Johannes Reinhold, Georg Roll, Augsburg 1586, ©MPS, E II 2. (b) Hans Moritz von Brühl, Engraving by Samuel William Reynolds, W. Annis after James Northcote, 1803, ©MPS, G I 141.

Ernst Fischers Lunar Globe was made in Dresden in 1875. In the MPS, Johann Gottfried Köhler and Wilhelm Goffhelf Lohrmann began at the end of the 18th century their intense exploration of the Moon's surface. Fischer Globe stands in the same tradition.

In 1882, Giovanni Schiaparelli published a map with the broad Mars "Canals". It served as a template for Dresden's Mars globe. Corresponding with the observation undertaken with an astronomical telescope, the South Pole is located at the top. The globe presents the "red planet" at the end of summer, with extensive northern expanses of snow, during the Mars opposition in 1881/1882.

The central person in the establishment of an astronomical observatory in the MPS in the 1770s was Hans Moritz von Brühl, in the United Kingdom better known as John Maurice, Count Bruhl (Fig. 9b). He was a nephew of the famous Saxon Prime Minister Heinrich von Brühl (1700-1763). From 1764 on he held the office of the Electoral Saxon ambassador in London and from then on lived in England until he died in 1806 (Plassmeyer, 2020b).

In England, the passionate amateur astronomer not only became a member of the Royal Society (1765), but also an important patron of English instrument and chronometer makers (especially Jesse Ramsden, Thomas Mudge, and Josiah Emery). The portrait of John Northcote shown here in an engraving was painted in 1796. It has been hanging in Petworth House in Sussex ever since. We see Brühl sitting with the Order of the White Eagle in front of a red curtain. This is gathered and offers a view of the sea with a ship. On a table, like stately insignia, we see a book, a printed text, a sextant, and a sea chronometer. The spine resembles a marshal's baton or telescope, the chronometer a crown.

Fig. 10: Marine Chronometer “Copie No. 18”, Thomas Mudge et al, London 1796 (MPS D IV b 12)

The manufacturer of the marine chronometer was the watchmaker Thomas Mudge (1715-1794). He was one of the leading masters of his discipline, constructed a lever escapement, as we still find it in many mechanical pocket watches today, and concentrated on the construction of marine chronometers.

In 1714, the English government set up the “Broad of Longitude”, an authority that offered prize money of 20000 pounds to anyone who could accurately determine the longitude at sea. John Harrison (1693 – 1776), an English carpenter and self-taught watchmaker, received half of the prize money for his sea chronometer, known as the “H4”. He received only half because astronomers doubted that several identical timekeepers could be built with equally good measurement results. Therefore, in 1775, the requirements for the price were changed, and from now on two timekeepers of the same design were to be submitted for examination. For these reasons, Thomas Mudge built two identical sea watches between 1776 and 1779, which he refers to distinguish them according to the color of their cases: the “blue” and the “green” chronometer. Both were subjected to various tests in the following years but with unsatisfactory results. Nevertheless, Mudge was awarded 500 pounds for his lever escapement. The invention of the free lever escapement around 1757 and the escapement with constant force are among Thomas Mudge’s outstanding achievements that qualified him for this task. Through the mediation of Brühl, the “Copie No. 18” was delivered to the MPS in 1803 (Fig. 10). The copies were made by Mudge’s son of the same name. In 1794, the lawyer Thomas Mudge Jr. founded a manufactory in London to build marine

chronometers in series for sale according to his father's model. For this purpose, he hired some precision mechanics, who produced about 26 marine chronometers by 1799.

Brühl published Mudge's lever escapement in various writings and became his most important supporter. These writings can also be seen in the portrait. The sextant may have been made by Jesse Ramsden. Ramsden was an instrument maker who was supported by Brühl with considerable financial contributions. The three-masted ship in the background of the portrait could be the admiral ship of John Campbell (1720-1790), who was commissioned to test Mudge "Blue" and "Green" at Brühl's request.

It was not until the end of the 1770s that watchmakers succeeded in further developing the free lever escapement, including Josiah Emery, who was also promoted by Brühl. Last but not least, the network maintained by Brühl offered a helpful sales market for the products of the craftsmen he promoted.

The Marine Chronometer, which was transmitted from Brühl to Dresden, served the time service as a portable watch, with which the time determined in the Dresden Zwinger was delivered to subscribers once a week. However, it also served as a training device for the watchmakers working in the MPS and promoted the quality of the clocks and watches built in Dresden in the long term. This can still be seen today. Ferdinand Adolph Lange, who founded a pocket watch manufactory in Glashütte in 1845, learned his trade in the Dresden Zwinger. The watchmaking tradition he initiated still exists today. Some of the best wristwatches in the world are still built in Saxony.

Bibliography

Dolz, W. (2020). "Elector August as Surveyor and Cartographer", in Plassmeyer, P. (ed.), *Mathematisch-Physikalischer Salon. Masterpieces. Staatliche Kunstsammlungen Dresden*. Berlin: Deutsche Kunstverlag, pp. 21-27.

Korey, M. (2007). "Das 'mechanische Laboratorium' des Reichsgrafen Hans von Löser", in Plassmeyer, P. (ed.), *Die Luftpumpe am Himmel. Wissenschaft in Sachsen zur Zeit Augusts des Starken und Augusts III*. Dresden: Sandstein Verlag, pp. 21-27.

Plassmeyer, P. (2007). "Die Luftpumpe am Himmel und im Mathematisch-Physikalischen Salon", in Plassmeyer, P. (ed.), *Die Luftpumpe am Himmel. Wissenschaft in Sachsen zur Zeit Augusts des Starken und Augusts III. Dresden*: Sandstein Verlag, pp. 5-9.

Plassmeyer, P. (ed.) (2020a). *Mathematisch-Physikalischer Salon. Masterpieces. Staatliche Kunstsammlungen Dresden*. Berlin: Deutsche Kunstverlag.

Plassmeyer, P. (2020b). "Graf Hans Moritz von Brühl: Gesandter – Astronom – Schachspieler – Mäzen", in Freitag, F. (ed.), *Dynastie – Wissenschaft – Kunst. Die Verbindung der Dynastien Sachsen-Gotha-Altenburg und Sachsen-Coburg und Gotha zum Britischen Empire*. Würzburg: Königshausen & Neumann, pp. 197-206.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_49, pp. 421–422
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-49

"Mondo in Tasca": celebrations at MUMEC

Fausto Casi[1]

[1]Museo dei Mezzi di Comunicazione, Arezzo, faustocasi@tiscali.it.

Abstract: Specifically for the year 2024, the MUMEC Museo dei Mezzi di Comunicazione in Arezzo proposes a calendar of events entirely dedicated to the history of telecommunications to celebrate a series of fundamental anniversaries: 150 years since the birth of Guglielmo Marconi; 100 years of broadcasting in Italy; 70 years of Rai Italian radio-television. The exhibition *Il Mondo in Tasca* will be the year's protagonist. It testifies to how technology has brought constant and widespread ease of information. "L'ha detto la Radio" was the key phrase of the years of large-scale diffusion of the radio, which first established itself as the absolute protagonist in the dissemination of information. It has always been considered the voice of truth, and with time, will be joined by TV and online information. The exhibition - open until February 2025, will feature original equipment recalling the early successes of Marconi, the inventor of Radio, from 1895 onward. They will be followed by vintage apparatus from the early 1920s (the beginning of Italian radio) and later eras up to pocket transistors as evidence of the constant miniaturization of technology. The novel bust of Marconi, made around 1930 by the Turin sculptor Giuseppe Bottinelli, will be exposed. The volume of over 350 pages *Il Mondo in Tasca*, written by Prof. Fausto Casi, Founder and Scientific Curator of the MUMEC, and a bronze medal, celebrating all the above-mentioned events, created specifically by the Arezzo sculptor Enzo Scatragli, are the spearheads of the celebrations in Arezzo.

Keywords: Radio, Television, Guglielmo Marconi.

Fig. 1: Cover of the *Mondo in tasca*, 2024.

The MUMEC, a museum of mass media, was opened in 2005 by Professor Fausto Casi and consists of pieces from his collection. Still located in the Arezzo's Town Hall, the assortment has been enriched (also through donations), counting more than 2000 pieces, then being included among the Museums of Regional Importance in 2018, reconfirmed in 2023. Today it is a mainly educational museum, managed and organized to be within the reach of young people, through games and events that remind them that humanity wasn't born with a mobile phone in the pocket.

In 2024, on the occasion of the 150th anniversary of the birth of Guglielmo Marconi, 100 years of broadcasting in Italy, and 70 since the birth of RAI, Italian Radio, and Television, the MUMEC organized a series of events for which Enzo Scatragli, a sculptor from Arezzo, sculpted a bronze medal on display at the museum together with the unpublished bust of Marconi from 1930 made by G. Bottinelli; different historical films are also screened throughout the year in collaboration with

Rai Teche, and in the end the presentation of the book written by Professor Casi, founder and scientific curator of MUMEC: *Il Mondo In Tasca* (The World in the Pocket).

About the book, the beating heart of the whole event, you'll enjoy an extensive catalog of over 350 pages, which revolve around the undisputed Father of telecommunications: Guglielmo Marconi. His nephew, Dr. Guglielmo Principe Giovanelli Marconi, personally dedicated himself to the writing of the preface, followed by the opening dedicated to the author's studies and professional experiences. The essence of

Fig. 2: Overview of the opening conference and the book presentation - February 2024.

Prof. Casi's passion is consumed in the corpus of the book. We find him portraying G. Marconi in his figure as a scientist and inventor. It also traces the evolution of the means of communication and analyzes its social impact, making the reading clear, fluent, and interesting; satisfying both the thirst for meticulous experts and the delight of readers guided more by curiosity. From the history of wireless telegraphy with its applications, we get to talk about broadcasting with URI, EIAR, RAI, and the development of radio programs in Italy up to the last chapter, which focused on television and a succession of inventions. In the end, the author exposes the inevitable reflection on the concept of "today's telecommunications". It thus pushes the reader to ask himself what technology can still evolve into, how much more complex it can become, and how strong its impact on humanity can be.

Bibliografia

Casi, F. (1987). I*l Mondo in casa*, Città di Castello: AC Grafiche Cerbara.
Casi, F. (2024). *Il Mondo in tasca*. Arezzo: Edizioni Museo MUMEC.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_50, pp. 423–430
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-50

L'Istituto Archimede per la produzione di materiale scientifico-didattico: il ruolo dei musei della scuola nella ricostruzione della storia delle discipline

Rossella Mortellaro[1]

[1]Università Roma Tre, Dipartimento di Scienze della Formazione, MuSEd-Museo della Scuola e dell'Educazione "Mauro Laeng", Roma, rossella.mortellaro@uniroma3.it.

Abstract: The Museo della Scuola e dell'Educazione "Mauro Laeng" of the Università degli Studi Roma Tre (MuSEd), established in 1874, is Italy's oldest museum dedicated to the history of education. Some instruments for teaching physics, manufactured by the Archimedes Institute in Rome, are preserved in the museum. The scientific instruments were produced in the early 20th century and used in the Physics Laboratory of the normal school at the Conservatorio della Divina Provvidenza in Via di Ripetta, Rome. The archival investigation, currently still in progress, has uncovered an intense debate, beginning in 1916, around the national manufacture of teaching aids in the scientific field, a debate characterized by deep discontent related to dependence on foreign manufacturing, mainly German, and the celebration of Italian potential in manufacturing which led to the foundation of an Institute for the manufacture of teaching aids in Rome. The characteristic of these exchanges is a letter by Prof. Quirino Majorana, dated Turin, October 1919, praising the initiative: "for my part, I place my modest contribution at the disposal of its management [Archimedes Institute], committing myself to give all the suggestions that will be requested of me". This research aims to illustrate how even a few scientific instruments can be a significant asset for a museum dedicated to the history of education such as MuSEd.

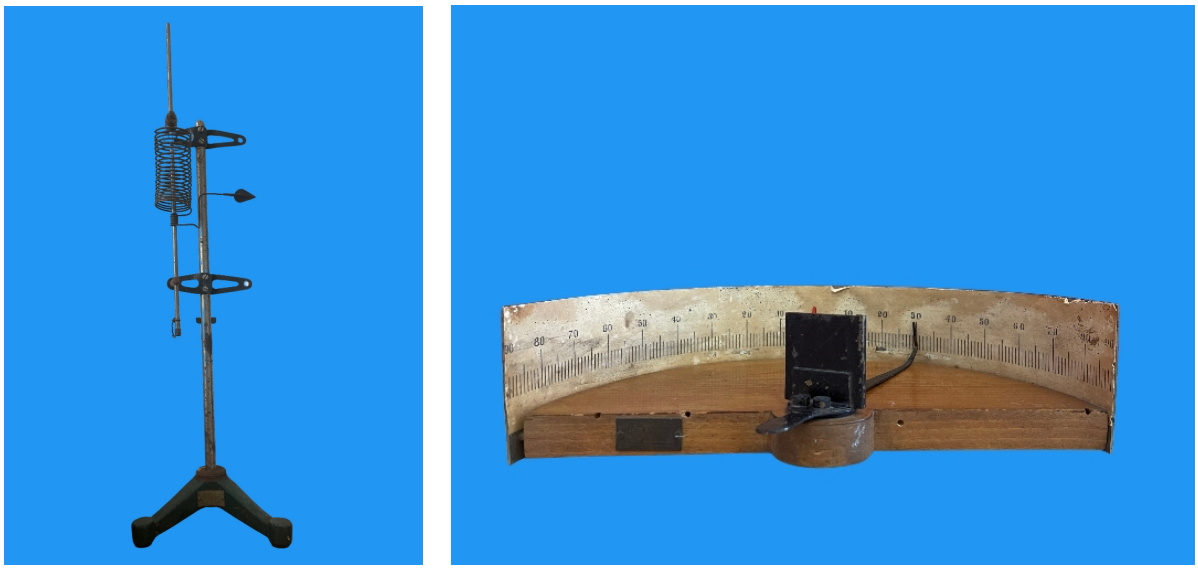
Keywords: Teaching Physics, School Materiality, Educational Materiality, Teaching Aids.

