



Società Italiana degli Storici
della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XLI Convegno annuale
Proceedings of the 41st Annual Conference

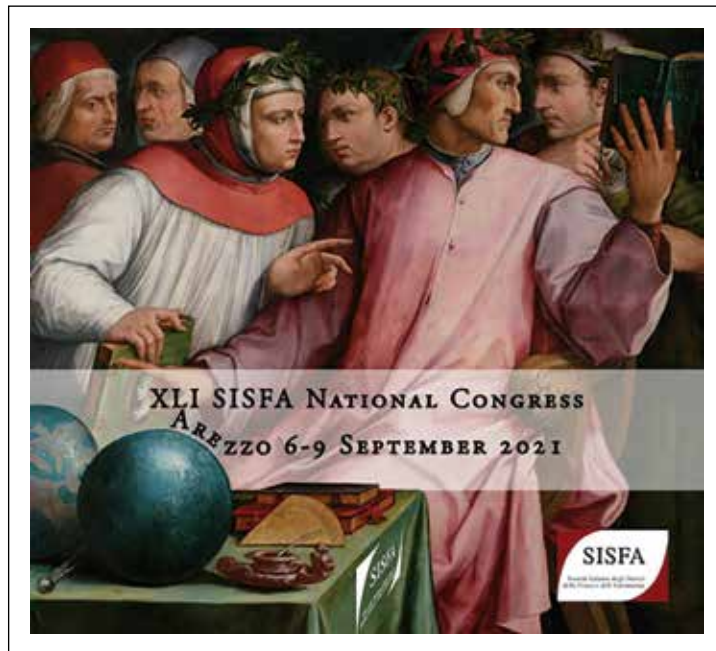
Arezzo, 6-9 Settembre 2021

a cura di / edited by

Valeria Zanini, Adele Naddeo, Fabrizio Bònoli



Atti



41st National Congress of the Italian Society for the History of Physics and Astronomy

The meeting is one of a well-established series that SISFA has been organizing on a yearly basis since its foundation. It aims at promoting the research activities in the history of physics and astronomy in Italy, carried out not only by academic historians but also by independent scholars and school teachers willing to explore the role of the history of physics and astronomy in the present-day teaching of the disciplines. At the same time, the meeting provides an opportunity to strengthen the collaborations and establish new links among the members of SISFA and the members of other scholarly societies, as well as researchers working in the same and in related fields.

Organizing and Scientific Committee

Salvatore Esposito, INFN-Napoli

Lucio Fregonese, Università degli studi di Pavia

Ivana Gambaro, Università degli Studi di Genova

Mauro Gargano, INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Naples

Roberto Lalli, Max Planck Institute for the History of Science, Berlin

Adele La Rana, Università degli Studi di Verona

Roberto Mantovani, Università degli studi di Urbino “Carlo Bo”

Angelo Pagano, INFN-Catania

Informatic collaboration:

Istituto Nazionale di Astrofisica



Società Italiana degli Storici
della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XLI Convegno annuale
Proceedings of the 41st Annual Conference

Arezzo, 6-9 Settembre 2021

a cura di / *edited by*

Valeria Zanini, Adele Naddeo, Fabrizio Bònoli

P I S A
UNIVERSITY
PRESS

Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia
Atti del XLI Convegno annuale = Proceedings of the 41st Annual conference : Arezzo, 6-9 settembre 2021 / Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia ; a cura di Valeria Zanini, Adele Naddeo, Fabrizio Bònoli. - Pisa : Pisa university press, 2022

530.09 (WD.)

I. Zanini, Valeria II. Naddeo, Adele III. Bònoli, Fabrizio 1. Fisica - Storia - Atti di congressi 2. Astronomia - Storia - Atti di congressi

CIP a cura del Sistema bibliotecario dell'Università di Pisa

UPI

UNIVERSITY
PRESS ITALIANE

Membro Coordinamento
University Press Italiane

In copertina e p. II / On the cover and p. II:

Giorgio Vasari (1511-1574), *Ritratto di sei poeti toscani / Six Tuscan Poets*, olio su tela / oil on canvas, 1544. Da sinistra, in primo piano / From the left, in the foreground: Guido Cavalcanti, Dante Alighieri; in secondo piano / in the background: Guittone d'Arezzo, Cino da Pistoia, Francesco Petrarca, Giovanni Boccaccio / Minneapolis Institute of Arts, Wikimedia Commons.

© Copyright 2022

Pisa University Press

Polo editoriale - Centro per l'innovazione e la diffusione della cultura

Università di Pisa

Piazza Torricelli 4 · 56126 Pisa

P. IVA 00286820501 · Codice Fiscale 80003670504

Tel. +39 050 2212056 · Fax +39 050 2212945

E-mail press@unipi.it · PEC cidic@pec.unipi.it

www.pisauniversitypress.it

ISBN 978-88-3339-694-1

L'opera è rilasciata nei termini della licenza Creative Commons: Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale (CC BY-NC-ND 4.0).

Legal Code: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.it>



L'Editore resta a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare, per le eventuali omissioni o richieste di soggetti o enti che possano vantare dimostrati diritti sulle immagini riprodotte.