1. Introduzione

I "musei della scuola", istituiti in Italia a partire dalla metà degli anni Ottanta (Meda, 2010), e gli oggetti ivi conservati, fondamentali per la storiografia educativa, si configurano come ulteriori opportunità per le diverse aree di ricerca accademica, costituendo "una 'finestra' attraverso cui gli storici dell'educazione possono... condividere con la comunità accademica le proprie competenze e i propri strumenti scientifici" (Ascenzi, Brunelli & Meda 2019, p. 18). Il Museo della Scuola e dell'Educazione del Dipartimento di Scienze della Formazione dell'Università di Roma Tre (MuSEd) ha acquisito nel 2002 una collezione di materiali didattici donati dall'Ente di beneficenza Istituti Santa Maria in Aquiro di Roma, tra cui degli apparecchi del Gabinetto di Fisica della Scuola normale "Eleonora Pimentel Fonseca"[1] di via Ripetta. La ricostruzione della storia dell'Istituto Archimede, costruttore di alcuni di questi strumenti, ha evidenziato l'intenso dibattito sulla nazionalizzazione della produzione di materiale scientifico-didattico nei primi anni Venti del Novecento che ha visto, tra i protagonisti, anche il fisico Quirino Majorana.

Il MuSEd è il più antico museo italiano dedicato alla storia della pedagogia, della scuola e dell'educazione ed è stato istituito, con la denominazione di Museo d'istruzione e di educazione, dal Regio decreto 15 novembre 1874, n. 2212 (Cantatore, 2022). Fin dalla sua nascita il Museo si è occupato di allestire una biblioteca di rilevanza internazionale e una raccolta di arredi e materiale didattico che documentassero

[1] La scuola era annessa al Conservatorio della Divina Provvidenza.



(a) **(b)**

Fig. 1: (a) Apparecchio per la verifica della Legge di Hooke, Istituto Archimede (incompleto). Fonte: MuSEd, n. inv. 064422.00.ZZAQ. (b) Apparato di Müller per la riflessione, Istituto Archimede. Fonte: MuSEd, n. inv. 030536.00.ZZAQ.

l'evoluzione della scuola e delle idee pedagogiche. Nei suoi 150 anni di esistenza il Museo è stato diretto da noti intellettuali (Giuseppe Dalla Vedova, Antonio Labriola, Luigi Credaro, Giuseppe Lombardo Radice, Luigi Volpicelli) che hanno contribuito ad incrementare le raccolte con documenti d'archivio, oggetti, periodici e libri; dal 2005 il museo è intitolato a Mauro Laeng, il pedagogista che nel 1986 volle salvarlo dall'oblio (Sanzo, 2018). Attualmente il MuSEd rappresenta un luogo di conservazione della memoria educativa e scolastica e un centro di documentazione, formazione e ricerca aperto a tutta la comunità accademica.

2. Il dibattito sulla nazionalizzazione della produzione del materiale scientifico-didattico e la parabola dell'Istituto Archimede di Roma

La *Rivista Pedagogica*, organo di aggregazione e strumento di espressione della riflessione pedagogica della prima metà del Novecento (D'Arcangeli, 2013), ricostruendo nel 1923 le vicende dell'Istituto "Archimede", focalizzò l'attenzione sul resoconto di Francesco Piola, Ispettore di fisica alle scuole medie, in merito alla produzione italiana del materiale scientifico e didattico (Meda, 2016, pp. 151-155; L'Istituto Archimede..., 1923, p. 234).

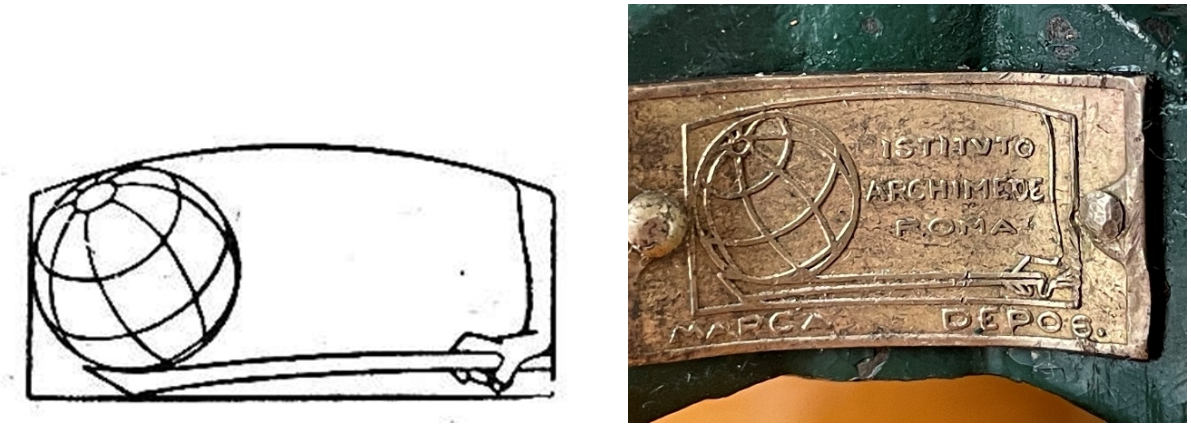
Piola intervenne al Congresso della Società Italiana di Fisica (SIF) di Roma, tenutosi presso il R. Istituto Fisico di via Panisperna il 5 e 6 marzo del 1916 (Il Congresso..., 1916, pp. 45-46). Nella sua relazione egli evidenziò il ruolo chiave dell'officina meccanica e dei macchinisti nelle scuole e nelle università per la produzione di materiale nazionale:

> L'opera dei macchinisti delle scuole medie e dei tecnici degli istituti universitari di fisica e materie affini è apprezzata specialmente in quanto queste persone hanno il contatto colla scuola e quindi conoscono l'apparecchio che costruiscono anche relativamente all'ufficio che esso deve rendere. (Piola, 1917, p. 1375)

Il dibattito sulla nazionalizzazione della produzione di materiale scientifico-didattico nazionale riprese, a guerra terminata, su *L'Elettrotecnica: giornale ed atti della Associazione Elettrotecnica Italiana*, con il prof. Mario Nozari del R. Istituto Tecnico di Bergamo, convinto come Piola che, per lo sviluppo di una industria destinata a sopperire ai bisogni della scuola italiana, fosse necessaria la partecipazione degli

insegnanti "più di ogni altro competenti nell'indicare i bisogni medesimi, e nell'escogitare i mezzi per provvedervi" (Nozari, 1919, pp. 30-31). Dello stesso parere l'Ing. Giuseppe Astorri, che si augurava che il "successo [dell'Istituto Archimede] procur[asse] finalmente anche in questo campo l'emancipazione del pensiero italiano dal giogo straniero" (Astorri, 1919, p. 99). La discussione proseguì, sempre sulle pagine de *L'Elettrotecnica,* con gli interventi di Ugo Bordoni (11 febbraio 1919), Mario Nozari (24 marzo 1919), Antonio Allocchio e, infine, di nuovo Ugo Bordoni che chiuderà (14 aprile 1919), ponendosi alcuni interrogativi sulle effettive capacità e competenze dell'Istituto "Archimede" di produrre materiale della stessa qualità di quello estero.

A guerra finita Tommaso Taliani[2], che negli anni del conflitto bellico aveva diretto un'importante officina[3], si organizzò per trovare i capitali necessari: l'Istituto "Archimede", Società italiana per il materiale scientifico-didattico, si costituì a Roma il 19 febbraio del 1919. Il marchio di fabbrica fu depositato alla Prefettura di Roma il 10 giugno del 1919 allo scopo di "contraddistinguere apparecchi scientifici ad uso delle scuole e dell'industria e materiali di arredamento per le scuole"[4]. Il marchio di fabbrica raffigura una leva che solleva il mondo[5] e l'immagine fu scelta appositamente per "rappresentare il... proposito di fare lo sforzo più poderoso a vantaggio dell'industria nazionale del materiale scientifico-didattico" (L'Istituto "Archimede", 1919, 2, p. 24).



(a) **(b)**

Fig. 2: (a) Marchio dell'Istituto "Archimede". Fonte: L'Istituto "Archimede", 1919, 2. (b) Marchio dell'Istituto "Archimede" apposto sugli strumenti conservati al MuSEd.

Nel luglio 1919 l'Istituto "Archimede" occupava i locali di Via Puglie n. 10, nel quartiere Ludovisi a Roma. La sezione principale della struttura era rappresentata dall'officina meccanica "dotata di un gran numero di macchine utensili moderne di ogni specie, capace di molte migliaia di pezzi prodotti ogni giorno" (L'Istituto "Archimede", 1919, 2, p. 5), quindi da forge e fonderia di metalli dolci cui erano associati un laboratorio modelli, una soffieria di vetro, dei laboratori di finitura con bagni elettrolitici, apparecchi per patinare e laccare, un impianto per verniciatura a spruzzo e stufe, un reparto montaggio,

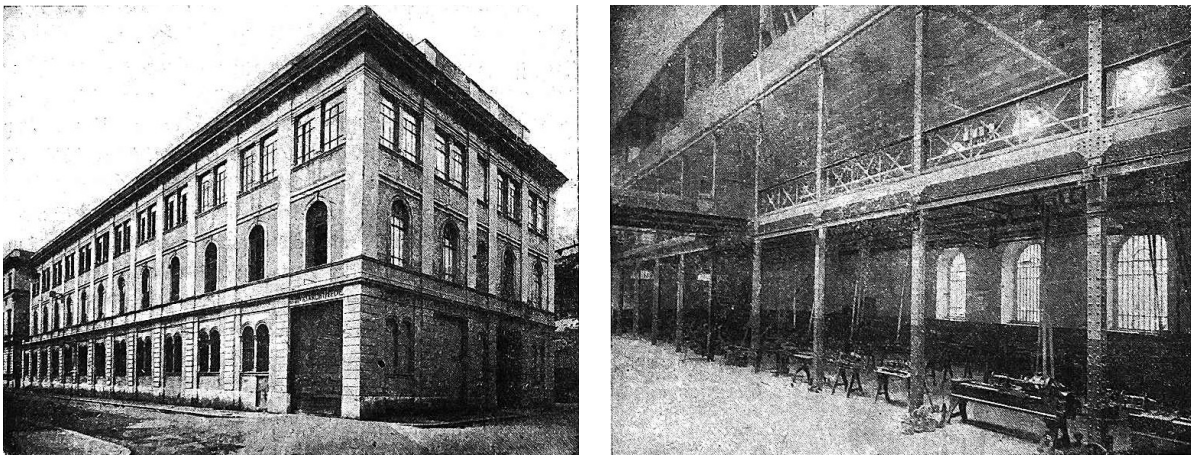
[2] Tommaso Taliani, in quegli anni, aveva il ruolo di macchinista del Gabinetto di fisica del R. Liceo Tasso presieduto da Giuseppe Brucchietti. Durante il congresso della SIF del 1916, il prof. Brucchietti organizzò presso il proprio Liceo, con la collaborazione di Taliani, un'esposizione di strumenti scientifico-didattici proprio per dimostrare come anche in Italia, con la collaborazione dei macchinisti, si potesse costruire "buon materiale didattico più rispondente alle esigenze del nostro spirito e del nostro gusto" (L'Istituto Archimede, 1923, p. 234).

[3] Si tratta, con molta probabilità, della Magliano & Voglino per la fabbricazione di proiettili che aveva sede in via Puglie 10 dove poi nascerà l'Istituto "Archimede" (Archivio Storico Capitolino, *Fondo I.E.*, catena 399, prot. 243, anno 1917).

[4] Data deposito del marchio 10.06.1919; Data registrazione del marchio 19.02.1921; n. reg. generale 17922; Roma, via Puglie 10 (Archivio centrale dello Stato).

[5] Dalla leggenda con protagonista Archimede che, con il solo aiuto di un congegno meccanico, fu in grado di far spostare la nave fatta preparare dal tiranno di Siracusa Gerone per il re Tolomeo.

un gabinetto scientifico per lo studio e le prove di funzionamento e, infine, dei magazzini per le materie prime e i prodotti.



(a) **(b)**

Fig. 3: (a) Lo stabilimento dell'Istituto "Archimede" in via Puglie 10 a Roma. Fonte: (L'Istituto "Archimede" 1919, 1. p. 5). (b) Interno dello stabilimento. Fonte: (L'Istituto "Archimede", 1919, 1, p. 4).

Le attività dell'Istituto Archimede si protrassero dal 1919 al 1926, come schematizzato nella tabella 1.

Anno	Sede	Capitale sociale £	Note
1919	Via Puglie, 10	500.000	Bollettino n. 1, 1919
1921	Viale Ardeatino n. 8	1.500.000	G.U. del del Regno d'Italia, parte III 18 luglio 1921, n. 168, p. 2064.
1924	Viale Ardeatino n. 8	3.000.000	Variazione dello Statuto e della denominazione in "Archimede" Istituto tecnomatico italiano (Foglio degli Annunzi Legali della Provincia di Roma, 1924: p. 23). Con la pubblicazione del bilancio al 31 dicembre 1924, l'Istituto "Archimede" sarà messo in liquidazione (Foglio degli Annunzi Legali della Provincia di Roma, 1923: p. 1771)
1926	Viale Ardeatino n. 8	eccedenza passiva di lire 2.073.849	Foglio degli Annunzi Legali della Provincia di Roma, 1927: p. 180

Tabella 1: Nascita e declino dell'Istituto Archimede

Dopo aver ceduto l'immobile all'Istituto Ss. Assunta detto Tata Giovanni e Opera pia De Angelis, i modelli Archimede continuarono comunque a essere venduti dalla Società Italiana per forniture di materiale scientifico didattico, con mire meno audaci (Capitale: Lire 10.000 sott. L. 3.000 vers.) (Consiglio provinciale..., 1939, 7 gennaio, p. 438).

3. I protagonisti

La breve esistenza dell'Istituto Archimede fu caratterizzata dal coinvolgimento di personalità molto rilevanti nella vita politica e culturale italiana del periodo. La direzione tecnica dell'Istituto fu affidata a

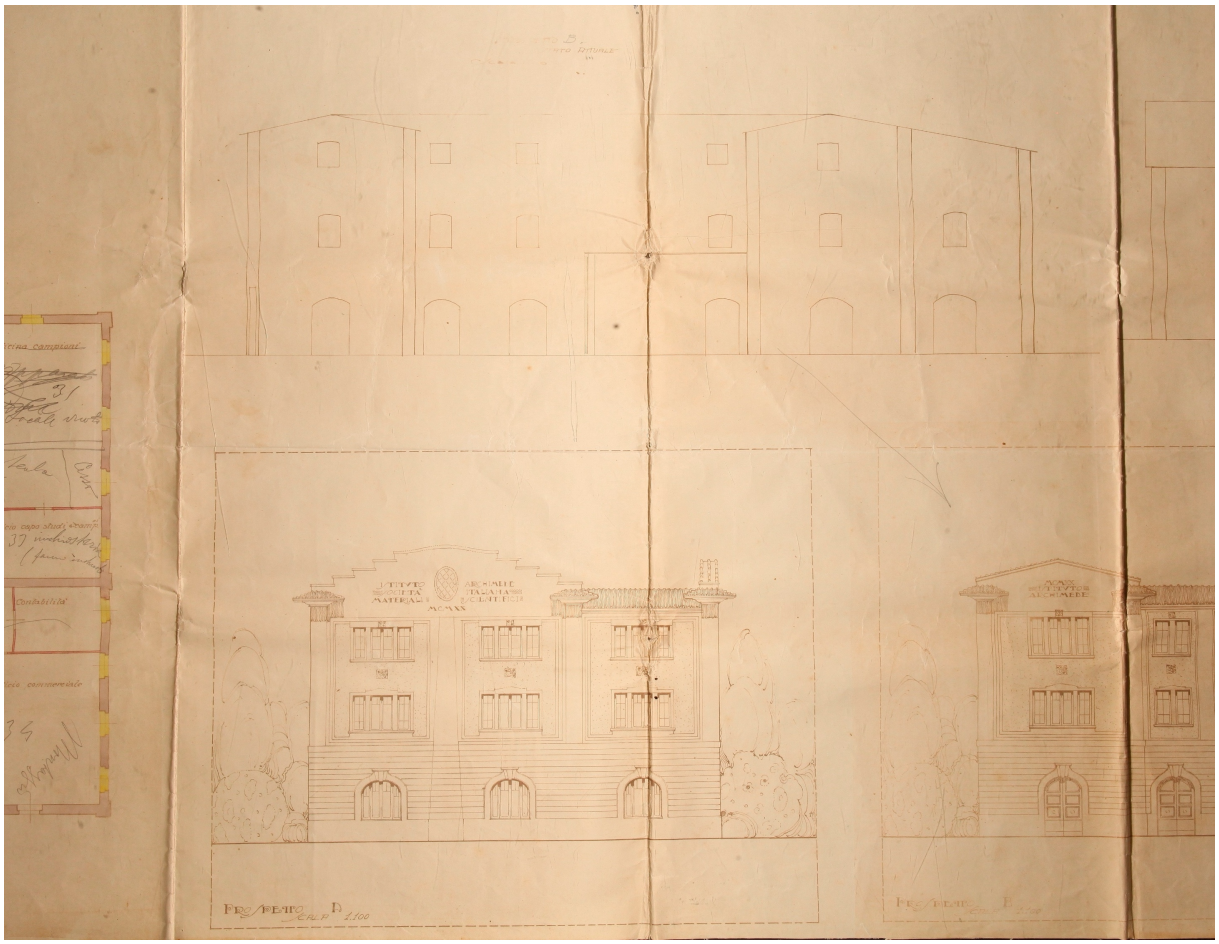


Fig. 4: Istituto Archimede - Società Anonima Italiana per la costruzione del materiale scientifico didattico: adattamento ad uffici di un fienile in viale Ardeatino (stralcio del progetto allegato). Vista fronte. Fonte: Archivio Storico Capitolino, *Fondo I.E.*, catena 473, prot. 1539, anno 1920.

Tommaso Taliani e nel comitato di consulenza figuravano Luigi Credaro (Presidente), Francesco Piola, Giuseppe Brucchietti, Giuseppe Gianfranceschi, Alberto Straticò, Luigi Sturzo e Melchiorre Zagarese. Si riportano alcuni cenni biografici.

Luigi Credaro (1860-1939), nel 1895 fu eletto alla Camera dei deputati e nel 1919 fu nominato senatore. Nel 1901 fondò l'Unione magistrale nazionale e nel 1902 fu chiamato sulla cattedra di Pedagogia della Facoltà di Filosofia e Lettere della Sapienza di Roma. Fu preside di facoltà dal 1903-1904 al 1909-1910 e dal 1918 al 1920. Riorganizzò il Museo d'Istruzione e di Educazione con la denominazione di "Museo Pedagogico" (ora MuSEd). In questa forma il Museo fu attivo fino alla Riforma Gentile del 1923. Nel 1907 fondò l'Associazione nazionale per gli studi pedagogici e la *Rivista pedagogica* (1908-1939). Come Ministro della Pubblica Istruzione (1910-1914) varò importanti provvedimenti sull'istruzione (D'Arcangeli, 2024).

Francesco Piola (1865-1926), ordinario di Fisica Tecnica alla R. Scuola di Ingegneria a Bologna. Assistente prima all'Istituto di Studi superiori a Firenze, quindi alla R. Università di Roma, ove nel 1908, ottenne la libera docenza. Fu ispettore per la Fisica nelle Scuole Medie, e durante la guerra fu addetto all'Ufficio "Invenzioni e Scoperte". Fu membro del Consiglio superiore per l'Istruzione media, partecipò a varie Commissioni ministeriali e fu Capo-Gabinetto al Ministero della Pubblica Istruzione[6]

[6] Testo tratto dalla rivista *Il Comune di Bologna*, agosto 1926. Trascrizione a cura di Zilo Brati, disponibile all'indirizzo: www.storiaememoriadibologna.it (consultato il 6 settembre 2024). Si veda anche la Commemorazione del prof. Francesco Piola tenuta alla Società Italiana di Fisica il 27 dicembre 1926 dal Prof. Quirino Majorana (Majorana, 1927).

Giuseppe Brucchietti (1864-1936) si laureò in Fisica nella R. Università di Roma il 7 novembre 1890 e conseguì, successivamente, l'abilitazione all'insegnamento della matematica nei licei. Fu docente titolare al R. Liceo Tasso di Roma dal 1° luglio 1900 fino a fine carriera[7] .

Giuseppe Gianfranceschi (1875-1936), frequentò la Facoltà di ingegneria dell'Università di Roma, ma all'inizio del quarto anno interruppe gli studi per entrare nel noviziato della Compagnia di Gesù. Riprese gli studi presso l'Università Gregoriana nel 1899 e conseguì la laurea in filosofia nel 1901. Si laureò successivamente in matematica e fisica e fu ordinato sacerdote nel 1909. Fu professore di liceo all'Istituto Massimiliano Massimo di Roma e poi professore di astronomia e di fisica all'Università Gregoriana. Dal 1912 al 1919 fu assistente presso l'Istituto di fisica dell'Università di Roma. Nel 1919 lasciò l'università statale e nel 1921 fu nominato da papa Benedetto XV presidente della Pontificia Accademia delle scienze "I Nuovi Lincei", incarico che tenne fino alla morte (Fano, 2000).

Alberto Straticò (1862-1926) si laureò in Lettere a Roma, insegnò Lettere italiane nei licei, svolse mansioni di ispettore scolastico in Sicilia e infine fu nominato direttore generale nelle scuole romane (Palombi, 2024).

Luigi Sturzo (1871-1959) ordinato sacerdote nel 1894, si iscrisse all'Università Gregoriana di Roma, conseguendo la laurea in teologia nel 1898. Ritornò in Sicilia e si mise al lavoro nell'organizzazione del movimento cattolico. Tra i diversi incarichi, si ricordano in questa sede: nel 1912 presidente dell'Associazione degli insegnanti cattolici; nel 1914 membro del consiglio direttivo dell'Unione popolare cattolica, nel 1915 membro della giunta direttiva dell'Azione cattolica. Nel 1919 fondò il Partito Popolare Italiano del quale fu segretario fino al 1923. Nel 1924 fu costretto a lasciare l'Italia e il suo lungo esilio durò circa 22 anni. (Malgeri, 2019).

Melchiorre Zagarese capo divisione in quegli anni della Divisione XXII Istruzione industriale e professionale dell'Ispettorato generale dell'Industria facente capo al Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio (*Almanacco italiano*, 1915, p. 198). Con il D.L. 11 marzo 1917[8], inoltre, Melchiorre Zagarese fu chiamato a far parte del Consiglio per l'istruzione industriale.

3.1. L'intervento di Quirino Majorana a favore dell'Istituto Archimede

Quirino Majorana intervenne a favore dell'Istituto in una lettera inviata alla redazione del *Bollettino* e ivi pubblicata nel numero 4, elogiando l'iniziativa che rispondeva al bisogno "veramente sentito da noi, quello cioè di dotare le nostre scuole di materiale scientifico corrispondente all'indirizzo delle scuole stesse, liberandoci, almeno in parte, della necessità di ricorrere all'estero". Majorana osservava, inoltre, come fosse necessario scongiurare il fallimento di una così lodevole iniziativa "Ed è ciò che va con ogni mezzo evitato. Si consideri la finalità di quell'istituzione; essa ha più che altro valore elevatissimo di carattere morale: l'istruzione dei nostri giovani". Majorana, inoltre, invitava gli insegnanti delle scuole ad incoraggiare la produzione dell'Istituto "Archimede":

> sia mediante consigli di carattere generale sull'indirizzo da dare alla sua produzione, sia suggerendo la costruzione di apparecchi e congegni speciali, il cui bisogno sia particolarmente sentito. Per ciò ciascuno potrà trarre partito della propria esperienza ricavata dall'insegnamento e della personale produzione scientifica... Ed io, per mio conto, metto a disposizione della sua direzione il mio modesto contributo, impegnandomi a dare tutti i suggerimenti che mi saranno chiesti. (L'Istituto "Archimede", 1919, 4, p. 55)

La lettera è datata Torino, ottobre 1919: in quel periodo Quirino Majorana ricopriva la cattedra di Fisica sperimentale al Politecnico di Torino, dove rimase fino al 1921, quando fu chiamato dall'Università di Bologna alla cattedra di Fisica sperimentale in seguito alla morte di Augusto Righi.

---

[7] Archivio Storico Liceo Tasso. Stato del personale. Insegnanti che nel 1915-1916 appartenevano all'Istituto.

[8] D.L. 11 marzo 1917, che provvede alla costituzione del Consiglio per l'Insegnamento Industriale per il biennio che avrà termine col 31 marzo 1919.

4. Conclusioni

Gli apparecchi didattici conservati nei musei della scuola, indipendentemente dal loro stato di funzionamento, rappresentano comunque delle importanti testimonianze per delineare percorsi non solo nella storia dell'educazione e dell'istruzione, ma anche nella storia della scienza. La presenza al MuSEd di apparecchi per la didattica della fisica fabbricati e commercializzati dall'Istituto "Archimede" ha permesso innanzitutto di rappresentare il passaggio dall'importazione di prodotti esteri (nel nostro caso per il Gabinetto di fisica della Scuola Normale pareggiata "Eleonora Pimentel Fonseca", dalla ditta tedesca Martin Wallach Nachfolger) all'acquisto di prodotti italiani. Come scrisse Quirino Majorana, la nascita dell'Istituto "Archimede" fu dettata soprattutto da ragioni morali: istruire gli studenti con materiale scientifico-didattico di fabbricazione italiana per fortificarne l'identità fu il filo rosso che contraddistinse il dibattito sulla nazionalizzazione della produzione. L'Istituto "Archimede", forte negli appoggi economici e istituzionali, lodato da eminenti personalità della cultura, rappresentò comunque una meteora nel panorama italiano e la sua microstoria indagata in ambito nazionale, attraverso il censimento del materiale scientifico-didattico esistente, potrà fornire ulteriori informazioni per la ricostruzione delle attività dell'Istituto nell'ambito della didattica delle scienze in Italia e nello sviluppo dell'industria nazionale dei materiali per i Gabinetti scientifici.

Bibliografia

Almanacco italiano (1915). Firenze: R. Bemporad e figlio.

Ascenzi, A., Brunelli, M. & Meda, J. (2019). "School museums as dynamic areas for widening the heuristic potential and the socio-cultural impact of the history of education: a case study from Italy", *Paedagogica Historica*, 57(4), pp. 419–439.

Astorri, G. (1919). "Per l'industria italiana del materiale scientifico e didattico", *L'Elettrotecnica*, VI(5), p. 99.

Cantatore, L. (2022). "Storia e vita del MuSEd – Museo della Scuola e dell'Educazione dell'Università Roma Tre", *Educació i Història*, 39, pp. 139-159.

Consiglio provinciale delle corporazioni di Roma (1939). *Bollettino dei protesti cambiari – dei fallimenti e del movimento delle ditte*, XI(1).

D'Arcangeli, M. A. (2013). *Verso una scienza dell'educazione – I. La "Rivista Pedagogica" (1908-1939)*, Roma: Anicia.

D'Arcangeli, M.A. (2024). "Credaro Luigi", in *Dizionario Biografico dell'Educazione 1800-2000*. Disponibile in dbe.editricebibliografica.it (Accesso ottobre 2024).

Fano, V. (2020). "Gianfranceschi Giuseppe", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, volume 54.

"Il Congresso dei fisici" (1916). *L'Elettricista*, V(6), pp. 45-46.

"L'Istituto Archimede" (1919). *Bollettino mensile*, luglio, 1-10.

"L'Istituto Archimede di Roma per il materiale scientifico didattico" (1923). *Rivista Pedagogica*, pp. 234-236.

Majorana, Q. (1927). "Commemorazione Francesco Piola", *Il Nuovo Cimento*, 4, pp.153–159.

Malgeri, F. (2019). "Sturzo Luigi", in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 94.

Meda, J. (2010). "Musei della scuola e dell'educazione Ipotesi progettuale per una sistematizzazione delle iniziative di raccolta, conservazione e valorizzazione dei beni culturali delle scuole", *History of Education & Children's Literature*, 5(2), pp. 489-501.

Meda, J. (2016). *Mezzi di educazione di massa*. Milano: Angeli.

Nozari, M. (1919). "Per un'industria italiana del materiale scientifico e didattico", *L'Elettrotecnica*, VI(2), pp. 30-32;

Palombi, I. (2024). "Straticò Alberto", in *Dizionario Biografico dell'Educazione 1800-2000*. Disponibile in dbe.editricebibliografica.it (Accesso ottobre 2024).

Piola, F. (1917). "La produzione nazionale del materiale scientifico-didattico in Italia, Roma, 12 maggio 1916", *Bollettino Ufficiale del Ministero della Istruzione Pubblica anno 1916*, II Quadrimestre, pp. 1360-1378.

Sanzo, A. (2018). "Il MuSEd da un secolo all'altro, tra memoria e futuro: cenni storici", *Il Pepeverde: rivista di letture e letterature per ragazzi*, XX(77), pp. 6-9.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_51, pp. 431–438
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-51

Gli incunaboli e le cinquecentine dell'INAF: un catalogo a stampa per scoprire il patrimonio bibliografico antico degli Osservatori italiani

Emilia Olostro Cirella[1]

[1]INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, emilia.olostro@inaf.it.

Abstract: In April 2024 the publishing house Leo S. Olschki gave to the press, in the series "Biblioteca di Bibliografia", a catalog entitled *Gli incunaboli e le cinquecentine degli Osservatori astronomici dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, 1478-1560*, which collects the printed editions of the 15th and 16th centuries preserved in the libraries of the Italian astronomical and astrophysics observatories. This is the first scientific collective catalog produced by the National Institute for Astrophysics. The activity started in 2015-2016 with a census of the sixteenth-century volumes, continued with their cataloguing, digitization and online use through the INAF portal "Polvere di stelle". The catalog represents the last piece of an operation of analysis and study of 227 scientific editions published between 1478 and 1560, which allows the deepening of different disciplinary topics concerning the history of astronomy and the history of typography and the circulation of books. A little known heritage but of great interest that deserves special attention both by the specialists of ancient books and by the astronomers.

Keywords: Ancient Heritage, Bibliography, History of Astronomy, History of Book

1. Introduzione

Sin dalla sua nascita agli albori del terzo millennio, l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), il principale ente di ricerca italiano impegnato nell'indagine e nello studio dell'Universo, ha sempre riconosciuto come una delle sue precipue finalità la tutela e la valorizzazione del considerevole patrimonio storico ereditato dai dodici Osservatori italiani che sono confluiti al suo interno al momento della fondazione. Non è un caso che il catalogo *Gli incunaboli e le cinquecentine degli Osservatori astronomici dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, 1478-1560*, pubblicato ad aprile 2024 dalla casa editrice Leo S. Olschki nella prestigiosa collana "Biblioteca di Bibliografia", affondi le sue radici proprio nel lontano 2010, quando ha iniziato a prender forma il progetto di una rete MAB astronomica dell'INAF che ha condotto alla realizzazione del portale web "Polvere di stelle" nel quale sono raccolti i database bibliografici, archivistici e strumentali di tutti i beni culturali dell'INAF, interrogabili anche mediante un metamotore per consentire all'utenza di recuperare informazioni sulla propria ricerca simultaneamente da più fonti (Olostro Cirella *et al.*, 2015; Gasperini & Olostro Cirella, 2019). Il catalogo, ultimo di una serie di prodotti realizzati dalla comunità bibliotecaria astronomica, rappresenta il risultato di un complesso e articolato lavoro iniziato nel 2015 con il censimento e la schedatura online delle edizioni a stampa del XV e XVI secolo e portato a termine dopo circa dieci anni con la realizzazione di un repertorio a stampa di carattere scientifico.

1.1. Il catalogo e le sue peculiarità

Il catalogo descrive 227 edizioni suddivise in 17 incunaboli e 210 cinquecentine, per una schedatura totale di 270 esemplari, essendo alcune edizioni presenti in duplice o triplice copia localizzate in uno o

più osservatori. Il lavoro iniziale di censimento e di catalogazione online, compiuto nel biennio 2015-2016, ha consentito di portare alla luce un numero pressoché elevato e sconosciuto, persino agli stessi bibliotecari dell'INAF, di opere scientifiche cinquecentesche, molto spesso rilegate insieme e, quindi,di difficile individuazione se non attraverso un'accurata catalogazione effettuata "libro in mano". Il volume copre un arco temporale che va dal 1478 al 1560, ossia un periodo di circa ottant'anni in cui furono dati alle stampe testi di astronomia che documentano le principali fasi di sviluppo ed evoluzione della disciplina. Inoltre il criterio adoperato per l'ordinamento delle schede è cronologico, con riferimento all'anno di stampa del frontespizio o, in sua assenza, del colophon. Si parte dalla *Sphaera mundi* di Ioannes de Sacrobosco (Venezia 1478), il trattato di cosmologia aristotelico-tolemaica più diffuso nel Medioevo, per giungere alle *Tabulae Bergenses* del matematico Johannes Stadius (Colonia 1560), noto per le sue *Ephemerides* basate sul sistema eliocentrico copernicano. Nel mezzo si susseguono opere di astronomi, astrologi, geografi, cartografi e matematici (Tolomeo, Euclide, Albumasar, Regiomontano, Peuerbach, Copernico, Tartaglia, Münster, Gemma Frisius, per citarne solo alcuni) che testimoniano la rarità e la completezza delle raccolte librarie degli osservatori italiani anche nell'ambito di discipline differenti ma strettamente collegate all'astronomia.

Il catalogo rappresenta, dunque, il primo repertorio bibliografico specialistico, interamente progettato e realizzato da bibliotecari dell'INAF grazie al sostegno finanziario del Servizio Biblioteche, Musei e Terza Missione dell'ente. Un repertorio cumulativo in cui la descrizione adottata segue criteri bibliografici e catalografici rigorosi, dettati dalla normativa nazionale e internazionale vigente, sia per quanto concerne l'intestazione sia per i contenuti della scheda (REICAT, ISBD, Guida alla catalogazione in SBN – Materiale antico), al fine di individuare l'edizione, ricostruirne la copia ideale e offrire un'analisi accurata degli esemplari posseduti dall'INAF di ciascuna edizione. La scheda è suddivisa secondo uno schema di base che prevede otto sezioni: 1. Intestazione; 2. Trascrizione del frontespizio; 3. Descrizione fisica; 4. Note di edizione; 5. Indicazione di varianti; 6. Impronta (ossia il sistema di identificazione delle edizioni monografiche antiche fino al 1830, consistente in una stringa alfanumerica di 16 caratteri rilevati da una serie di punti codificati del libro); 7. Note di esemplare; 8. Riferimenti bibliografici. Considerando la particolare natura dei testi a stampa del XV secolo, nelle schede relative agli incunaboli le sezioni 2 e 6 sono state omesse, per la mancanza, in generale, di frontespizio e per la difficoltà ad individuare i punti da cui ricavare i caratteri necessari alla costruzione dell'impronta.

Nella composizione della scheda gioca un ruolo fondamentale la stringa di intestazione, uno strumento che, insieme agli indici, facilita l'accesso al volume anche agli studiosi di tematiche disciplinari differenti. Introdotta da un numero arabo progressivo, seguito dalla data di stampa e dall'intestazione principale, essa contiene in forma abbreviata tutti gli elementi utili e necessari all'individuazione dell'edizione: oltre all'opera dell'autore principale nella stringa sono, infatti, registrate tutte le opere scritte da autori secondari, sono segnalati i nomi di curatori e traduttori, e, per finire, rilevati i dati di stampa (luogo, nome del tipografo e/o editore, data di stampa). Tutti i testi accessori come dediche, introduzioni e appendici non riportati nella stringa iniziale, sono stati comunque descritti nelle note di edizione. Si segnala inoltre l'attenzione riservata all'indicazione di eventuali varianti, laddove individuate anche sulla scorta di repertori autorevoli o tramite il confronto diretto con esemplari di altre biblioteche. .

1.2. Le note di esemplare

L'esame scrupoloso delle 270 copie delle edizioni descritte in catalogo ha fatto poi emergere nelle note di esemplare una serie di elementi utili sia alla ricostruzione delle provenienze delle copie stesse sia alla composizione di antiche collezioni librarie andate disperse. L'individuazione dei possessori è avvenuta attraverso la segnalazione di annotazioni manoscritte, ex libris e timbri che sono testimonianza evidente del passaggio di mano in mano dei volumi e del loro intrinseco valore in

quanto appartenuti anche a scienziati, studiosi e appassionati di astronomia. È il caso, per esempio, di un volume miscellaneo della biblioteca dell'Osservatorio di Brera, costituito dall'*Epitoma in Almagestum Ptolemaei* (Venezia 1496) di Regiomontano e dall'*Almagestum* (Venezia 1515) di Tolomeo, che riporta sull'occhietto dell'*Epitoma*, sotto il titolo, ben quattro note di possesso manoscritte a inchiostro nero, di mani diverse, che recitano: "Ex Bibliotheca D. Philippi Apiani, p.m. emit M. Michael Mæstlin Gœppingensis 1594."; "â Matthaeo Mästlino emit W. Schikardus 8. febr. 1632."; "J. J. Rabe"; "pro Speculâ Mediolanensi comparavi anno d[omi]ni 1892 J.V. Schiaparelli". Ed ecco tracciato lo straordinario percorso, attraverso i secoli, a cui è stato sottoposto questo volume che, per le opere contenute al suo interno arricchite da preziose illustrazioni xilografiche, è stato acquisito sia come oggetto di studio e di lettura sia come manufatto di valore da parte di autorevoli personaggi, esperti di astronomia e di scienze affini. Il primo ad essere annoverato è l'astronomo e matematico tedesco Michael Maestlin (1550-1631) che nel 1594 acquista il volume dagli eredi del cartografo Filippo Apiano (1531-1589), suo insegnante e figlio del celebre astronomo Pietro; nel 1632 Wilhelm Schickard (1592-1635), scienziato a tutto tondo, professore di astronomia presso l'università di Tübingen e inventore della prima macchina calcolatrice, a sua volta acquista il volume da Matthäus Maestlin, fratello di Michael; nel Settecento il libro arriva nelle mani di Johann Jacob Rabe (1710-1798), pastore ad Ansbach e traduttore di letteratura ebraica in tedesco; finalmente, nel 1892, viene acquistato da Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910), direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera, e da quel momento introdotto nella collezione antica della biblioteca della Specola milanese. Una storia davvero singolare e affascinante che ripercorre le varie tappe della circolazione di un volume appartenuto non solo ad astronomi ma anche a specialisti di discipline non propriamente scientifiche.

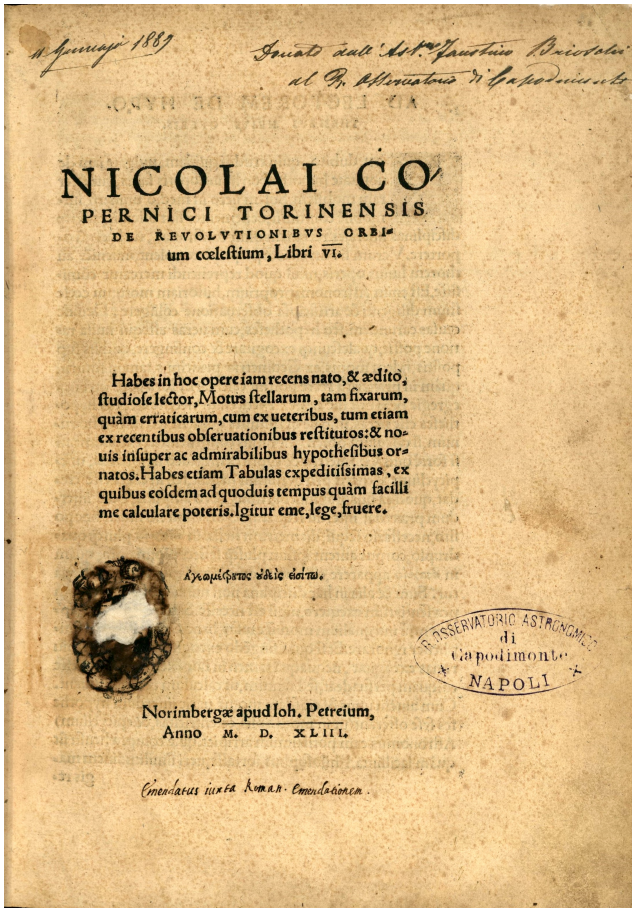


Fig. 1: Niccolò Copernico, *De revolutionibus orbium coelestium*, Norimberga, 1543. Frontespizio. Crediti: INAF-Capodimonte

Nella descrizione degli esemplari rivestono particolare interesse e fascino anche i segni di censura, conseguenza del controllo che la Chiesa cattolica aveva messo in atto, nel corso del XVI secolo, sulla produzione libraria per arginare la circolazione del sapere scientifico basato sull'affermazione dell'eliocentrismo. È il caso della copia della prima edizione del *De revolutionibus orbium coelestium* (Norimberga 1543) di Niccolò Copernico conservata nella biblioteca dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte-Napoli: il frontespizio (Fig. 1), oltre a segnalare la provenienza del volume, donato nel 1889 da Faustino Brioschi, figlio di Carlo, primo direttore dell'Osservatorio partenopeo, reca, sotto i dati di pubblicazione, la nota manoscritta "Emendatus iuxta Roman. Emendationem". L'esemplare napoletano appartiene, infatti, a quella serie di volumi censurati proprio secondo le dieci specifiche correzioni

imposte dalla Sacra Congregazione dell'Indice nel decreto emanato nel 1620 (Gingerich, 2002, pp. 367-368), dopo che la stessa autorità ecclesiastica aveva stabilito nel 1616 di ritirare l'opera di Copernico dalla circolazione fino a sua correzione "donec corrigatur" (Gingerich, 2002, p. 352; Olostro Cirella, 2023).

Per finire, nelle note di esemplare, sono state fornite notizie dettagliate anche sullo stato di conservazione delle copie e sulla loro legatura di cui sono accuratamente descritte sia le caratteristiche strutturali e decorative, sia le iscrizioni, impresse e manoscritte, presenti su dorso e piatti.

2. Le attrazioni del catalogo

Il patrimonio bibliografico antico dell'INAF, sebbene sia disseminato in differenti sedi, riunito nel catalogo cumulativo, rappresenta pressoché un unicum nel panorama mondiale delle collezioni librarie di settore. A testimonianza di quanto affermato è la presenza quasi completa al suo interno della più significativa produzione editoriale del XV e XVI secolo dedicata al tema delle Scienze del Cielo, proponendo addirittura alcune opere non solo in più esemplari ma anche in svariate edizioni. Il caso più eclatante è costituito proprio dal testo con cui ha inizio il catalogo: la *Sphaera mundi* di Sacrobosco. Scritto intorno al 1230 e ispirato alle teorie descritte da Claudio Tolomeo nell'*Almagestum*, fu il manuale di astronomia più utilizzato per la formazione e istruzione degli studenti nelle università dell'Occidente, contribuendo alla diffusione del sistema aristotelico-tolemaico, come dimostrano le numerose edizioni, traduzioni e commenti pubblicati fin oltre la metà del XVII secolo. In catalogo, oltre agli incunaboli stampati a Venezia nel 1478, 1488 e 1499, sono presenti anche edizioni del 1541, 1548 e 1550, le prime due veneziane la terza tedesca, oltre a una edizione in lingua volgare, sempre del 1550, tradotta dal matematico e teologo Mauro da Firenze (1493-1556) e preceduta da sue *Annotationi* che includono anche interpretazioni teologiche sui contenuti della *Sphaera*. Anche le opere di Tolomeo sono ben rappresentate in catalogo. L'*Almagestum*, il cui titolo deriva dal termine arabo *al-Magisṭī* (*il Grandissimo*), a sua volta adattamento della parola greca Μεγίστη, termine con cui veniva generalmente indicata l'opera di Tolomeo Μαθηματικὴ σύνταζις (*Trattato matematico*) o Μεγάλη σύνταζις (*Grande trattato*), è il libro di astronomia più famoso e influente dell'antichità, nel quale l'astronomo e geografo alessandrino elaborò tutto il sapere astronomico del mondo greco attraverso un'esposizione accurata e completa del modello geocentrico dell'Universo. Scritto intorno al 150, il trattato rappresentò per circa mille anni, in Europa e nel mondo islamico, il principale riferimento in campo astronomico, pur essendo un testo di non facile comprensione. In Occidente l'opera circolò inizialmente attraverso i manoscritti arabi dell'VIII e IX secolo, ma fu soprattutto la traduzione del XII secolo, dalla versione araba in latino, di Gherardo da Cremona a diffonderla più ampiamente. Nel XV secolo cominciarono ad apparire anche le traduzioni latine dal testo greco originale, come la traduzione completa dell'opera, realizzata nel 1451 da Giorgio da Trebisonda (Trapezunzio), oppure la versione ridotta ma al contempo integrata da commento, che fu iniziata da Peuerbach, su richiesta del cardinale Bessarione, e terminata dopo la sua morte dall'allievo Regiomontano. Le collezioni degli Osservatori conservano entrambe le versioni, anche in duplice e triplice copia: oltre all'edizione incunabolistica del 1496 dell'*Epitoma in Almagestum Ptolemaei* di Regiomontano (Venezia, Hamann per Grosch e Römer), che rappresenta la prima apparizione a stampa della celebre opera di Tolomeo, e ad una sua versione cinquecentesca (Norimberga, Johann vom Berg e Ulrich Neuber, 1550), si annoverano tra gli esemplari dell'*Almagestum* l'editio princeps del 1515 (Venezia, Peter Liechtenstein), l'edizione del 1528 (Venezia, Lucantonio Giunta I) tradotta da Giorgio Trapezunzio e curata da Luca Gaurico, e, per finire, l'editio princeps del testo in greco del 1538 (Basilea, Johann Walder), curata da Simon Grynaeus. Oltre all'*Almagestum*, si conservano di Tolomeo anche copie della prima e seconda edizione dell'*Opera astronomica* (Basilea, Heinrich Petri, 1541 e 1551), in cui sono raccolte anche le sue

opere più propriamente di astrologia, ad esclusione della *Geographia* che ritroviamo in catalogo nell'edizione del 1542 (Basilea, Heinrich Petri) curata dal cartografo e cosmografo tedesco Sebastian Münster. Oltre all'*Almagestum* di Tolomeo occupano un posto rilevante negli sviluppi degli studi astronomici le *Tavole alfonsine*, in grado di fornire le posizioni del Sole, dei pianeti e delle stelle e le date delle eclissi. La compilazione fu redatta intorno al 1252 da una cinquantina di astronomi arabi per ordine di Alfonso X re di Castiglia e León. L'opera, che rappresenta una revisione aggiornata delle tavole compilate da Tolomeo nell'*Almagestum*, risultò molto utile per i navigatori del XV e XVI secolo aprendo la strada alle grandi scoperte geografiche. In catalogo sono presenti esemplari della prima edizione del 1483 e dell'edizione successiva del 1492 e quattro copie cinquecentesche, una del 1524, due del 1545 e una del 1553. Degne di segnalazione sono, inoltre, le opere di autori arabi tra le quali emergono quelle del matematico e astrologo persiano Albumasar, vissuto tra VIII e IX secolo; di lui si conservano le bellissime edizioni incunabolistiche dei *Flores astrologiae* (Augusta, Ratdolt 1488), del *De magnis coniunctionibus* (Augusta, Ratdolt 1489), entrambe nella traduzione latina attribuita a Giovanni da Siviglia, e dell'*Introductorium in astronomiam* (Augusta, Ratdolt 1489), nella traduzione di Ermanno di Carinzia. Non mancano in catalogo nemmeno le edizioni delle *Theoricae novae planetarum* di Georg von Peuerbach, astronomo e matematico austriaco, inventore di svariati strumenti scientifici. Considerato il padre dell'astronomia matematica e osservativa del mondo occidentale, studiò l'opera di Tolomeo fornendo nelle sue *Theoricae*, edite postume a Norimberga nel 1474, un'esposizione elementare dell'astronomia geocentrica dell'*Almagestum*. Il testo ebbe un tale successo da rappresentare la base per l'istruzione accademica in astronomia. Nelle collezioni degli osservatori si conservano esemplari di numerose edizioni: all'incunabolo del 1488 (Venezia, Santritter e De Sanctis), in cui l'opera di Peuerbach accompagna il testo principale costituito dalla *Sphaera mundi* di Sacrobosco, fanno seguito esemplari di edizioni cinquecentesche stampate sia a Venezia nel 1534, 1537, 1545 e 1551, sia a Wittenberg nel 1542 e 1553, sia a Parigi nel 1550, 1553 e 1557. Un autore ben rappresentato nelle raccolte librarie dell'INAF è l'astronomo, cartografo e costruttore di strumenti tedesco Pietro Apiano. La *Cosmographia*, sua prima opera, fu considerata, nell'ambito degli studi astronomici, una vera novità per la presenza di dispositivi mobili o dischi girevoli di carta sovrapposti, chiamati volvelle (Fig. 2), che aiutavano il lettore a interagire con il testo per comprendere il funzionamento degli strumenti astronomici descritti al suo interno (Crupi, 2018). Pubblicata per la prima volta nel 1524, l'opera ottenne un tale successo editoriale, a partire dalla terza edizione, da essere tradotta e ristampata nel corso del XVI secolo in tutte le principali lingue europee. Nel 1540 Apiano diede

PRIMA PARS COSMO-

exposſtulat,& videbis tot eſſe gradus eiuſdem meridiani ab æquinoctiali circulo Vſquead zenith depicti hominis,quot arcus eiuſdem meridiani inter polum mundi & horizontem comprehendit.

COROLLARIVM.

Zenith Capitis ſemper æqualiter ex omni parte ab horizonte (id eſt. 90. gradibus, ſeu quadrante) diſtat: atque ideo dicitur Polus horizontis, & Vbique exiſtentibus (excluſis omnibus aliis impedimentis) ſemper medietas cœli ſiue hemiſphærii apparet. Quantum igitur aliquis ab æquinoctiali procedit Verſus Septentrionem vel Auſtrum, tantum etiam deprimitur horizon ſub polo ex parte Vna, ex altera Vero eleuatur ſupra polum oppoſitum.

Hæc planiùs ex inſtrumento videre licet.

Fig. 2: Pietro Apiano, *Cosmographia*, Paris, 1551. Esempio di volvella. Crediti: INAF-Roma.

alle stampe anche l'*Astronomicum Caesareum*, dedicato all'imperatore Carlo V, forse il testo scientifico più sensazionale che sia mai stato pubblicato, corredato di numerosissime volvelle che, con l'aiuto delle istruzioni dettagliate presenti nel testo consentivano di calcolare e prevedere la posizione e il movimento dei corpi celesti. L'opera valse ad Apiano il titolo di matematico di corte e la fiducia dell'imperatore che lo interpellò spesso per consigli astrologici. L'INAF non possiede l'*Astronomicum* ma conserva nelle sue biblioteche numerosi esemplari della *Cosmographia*, in edizione sia abbreviata che completa: a partire dall'edizione stampata ad Anversa nel 1533 a cura di Gemma Frisius, seguono in successione cronologica le edizioni veneziane in versione abbreviata del 1535, 1541 e 1554 e l'edizione parigina del 1551 con la sua emissione successiva del 1553, queste ultime anch'esse a cura di Gemma Frisius.

2.1. Le rarità del catalogo

Esiste, infine, in catalogo un piccolo gruppo di opere di grande rarità e pregio scientifico perché difficilmente reperibili in altre biblioteche della penisola. Appartengono a questo gruppo un incunabolo e tre cinquecentine la cui presenza nell'OPAC di SBN non è attestata attualmente se non per una sola delle quattro edizioni. L'incunabolo, dal titolo *Luminare maius*, è l'opera del medico e botanico Giovanni Giacomo Manlio originario di Bosco, vissuto a cavallo tra il XV e XVI secolo. Si tratta di un importante manuale di farmacologia e botanica medica stampato molto probabilmente per la prima volta a Pavia il 9 aprile 1494. Oltre ad essere un commento alle antiche opere farmacologiche arabe e greche, il trattato forniva a medici e speziali indicazioni terapeutiche per le varie patologie e istruzioni per la preparazione di sciroppi, pillole e unguenti indicando per ciascuna ricetta le quantità degli ingredienti e descrivendo gli ingredienti stessi. La copia conservata nella biblioteca romana dell'INAF, non presente in OPAC SBN ma registrata in ISTC insieme ad altre tre copie segnalate su territorio italiano, appartiene all'edizione veneziana del 1496 (Boneto Locatello per Ottaviano Scoto I, 28 maggio 1496).

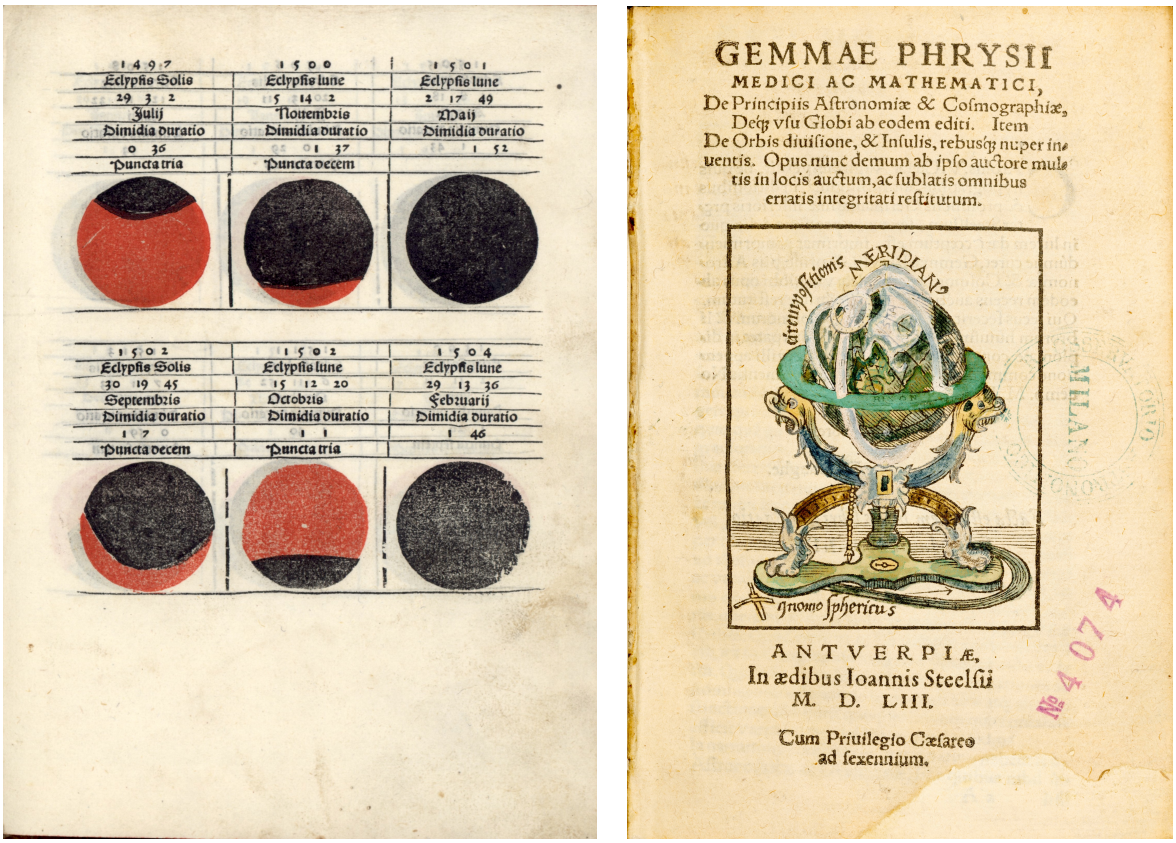
Georg Joachim Rheticus, matematico e astronomo austriaco, allievo di Copernico, è l'autore di due delle tre cinquecentine appartenenti al gruppo delle rarità. Cresciuto negli anni turbolenti della Riforma protestante, Rheticus si laureò a Wittenberg a 22 anni e l'anno successivo, nel 1536, ottenne la cattedra di astronomia e matematica anche per intercessione di Filippo Melantone. Più tardi, nel 1538, Rethicus ebbe l'opportunità di intraprendere un viaggio di studio per migliorare le sue conoscenze astronomiche. A Norimberga sentì parlare per la prima volta delle idee di Copernico sull'eliocentrismo e, di conseguenza, decise di raggiungerlo a Frauenburg per conoscerlo di persona. Lì aiutò il maestro a completare il manoscritto del *De Revolutionibus orbium coelestium*, stampato a Norimberga nel 1543, e scrisse il *De libris revolutionum Copernici narratio prima* che fece stampare a Danzica nel 1540, dapprima anonima, poi a Basilea nel 1541, con l'indicazione dell'autore. L'opera, considerata la prima vera esposizione a stampa delle idee copernicane, rappresentò la migliore introduzione al lavoro di Copernico prima della sua effettiva pubblicazione. Tra le opere scritte da Rheticus, in catalogo ritroviamo soltanto due testi: le *Orationes duae prima de astronomia et geographia altera de physica*, stampate probabilmente nel 1542 a Norimberga, la cui copia è conservata presso la biblioteca dell'Osservatorio di Roma, e le *Tabulae astronomicae*, stampate a Wittenberg nel 1545, la cui copia appartiene al fondo antico della biblioteca dell'Osservatorio di Napoli. In OPAC SBN non esiste alcuna scheda catalografica per le *Orationes*, mentre è presente quella per le *Tabulae* con l'unica localizzazione segnalata proprio presso l'Osservatorio partenopeo.

L'ultima rarità del catalogo è rappresentata dalla *Sesta risposta* con la quale il matematico bresciano Niccolò Tartaglia sfidò Ludovico Ferrari, allievo di Girolamo Cardano, per difendere la propria scoperta della formula risolutiva dell'equazione cubica generale. Gli opuscoli, denominati *Cartelli di matematica disfida* e dati alle stampe tra il 1547 e 1548, sono in totale dodici, suddivisi tra i sei cartelli di Ferrari a Tartaglia e le sei risposte di Tartaglia a Ferrari. In Italia si conservano rarissime copie di ciascun

opuscolo: la biblioteca dell'Osservatorio di Brera possiede, ad esempio, solo il quinto cartello di Ferrari e tutte e sei le risposte di Tartaglia, ma con il privilegio di essere l'unica biblioteca italiana a custodire la sesta risposta.

3. Le illustrazioni nei testi astronomici del XV e XVI secolo

Con la scoperta della stampa a caratteri mobili, i testi scientifici, in particolare quelli di argomento astronomico, approdarono nelle officine tipografiche conoscendo una fortuna editoriale incontrastata, trattandosi di opere con una forte connotazione internazionale perché lette e diffuse tra gli scienziati di tutta Europa. Un ruolo fondamentale nella diffusione della cultura scientifica fu svolto pure dalle illustrazioni



(a) **(b)**

Fig. 3: (a) Giovanni Regiomontano, *Kalendarium*, Venezia, 1485. Eclissi di Sole e di Luna a inchiostro rosso e nero. Crediti: INAF-Brera (b) Gemma Frisio, *De principiis astronomiae et cosmographiae*, Anversa, 1553. Frontespizio. Crediti: INAF-Brera.

che corredavano i testi a stampa del XV e XVI secolo, modificandone soprattutto l'approccio alla lettura: grazie all'uso delle immagini, i concetti potevano essere rappresentati in modo più chiaro e visivo rendendo il testo accessibile a una più ampia gamma di lettori. È ciò che accade fondamentalmente nei libri scientifici dove, accanto agli usi decorativi comuni a tutti i generi librari, si annoverano illustrazioni realizzate a colori con l'apporto dell'officina tipografica. A questo proposito è doveroso ricordare la figura del tipografo tedesco Erhard Ratdolt, il primo ad utilizzare la tecnica in cui più colori sono impressi contestualmente alla stampa, con un procedimento del tutto seriale. Gli esempi più rappresentativi in catalogo sono il *Kalendarium* (Venezia, Ratdolt, 15 ottobre 1485) di Regiomontano (Fig. 3a) e la *Sphaera mundi* (Venezia, Santritter e de Sanctis, 31 marzo 1488) di Sacrobosco (Zappella, 2014, pp. 26-27). L'uso della coloritura manuale delle illustrazioni astronomiche è comunque sempre presente sia nelle edizioni

quattrocentesche che cinquecentesche del nostro catalogo: alcuni magnifici esempi di immagini colorate a tempera e ad acquerello sono rispettivamente presenti nelle copie milanesi della *Sphaera mundi* di Sacrobosco del 1478 e del *De principiis astronomiae et cosmographiae* di Gemma Frisius del 1553 (Fig. 3b). Nel *Kalendarium*, oltre alle famose immagini delle fasi lunari, realizzate a inchiostro rosso e nero, ritroviamo anche l'uso delle volvelle e di parti metalliche, come la lancetta del Quadratum horarium generale, nella raffigurazione degli strumenti astronomici. Naturalmente le parti mobili diventeranno popolari e d'uso comune soprattutto con Pietro Apiano e Sebastian Münster, del quale conserviamo in duplice copia l'*Organum uranicum* stampato a Basilea nel 1536 da Heinrich Petri, dove nella seconda parte del volume i pianeti sono raffigurati con l'aggiunta di parti mobili sovrapposte.

Per concludere, il successo delle molte officine tipografiche che produssero testi scientifici agli albori della stampa e nei primi decenni del Cinquecento è indissolubilmente legato alla fortunata collaborazione con grandi artisti vissuti a cavallo tra il XV e XVI secolo. Basti pensare ad Hans Holbein il Giovane (1497-1543), pittore, disegnatore e incisore tedesco che lavorò a Basilea soprattutto per l'editore Froben e i suoi soci e che ci ha tramandato attraverso le nostre collezioni librarie alcune delle sue illustrazioni più belle e significative tra cui: l'immagine del notturnale nella *Compositio horologiorum* di Sebastian Münster (Basilea, Heinrich Petri, 1531); il disegno della marca tipografica dell'*Orbis descriptio* di Dionysius Periegetes (Basilea, Thomas Wolff, 1534), raffigurante un uomo in costume da studioso che, uscendo da una porta, appoggia l'indice destro sulla bocca e alza quello sinistro nell'atto di indurre al silenzio; la serie di iniziali xilografiche figurate, con personaggi biblici, storici e mitologici identificati da didascalie, realizzata su suoi disegni dall'incisore Jacob Faber (attivo tra il 1516 e il 1550) per gli *Elementa* di Euclide (Basilea Johann Herwagen I, 1537). Un'ultima illustrazione che non può essere assolutamente ignorata soprattutto per l'interesse che destò anche dopo la sua realizzazione è il celebre rinoceronte disegnato e inciso da Albrecht Dürer nel 1515. Il successo della xilografia fu tale che il disegno fu preso a modello di innumerevoli illustrazioni tra cui quella realizzata da David Kandel nel 1557 per il *Prodigiorum ac ostentorum chronicon* di Konrad Lykosthenes (Basilea, Heinrich Petri).

Bibliografia

Crupi, G. (2018). "Apianus e le volvelle del cielo", *Paratesto*, 15, pp. 31-47.

Gasperini, A. & Olostro Cirella, E. (2019). "Urania digitale", *DigItalia*, XIV(1), pp. 126-131.

Gingerich, O. (2002). *An annotated census of Copernicus' De Revolutionibus (Nuremberg, 1543 and Basel, 1566)*. Leiden, Boston, Köln: Brill.

Olostro Cirella, E. (2023). "Sulle tracce del *De Revolutionibus* nelle biblioteche napoletane", *Giornale di astronomia*, 49(3), pp. 54-58.

Olostro Cirella, E. *et al.* (2015). "The AstroBID: Searching through the Italian Astronomical Heritage", in Holl, A. *et al.* (eds.), *Open science at the frontiers of librarianship*, proceedings of VII LISA conference, Naples, 17-20 June 2014. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, pp. 143-149.

Zappella, G. (2014). "I libri delle stelle e la tradizione iconografica del Rinascimento", in Olostro Cirella, E. & Caprio, G. (eds.) *Le cinquecentine dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte*. Napoli: Giannini, pp. 15-69.

Atti del XLIV Congresso Nazionale Sisfa - Firenze 2024 (2025), **43**_52, pp. 439–446
Doi:10.6093/978-88-6887-352-3-52

I libri di astronomia dell'antico Istituto Tecnico di Firenze

Laura Faustini[1]

[1]Museo della Fondazione Scienza e Tecnica, Firenze, biblioteca@fstfirenze.it.

Abstract: The history of the *Istituto Tecnico* begins in 1850, when the Grand Duke Leopold II of Tuscany decided to separate the *Terza classe*from the existing *Accademia delle Belle Arti*. The new school was endowed with valuable collections and a rich library which was to be enriched with new acquisitions and donations throughout the life of the *Istituto*. It contained publications representative of the Italian and European technical and scientific knowledge of the nineteenth century, especially in the disciplines corresponding to the subjects taught. Because of its quality, the Library soon became a reference point for the training and updating of teachers. Alongside the book holdings, a copious collection of Italian and foreign periodicals was created, a fact that testifies to the cosmopolitan culture of the *Istituto* and to commitment to being part of a network that was soon to become supranational in nature. In the original core of the Library, there was no lack of publications from the 16th, 17th and 18th centuries that served to document the evolution of scientific thought. The collection of ancient books, strongly supported by Filippo Corridi (1806-1877), the first director of the *Istituto*, is now kept in the *Museo della Fondazione Scienza e Tecnica*, together with the Physics and Natural Sciences collections. The corpus of works on astronomy is particularly significant, including those by Aristarchus of Samos in the 1572 edition by Federico Commandino (1509-1575), Christen Sørensen Longomontanus (1562-1647), Carlo Antonio Manzini (1600-1677), Isaac Newton (1642-1726), John Keill (1671-1721), Ruđer Josip Bošković (1711-1787).

Keywords: Astronomy, Physics, Florence, Filippo Corridi, Museo della Fondazione Scienza e Tecnica

1. L'Istituto Tecnico e il suo direttore Filippo Corridi

Dalla terza classe di Arti e Manifatture dell'Accademia delle Belle arti ha inizio la storia dell'Istituto Tecnico di Firenze. Nel 1850, infatti, il granduca di Toscana Leopoldo II, in forma di *motu proprio*, predispose la separazione della suddetta classe per fondare il nuovo Istituto e assegnò la direzione della scuola al matematico Filippo Corridi (1806-1877). La figura di Corridi fu determinante per la nuova istituzione che continuò ad avere per lungo tempo, anche dopo le dimissioni del direttore avvenute nel 1859, un ruolo di grande prestigio nel panorama scolastico, prima granducale e poi nazionale.

Laureatosi in discipline scientifiche all'Università di Pisa, Corridi presto ne divenne professore, ottenendo nel 1830 il ruolo di aggregato alle cattedre di Matematiche, nel 1831 la cattedra di Geometria e nel 1840 quella di Calcolo differenziale ed integrale (Puccioni, 1850), pur continuando a coltivare interessi pedagogici rivolti all'istruzione infantile e popolare che diventarono oggetto di alcune sue pubblicazioni[1] . In veste di segretario, partecipò alla prima Riunione degli Scienziati Italiani, svoltasi a Pisa nel 1839, di cui redasse gli Atti che furono lodati da autorità governative e da intellettuali italiani ed esteri (Corridi, 1864, pp.192-199). Nel 1843, si trasferì a Firenze, dove ebbe l'incarico di precettore degli arciduchi offertogli dal Granduca (Puccioni, 1850)[2] . Personalità eclettica, Corridi ebbe l'opportunità di viaggiare molto e di entrare in contatto con esponenti di spicco della cultura europea e, allo stesso tempo, di ampliare i propri interessi educativi riguardanti anche l'istruzione scientifica e tecnologica attraverso

[1] Corridi pubblicò tra il 1832 e il 1842 tre volumi di carattere pedagogico: *Elementi d'aritmetica spiegati al popolo, Breve trattato di aritmetica ad uso de' fanciulli ordinato a sviluppare la loro intelligenza* e *La geografia descrittiva esposta ai giovinetti.*

[2] Il 14 gennaio del 1850 venne dispensato dall'istruzione e tornò a figurare nel ruolo di professore dell'Università di Pisa.

la conoscenza delle esperienze compiute in altri Stati, consapevolezza da cui trasse ispirazione una volta chiamato a dirigere l'Istituto Tecnico. La nuova carica lo elevò a figura di primo piano nelle esposizioni nazionali e internazionali, come quella di Londra del 1851, per la quale assunse il ruolo di commissario della Toscana. A tale scopo, per facilitare la scelta dei prodotti da inviare oltremanica, Corridi diresse la Pubblica Esposizione dei Prodotti Naturali e Industriali della Toscana, una manifestazione a cadenza quinquennale che venne anticipata al 1850 in vista dell'evento londinese (Consiglio dei Ministri, 1850).[3] Ne scaturì un vero e proprio censimento del quale esiste un manoscritto intitolato *Statistica industriale toscana per l'anno 1850*, dove furono riportate le notizie riguardanti le produzioni artigianali e industriali del territorio granducale trasmesse a Corridi dai gonfalonieri, ai quali era stata fatta esplicita richiesta formale[4] . Sempre come responsabile dell'Istituto, Corridi fu chiamato ad organizzare altre esposizioni, tra cui quella universale di Parigi del 1855 e quella toscana del 1854 che, come la precedente, ebbe lo scopo di mettere in mostra i prodotti più rappresentativi delle manifatture toscane da inviare in Francia l'anno seguente.

Le vicende biografiche del direttore furono strettamente legate alla storia dell'Istituto, ne determinarono la funzione e le qualità: le esposizioni, per esempio, rappresentarono per la scuola un riconoscimento prestigioso in quanto videro l'Istituto esporre le proprie collezioni ed ottenere, per il valore del materiale esibito, diplomi e medaglie, oltre a costituire una stmolante occasione di aggiornamento scientifico. Corridi cercò di portare l'insegnamento tecnico allo stesso livello di preparazione raggiunto dagli altri Istituti europei in modo che la Toscana potesse avvalersi di personale specializzato in grado di governare il progresso tecnologico e industriale del granducato. Per questo ritenne necessario dotare la scuola di laboratori ben forniti, collezioni ricche di strumenti, materiali lavorati e grezzi e libri su cui poter studiare e sperimentare. Le esposizioni, nazionali e internazionali, rappresentarono anche il mezzo per attualizzare questo progetto: esse, infatti, costituirono una fonte per incrementare la consistenza della Biblioteca e delle raccolte dell'Istituto (Boccella, 1852)[5] .

2. La Biblioteca e i volumi di Astronomia

Fin dalla sua fondazione, la scuola possedette ricche collezioni di strumenti scientifici e reperti naturalistici e un considerevole numero di libri. Corridi, infatti, si prodigò affinché il nuovo Istituto avesse una propria Biblioteca. A questo scopo e col sostegno del Ministero della Pubblica Istruzione, intraprese una lunga trattativa con il presidente dell'Accademia delle Belle Arti, Luca Bourbon Del Monte (1808-1876), per farsi consegnare i volumi, in numero di circa duemila, scelti tra quelli appartenenti alla vecchia Istituzione. La lunga lista sottoposta al vaglio dell'Ispettore delle Scuole dell'Accademia, Carlo Milanesi (1816-1867), subì una drastica riduzione: delle cinquecento opere elencate, furono ritenute cedibili solo sessantanove, perché il progetto venne giudicato irrazionale e del tutto ingiustificato se non per "la voglia e la vanità d'invadere e d'usurpare, e di far diventare ancella chi era padrona" (Milanesi, 1850a). L'elenco dei libri definitivamente consegnati alla nuova scuola mostra che, tra le cinquantasei opere concesse, per un totale di quattrocentocinquanta volumi, tredici risultano opere di Astronomia per lo più riguardanti la costruzione di orologi solari, cannocchiali, astrolabi e planisferi (Milanesi, 1850b)[6] (Fig. 1b). Queste opere, stampate tra il 1565 e la fine del 1821, come il *Dialogo della descrittione teorica et pratica degli horologi solari* di Giovanni Battista Vimercato (sec. XVI), *L'occhiale all'occhio* di Carlo Antonio

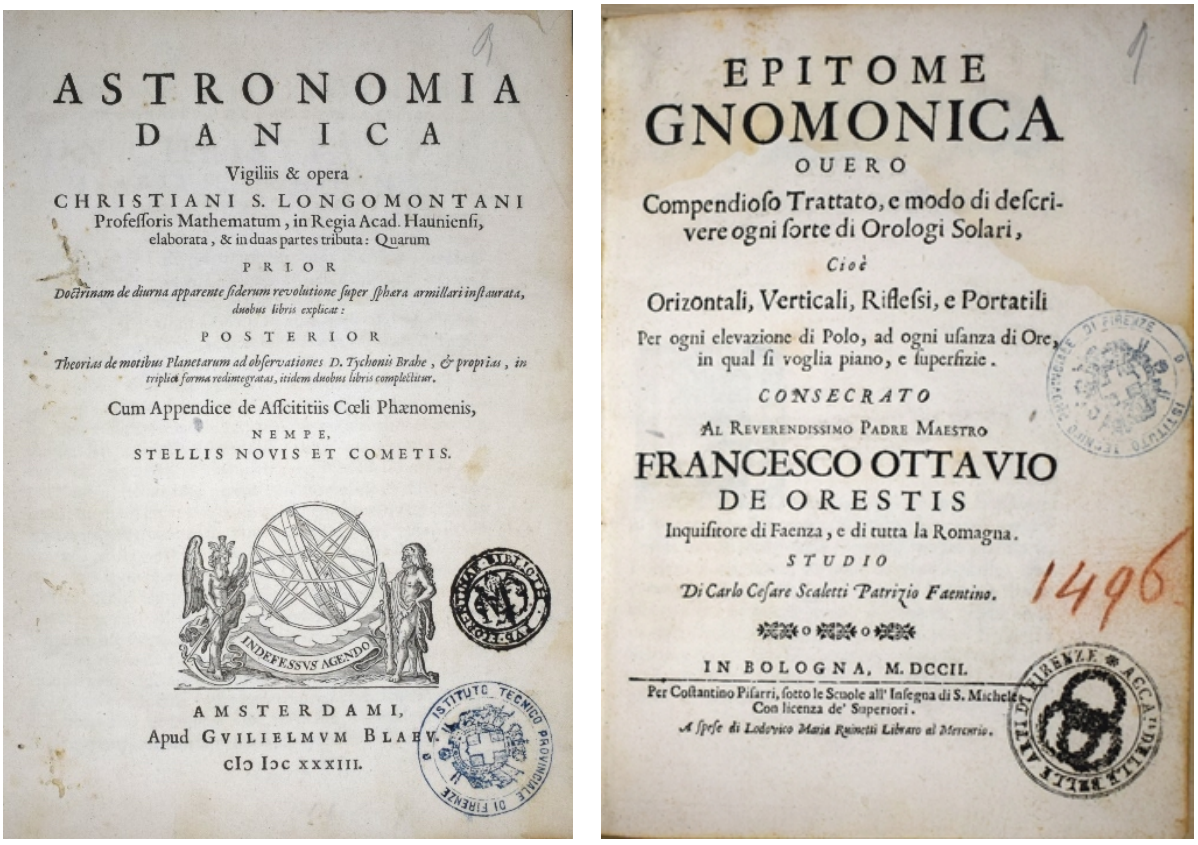
[3] L'esposizione aveva avuto luogo nel 1847 e si sarebbe dovuta svolgere nel 1852.

[4] Il manoscritto è oggi conservato presso la Biblioteca del Museo della Fondazione Scienza e Tecnica.

[5] In una lettera il ministro della Pubblica Istruzione, Cesare Boccella (1810-1877), scrive al presidente dell'Accademia delle Belle Arti: "Sono già arrivati a Livorno e quanto prima verranno trasportati in Firenze, gli oggetti che ritornano dalla grande Esposizione di Londra unitamente ad altri in quella occasione colà raccolti per arricchire il nostro Museo Tecnologico."

[6] La lista si trova trascritta in Gori & Misiti,1986, p.136.

Manzini (1600-1677), le *Memorie sulli cannocchiali diottrici . . .* di Ruđer Josip Bošković (1711-1787), l'*Uranographie, ou, Traité élémentaire d'astronomie* di Louis Benjamin Francoeur (1773-1849), a cui si devono aggiungere i 32 volumi dell'*Encyclopedie*, editi a Livorno dal 1770 al 1779 e passati all'Istituto poco tempo dopo[7], costituiscono, ancora oggi, parte del fondo antico della Biblioteca del Museo della Fondazione Scienza e Tecnica.



(a) **(b)**

Fig. 1: (a) Frontespizio di *Astronomia danica vigiliis et opera Christiani S. Longomontani, elaborata et in duas partes tributa...*, Amsterdami, apud Guilelmum Blaeu, 1733, scritto da Longomontanus Longberg, Christen (1562-1647). In basso a destra l'acronimo MD (Magliabechiano duplicato). (b) Frontespizio di *Epitome gnomonica, ouero, Compendioso trattato, e modo di descrivere ogni sorte di horologi solari ...*, In Bologna, per Costantino Pisani, 1702, scritto da Carlo Cesare Scaletta (1666-1748). In basso a destra ex-libris dell'Accademia delle Belle Arti di Firenze.

Non completamente soddisfatto di queste acquisizioni, Corridi continuò la politica di accrescimento attraverso scambi con altre biblioteche[8]. Ad incrementare le opere di Astronomia contribuirono, questa volta, i "doppi" della Biblioteca Magliabechiana: proprio in quegli anni si stava organizzando il riordinamento delle pubbliche "librerie" di Firenze con l'aiuto di Giuseppe Molini (1772-1856), già bibliotecario palatino (Molini, 1849)[9]. Corridi ricevette l'inventario dei duplicati della Magliabechiana dal Ministero

[7] L'opera venne ceduta nel 1859 come comunicato nella lettera del Ministro della Pubblica Istruzione, Cosimo Ridolfi (1794-1865), inviata al Presidente dell'Accademia delle Belle Arti, Luca Bourbon Del Monte.

[8] Ancora nel 1850, il Provveditore dell'Università di Pisa viene invitato dal Ministero della Pubblica Istruzione a pronunciarsi riguardo alla richiesta, avanzata da Corridi, di alcuni volumi appartenuti al soppresso Collegio Ferdinando per le scuole tecniche (Gherardini 1850a).

[9] Il progetto di Molini prevedeva che le sei Biblioteche pubbliche di Firenze, Magliabechiana, Laurenziana, Riccardiana, Marucelliana, di S. Caterina e di S. Maria Nuova, fossero riunite in un unico locale a vantaggio dell'istruzione pubblica e dell'utile "che potea ricavarsi dall'immenso numero di duplicati e triplicati che sarebbero risultati da questa fusione, e non pochi dei quali di un pregio e di un valore non indifferenti e che col mezzo di baratti o della vendita avrebbero somministrato il mezzo di procurare alla gran Biblioteca, senza sacrificio dell'erario, le molte opere indispensabili che pur troppo vi mancherebbero ancora, e specialmente quelle pubblicate in Europa e fuori da sessanta anni in qua."

della Pubblica Istruzione con preghiera di procedere in accordo con Molini "sotto la custodia del quale si trovano le Opere duplicate"(Gherardini 1850b). Al posto della collezione di versioni della Bibbia, edita in novanta differenti lingue e ottenuta dal Direttore all'Esposizione di Londra del 1851, entrarono a far parte dell'Istituto col meccanismo del baratto, tra gli altri, il *De magnitudinibus, et distantiis solis, et lunae...* di Aristarco di Samo (310-230 a. C.) nella edizione del 1572 di Federico Commandino (1509-1575), i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Isaac Newton (1642-1726), la *Sphaera...* di Giovanni Sacrobosco (1195-1256) nell'edizione del 1564, il *Dialogo...* di Ulisse Albergotti (sec. XVII), l'*Astronomia danica* di Christen Sørensen Longomontanus (1562-1647), le *Introductiones ad veram physica et veram astronomiam...* John Keill (1671-1721) e gli 83 volumi editi dall'Académie [R.] des Sciences di Parigi. I volumi, ancora presenti nel catalogo della Biblioteca del Museo, sono tutti facilmente identificabili dall'ex libris apposto sui frontespizi con l'acronimo MD[10] (Gori & Misiti, 1986, pp. 143-159) (Fig. 1b).

Regolamento 1871/72	Regolamento 1876/77 Corso di quattro anni	Regolamento 1885/88 Corso di quattro anni
1. Biennio comune a tutte le sezioni 2. Biennio studi speciali: • Fisico-matematica • Sezione Industriale • Sezione Agronomica • Sezione Commercio • Sezione di Ragioneria (corso di tre anni: due Sezione Commercio + uno speciale)	1. Anno preparatorio comune a tutte le sezioni 2. Triennio studi speciali: • Sezione Fisico-matematica • Sezione di Agrimensura (periti stimatori di fabbriche; periti misuratori di campi) • Sezione di Agronomia (amministratore rurale; direttore di aziende agrarie) • Sezione Commercio e Ragioneria • Sezione Industriale	1. Biennio comune a tutte le sezioni 2. Biennio studi speciali: • Sezione Fisico-matematica • Sezione di Agrimensura • Sezione di Agronomia • Sezione di Commercio e Ragioneria • Commercio e Ragioneria private, Amministrazione e Ragioneria pubblica, Sezione Industriale

Tabella 1: Corso di studio. Regolamenti 1871/72, 1876/77, 1885/1888

3. La Biblioteca e l'insegnamento di Cosmografia

La richiesta di cessione di queste opere fu dettata non solamente dalla volontà di creare una Biblioteca che rispondesse alle esigenze didattiche della scuola. L'*Annuario* del 1857, che segnò ufficialmente l'inizio delle lezioni dell'Istituto Tecnico, può aiutare a comprendere queste finalità. Corridi, alla nota introduttiva del volume, che illustrava il contenuto e lo scopo della pubblicazione, aggiunse, ad uso di un prontuario, informazioni relative ai regolamenti ministeriali, agli statuti delle due Istituzioni, Istituto Tecnico e Accademia Toscana di Arti e Manifatture ad esso congiunta, ai programmi dei corsi, all'orario delle lezioni. Quello che però contribuiva ad "accrescere l'importanza del libretto", secondo quanto osservato dall'autore, erano i prospetti e le notizie aggiunti in appendice e riguardanti il Disegno tecnologico (Istituto Tecnico Toscano, 1857, pp. 83-117) e la Cosmografia (Istituto Tecnico Toscano, 1857, pp. 119-160), così significativi da risultare utili sia "agli studiosi di scienze che agli artigiani" (Istituto Tecnico Toscano, 1857, p. [4]). Per la rilevanza tributatale dal direttore dell'Istituto Tecnico, sarebbe lecito supporre che anche la Cosmografia facesse parte delle materie di insegnamento prima dell'unità d'Italia, pur non risultando tra le cattedre istituite e riportate nell'*Annuario*:

[10] L'elenco definitivo delle opere scelte da Corridi è conservato, insieme a numerosi documenti relativi allo scambio, presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze.

1. Geometria descrittiva e disegno tecnologico,
2. Fisica tecnologica e Tecnologia speciale delle Arti fisiche,
3. Meccanica sperimentale e Tecnologia speciale per le Arti meccaniche,
4. Storia Naturale applicata alle Arti,
5. Chimica applicata alle Arti,
6. Metallurgia (Istituto Tecnico Toscano, 1857, p. 40).

Regolamento 1871/72	Regolamento 1876/77	Regolamento 1885/88
1. Geografia. Anno III. • Sfera celeste – Declinazione ed ascensione retta degli astri – Sole – Eclittica ... Legge di Keplero sulle aree – Paralasse del Sole – ... – leggi del movimento della Terra intorno al Sole... • Giorno siderale – Giorno solare ... Anno siderale – Anno tropico... • Luna - ... Pianeti – ... – Zodiaco - ... – Sistema Tolomeo – Sistema Copernico – Sistema Tycho-Brahè – Leggi Keplero – Regola di Bode • Comete – ... • Leggi della gravitazione universale ... • Sezione di Ragioneria Stelle – Nebulose – Ipotesi sulla formazione del nostro sistema planetario.	1. Geografia. Corso I. • Le stelle, loro classificazione e gruppi. • Il sole e il sistema solare o planetario. • La terra e la luna, loro movimenti e fenomeni che ne derivano. • Fasi della luna, eclissi solare e lunare. • La sfera celeste e la terrestre. Globi artificial. • Cerchi della sfera terrestre. L'equatore, l'orizzonte, il meridiano, i due tropici e i due cerchi polari. • Latitudini e longitudini. Maniera di determinarle. • I punti cardinali. Maniera di determinarli. Rosa dei venti. • Carte geografiche.	1. Geografia • Sfera celeste - Movimento siderale diurno apparente - Asse polare - Poli ed equatore celeste - Meridiani e paralleli celesti – Giorno siderale. • Movimento Apparente diurno solare... • La verticale – Zenit – Nadir – Meridiano celeste di un luogo - Metodo di contare le longitudini in tempo ... • I movimenti apparenti delle stelle e del sole ... Anno tropico – Anno siderale – Anno civile ... - Retrogradazione della luna rispetto al sole ... Eclissi di luna e di Sole – Eclissi anulari. • Pianeti principali ... • Cenno sulle comete e sulle stelle cadenti. • Modo di rintracciare la stella polare ... – Globi e carte celesti.

Tabella 2: Programma Cosmografia - Insegnamento comune a tutte le sezioni - Regolamenti 1871/72, 1876/77, 1885/1888

La sua presenza, invece, risulta ben strutturata nei regolamenti unitari per gli Istituti Tecnici del 1871 (Provincia di Firenze, 1872) e in quelli successivi del 1876 (Ministero di Agricoltura Industria e Commercio, 1877) e del 1885 (Ministero di Agricoltura Industria e Commercio, 1885a). Tali ordinamenti stabilirono i programmi. il numero e le tipologie delle sezioni speciali che componevano i corsi e decretarono che l'istruzione propedeutica, variabile da uno a due anni, fosse necessaria e che venisse impartita in maniera uguale a tutti gli studenti. L'insegnamento della Cosmologia, associato alla cattedra di Geografia, fu limitato al biennio comune o al primo anno preparatorio, ad eccezione della sezione Fisico-matematica che prevedeva, invece, nell'insegnamento di Fisica complementare una parte riservata a questa disciplina (si veda Tabb. 1, 2, 3).

Essendo la Cosmografia materia di insegnamento, il patrimonio della Biblioteca fu incrementato anche dopo la direzione Corridi, con opere di Astronomia, come ad esempio le *Notizie astronomiche* di Antonio Cagnoli (1743-1816), l'*Atlas der astronomie* di Karl Christian Bruhns (1830-1881), il *Cours d'astronomie...* di Hervé Auguste Faye (1814-1902), le *Osservazioni astronomiche fatte al piccolo meridiano di Arcetri nel 1905-1906* di Bortolo Viaro (1870-1922).

Le raccolte librarie, infatti, furono di supporto all'attività didattica dell'Istituto e diventarono un

Regolamento 1871/72	Regolamento 1876/77	Regolamento 1885/88
	1. Sezione Fisico– matematica. • Corso II. Cosmografia. – Sfera dell'asse celeste; orizzonte e meridiano; equatore e poli; declinazione ed ascensione retta; movimento apparente del sole e delle stelle; eclittica. – Cenni del sistema planetario - Doppio movimento della terra - Movimento della luna e fenomeni principali che ne dipendono - Pianeti e satelliti - Comete e stelle filanti.	1. Sezione Fisico– matematica. • Fisica complementare. – Richiamo delle nozioni di Cosmografia insegnate nel primo biennio comune, compiendole ed ampliandole coll'aiuto delle cognizioni già acquistate o che si vanno acquistando dagli studenti nelle matematiche ... – Esposizione del nostro sistema solare - Leggi di Keplero - Gravitazione universale e sue leggi – Potenziale della gravitazione. - Più ampia esposizione del moto reale della terra (moto diurno e moto annuo) –Cenni sulle misurazioni fatte per determinare le dimensioni, la forma e la densità media della terra. – Proiezioni usate ... nella costruzione delle carte geografiche, con numerosi esercizi.

Tabella 3: Programma Cosmografia - Sezioni Speciali - Regolamenti 1871/72, 1876/77, 1885/1888

punto di riferimento per l'aggiornamento generale dei docenti. Nella Biblioteca si trovava documentato il sapere tecnico-scientifico della cultura italiana ed europea dell'Ottocento nelle opere di Agronomia e silvicoltura, Chimica, Fisica, Matematica, Meccanica Idraulica, Storia naturale, Topografia, Costruzioni, Economia e statistica. Accanto ai libri trovò spazio una ricca raccolta di periodici italiani e stranieri, quasi a testimoniare la cultura cosmopolita dell'Istituto e la volontà di far parte di una rete che ben presto assunse carattere sovranazionale. Oltre alla dotazione di volumi, il docente di Astronomia si avvaleva, come del resto accadeva per le altre cattedre di insegnamento, di ricche raccolte didattiche comprendenti materiale cartografico, globi, sia terrestri che celesti, meridiane, cannocchiali, astrolabi e diapositive fotografiche su lastra di vetro, che ancora oggi sono conservati nel Museo della Fondazione Scienza e Tecnica. Particolarmente interessante, anche per capire quanto fosse vasto il patrimonio dell'Istituto Tecnico, che dal 1883 fu intitolato a Galileo Galilei, sono le parole con cui veniva raccomandato, nell'ordinamento del 1885/1888, di dotare la cattedra di Astronomia dei materiali idonei all'insegnamento, esortando ad acquistare, sull'esempio dei collegi americani ed inglesi, un cannocchiale in modo che gli studenti avessero l'opportunità di osservare realmente ciò che veniva loro insegnato: il Gabinetto di Storia Naturale e quello di Fisica dell'Istituto Tecnico possedevano numerosi strumenti astronomici tra cui anche varie tipologie di cannocchiali.

> giova qui manifestare il desiderio che, oltre ai globi celesti, le figure del sistema solare e i meccanismi più o meno ingegnosi che sogliono adoperarsi nelle scuole per dimostrare in complesso il movimento dei pianeti, si introduca almeno in qualche Istituto l'uso del cannocchiale, come si fa nei collegi americani ed inglesi; perché l'alunno possa vedere l'oggetto reale, e non dipinto più o meno male, come è avvenuto sinora per alcuni corpi celesti. In molte scuole straniere questi cannocchiali sono anche montati parallatticamente, così che lo studente si forma subito con l'osservazione un esatto e chiaro concetto del movimento della sfera

> celeste, dell'apparente ed anche in certi casi del moto reale di qualche astro; oltre che il Professore ha un congegno semplicissimo a sua disposizione per mostrare in pratica quanto a voce spiega nella scuola. Per il sole, la luna, i principali pianeti, le nebulose e i gruppi di stelle facili ad osservarsi, basta un cannocchiale di modestissime proporzioni, il cui costo, compresa la montatura, non può superare le mille lire. Questi cannocchiali così montati sono facilmente trasportabili; il Professore può servirsene comodamente nella scuola e fuori. Considerando il fatto che ricaverebbero gli studenti dal farsi speditamente, mercé tale strumento, chiare idee di cosmografia e dal non acquistar l'abitudine di parlare francamente di cose non mai vedute, la spesa di un migliaio di lire non dovrà parere eccessiva alle amministrazioni che forniscono il materiale scientifico per gli Istituti. (Ministero dell'Istruzione Pubblica, 1885a, p.163)

Ringraziamenti

I miei ringraziamenti vanno a Donatella Lippi, Stefania Lotti, Massimo Misiti, Giorgio Signorini e Daniele Mazzolai.

Bibliografia

Bargagna, B. *et al.* (1989). *La Prima Riunione degli Scienziati Italiani. (Pisa 1839). Notizie biografiche e bibliografiche*. Pisa: Giardini.

Corridi, F. (1864). *Ricordi di fatti contemporanei concernenti un Ministro libero di nuocere, legato nell'amministrare la giustizia; e per giunta notizie e considerazioni sulla Istruzione Tecnica in Italia*. Firenze, Tipografia delle Murate di Stefano Jouhaud.

Gori, G. & Misiti, M. (a cura di) (1986). *La Biblioteca dell'Istituto Tecnico Toscano. 1.Libri antichi: catalogo (1482-1799)*. Firenze: Tip. Giuntina.

Istituto Tecnico Toscano (1857). *Annuario dell'I. e R. Istituto tecnico toscano e della I. e R. Accademia toscana d'arti e manifatture: anno 1857, primo dell'annuario.* Firenze: Stamperia granducale.

Provincia di Firenze (1872). *Atti del Consiglio provinciale di Firenze. Sessioni. Ordinaria del 1871 e straordinarie del 1871-72*. Firenze: Tipografia Pier Capponi.

Ministero di Agricoltura Industria e Commercio (1878). *L'ordinamento e i programmi di studio negli istituti tecnici 1876-1877*. Roma: Tip. Eredi Botta.

Ministero dell'Istruzione Pubblica (1885a). *Regolamento generale per gli IstitutiTecnici del Regno*. Roma: Ippolito Sciolla.

Ministero dell'Istruzione Pubblica (1885b). *Disposizioni regolamentari didattiche. Orari, Istruzioni e Programmi d'insegnamento per gli Istituti Tecnici del Regno*, vol. I. Roma: Ippolito Sciolla.

Fonti d'archivio

Boccella, C. (1852). Lettera al Presidente dell'Accademia delle BB. Arti, Firenze, 8 gennaio. Archivio Accademia delle Belle Arti di Firenze (di seguito AABAFi), F. 41A, i. 56.

Consiglio dei Ministri (1850), Ordinanza, Firenze, 4 giugno. Archivio di Stato di Firenze (di seguito ASFi), *Ministero della Pubblica Istruzione e Beneficenza*, F. 202, f. 20.

Gherardini, A (1850a). Lettera al Provveditore dell'Università di Pisa, Firenze, 9 aprile. ASFi, *Ministero della Pubblica Istruzione e Beneficenza*, F. 659, f. 302.

Gherardini, A. (1850b), Lettera al Sig. Giuseppe Molini, già Bibliotecario Palatino, Firenze, 7 marzo. ASFi, *Ministero della Pubblica Istruzione e Beneficenza*, F. 199, f.15.

Milanesi, C. (1850a). Lettera al Presidente dell'Accademia delle Belle Arti, Firenze, 1marzo. AABAFi, *Biblioteca per le scuole tecniche*, F. 41B, i. 144bis.

Milanesi, C. (1850b). *Nota delle opere di Tecnologia che sono nella Libreria dell'Accademia delle Belle Arti*. Firenze, 9 marzo. AABAFi, *Biblioteca per le scuole tecniche*, F. 41B, i. 144bis.

Molini, G. (1849). *Giornale dei lavori e delle operazioni fatte per il Riordinamento delle pubbliche Librerie di Firenze...*, Firenze, 31 dicembre. ASFi, *Ministero della Pubblica Istruzione e Beneficenza. Carteggio del Mese di Gennaio*, F. 634, f. 6.

Puccioni, G. (1850). Lettera al Ministro della pubblica Istruzione e Beneficenza, Pisa, 6 marzo. ASFi, *Ministero della Pubblica Istruzione e Beneficenza*, F. 199, f. 69.

Atti del XLIV Congresso Nazionale SISFA, tenutosi a Firenze nel settembre 2024, con la partecipazione di circa 90 studiosi italiani e internazionali. Il congresso ha indagato la storia della fisica e dell'astronomia, l'epistemologia, l'educazione scientifica e la conservazione del patrimonio storico e ha presentato quattro sessioni speciali: *Dall'informazione all'intelligenza artificiale*, tracciando l'evoluzione della comunicazione, da Marconi alla cibernetica e all'IA; *Dalla statistica quantistica alla fisica della materia condensata*, celebrando un secolo di statistica di Bose-Einstein e della sua influenza sulla fisica moderna; *1924–2024: Edwin Hubble e l'evoluzione della cosmologia moderna*, ripercorrendo la scoperta di Hubble e il suo impatto sull'astrofisica; *100 anni dalla nascita dell'Università di Firenze* e *In memoria di Giuseppe Occhialini*, onorando il centenario dell'Università e i contributi di Occhialini alla fisica italiana.
Questo volume raccoglie studi accurati che esplorano l'evoluzione del pensiero scientifico e la storia delle scienze.

Proceedings of the 44th SISFA National Congress, held in Florence in September 2024, with the participation of about 90 Italian and international scholars. The congress explored the history of physics and astronomy, epistemology, scientific education, and the preservation of historical heritage, and featured four special sessions: *From Information to Artificial Intelligence*, tracing the evolution of communication, from Marconi to cybernetics and AI. *From Quantum Statistics to Condensed Matter Physics*, celebrating a century of Bose-Einstein statistics and its influence on modern physics. *1924–2024: Edwin Hubble and the Evolution of Modern Cosmology*, revisiting Hubble's breakthrough discovery and its lasting impact on astrophysics. *100 Years since the Birth of the University of Florence* & *In Memory of Giuseppe Occhialini*, honoring the University's centenary and Occhialini's contributions to Italian physics.
This volume collects accurate studies exploring the evolution of scientific thought and the history of the sciences.

Mauro Gargano, Irpinian and astronomy graduate, is senior Technologist at INAF, professor of the History of Astronomy at the University of Naples Federico II, curator of the Museum of Astronomical Instruments at the Astronomical Observatory of Capodimonte, and coordinator of the Observatory's activities for the dissemination of astronomical culture. His research focuses on the history of astronomy and the preservation of the INAF's collections. He is the author of essays and books on the history of astronomy and serves as the Secretary of SISFA.

Antonella Gasperini, full Technologist at the Arcetri Astrophysical Observatory, is the coordinator for MAB (Museums, Archives, Libraries) within the INAF Unit for Knowledge Valorization. Her work focuses on the preservation and enhancement of Italian historical astronomical heritage. She is actively involved in numerous national and international initiatives and projects related to cultural heritage in astronomy and is the author of several publications on the history of astronomy.

Samuele Straulino is currently associate Professor of Didactics and History of Physics at the University of Florence. His primary interest is teacher training, for primary and secondary schools. In the field of history of physics, he wrote some papers on Galileo's physics.

ISBN: 978-88-6887-362-2
DOI: 10.6093/978-88-6887-362-2