L'opera è disponibile in modalità Open Access a questo link: www.pisauniversitypress.it

Sommario / Summary*

Introductory remarks..... XI

Programme of the Conference XIII

COMMEMORATION OF ERASMO RECAMI

Erasmus Recami: della passione della Fisica

Enrico Giannetto (invited) 2

40 YEARS OF PHYSICS

40 anni di storia della fisica in Italia

Fabio Bevilacqua, Salvatore Esposito (invited)..... 11

Le origini politico-istituzionali del Gruppo Nazionale di Storia della Fisica

Gerardo Ienna (invited)..... 15

SISFA PRIZE 2021

Cesare Minerbi's "Kontinuierlicher Resonatoren-Apparat nach Schaefer E. Zimmermann, Leipzig-Berlin" Now Part of the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara

Anna Maragno 24

Bruno Pontecorvo:

dalle scoperte di via Panisperna alle prospezioni petrolifere dell'Oklahoma

Luigi Renna (abstract)..... 30

Astronomy in the Jesuit Mission to Ming China

Valentina Bottanelli (abstract)..... 31

ASTRONOMICAL AND MECHANICAL KNOWLEDGE IN DANTE'S TIMES

La cosmografia dantesca fra antico e moderno

Sperello di Serego Alighieri (invited - abstract) 33

Dante. L'eredità cosmologica di un cristiano

Roberto Buonanno (invited - abstract)..... 34

L'astronomia nella Divina Commedia

Guido Risaliti (invited - abstract) 35

* Si precisa che nel sommario i titoli dei contributi sono riportati in italiano o in inglese a seconda di come sono pervenuti dagli autori / It should be noted that the titles of the contributions in the summary are given in English or in Italian depending on how they came from the authors.

The Descent to Hell: Dante and Galileo Towards Gravitation	
Marcos Cesar Danhoni Neves (invited).....	36
Dante, scienza e tecnologia	
Claudio Santori	44
Storia e sviluppo degli orologi meccanici a pesi descritti da Dante Alighieri - Il catalogo	
Fausto Casi.....	51
Filippo Angelitti: un astronomo dantista	
Manuela Coniglio, Donatella Randazzo, Ileana Chinnici.....	55
FROM THE LATE 17TH TO 19TH CENTURY	
The Musical Systems by Rameau and Tartini. Creativity and Inconsistency	
Claudio Bini, Danilo Capecchi, Giulia Capecchi, Guglielmo Lami.....	62
The Combination Tones: from Tartini to Helmholtz	
Claudio Bini, Danilo Capecchi, Giulia Capecchi, Guglielmo Lami.....	68
Viviani. Prospettive di uno scienziato	
Erika Bercigli.....	74
Giovan Battista Amici, Astronomer Optician, Naturalist and Instrument Maker in Modena from 1809 to 1831	
Elena Corradini.....	81
Francesco Zantedeschi and Macedonio Melloni: A Dispute in the History of Italian Electrostatics	
Lucia De Frenza.....	90
PHYSICS IN THE 20TH CENTURY	
The Milan Institute of Physics During the Fascist Regime	
Leonardo Gariboldi.....	98
Aurorae Borealis and Cosmic Rays: From Vannevar Bush's Differential Analyzer to Digital Simulation	
Benedetta Campanile.....	104
Some Aspects of the Reception of Enrico Fermi in the Soviet Union	
Giulia Carini, Stefano Furlan.....	114
A Look Inside Feynman's Approach to Gravitation	
Marco Di Mauro, Salvatore Esposito, Adele Naddeo.....	122
Feynman on <i>Planetary Motions</i>	
Fabrizio Pinto.....	128
Intertheoretic Relations, Singular Limits and Emergence: A Critical Overview of the Relation between Classical and Quantum Mechanics	
Marco Di Mauro, Adele Naddeo.....	139

HISTORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS

L'evoluzione della fisica nucleare in Italia dopo Fermi Renato Angelo Ricci (invited)	146
La genealogia accademica di Enrico Fermi Paolo Rossi, Adele La Rana (invited)	168
“With a source so small to fit in one hand”: Fermi and the Discovery of Neutron-induced Radioactivity Nadia Robotti (invited - abstract)	174
Bruno Touschek (1921-1978). The Path toward Electron-Positron Collisions. Sources and Bibliography Luisa Bonolis	175

HISTORIOGRAPHY OF PHYSICS

Towards a Biography of the Ether Theodore Arabatzis (invited - abstract).....	187
<i>Il Nuovo Cimento</i> in the Changing Landscape of Physics: A Network-Historical Analysis Roberto Lalli (invited - abstract).....	188
Franco Selleri Revealed: What his Unpublished Archives Said Luigi Romano (abstract)	189
Looking Stereoscopically at Goethe vs. Newton: Heisenberg and Pauli on the Future of Physics Stefano Furlan, Rocco Gaudenzi	190
The Last 30 Years of Historiography of Physics: <i>Quo Vadis?</i> Antonino Drago, Enrico Giannetto	197

HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS

A Transition in the Notion of Interaction in Classical Mechanics Angelo Pagano, Emanuele V. Pagano	206
Dirac's Book of Quantum Mechanics According to Two Recent Results Antonino Drago	212
Einstein, Husserl, and Neelamkavil: Physical Unobservables via Eccences, Possibilities, and Extension-Change Ruth Castillo Ochoa	222
Italian Influence on Venezuelan Science and Physics Rafael Martín-Landrove, David Verrilli.....	230
Time in Stoic Physics Enrico Gasco	237
Gravitazione idrodinamica: suo legame con l'espansione dei corpi celesti e con i <i>redshifts</i>. Dalla storia all'oggi Giancarlo Scalera	243

HISTORY AND DIDACTICS OF PHYSICS

La formazione degli insegnanti: un urgente impegno a cui assolvere Marisa Mich elini (invited - abstract)	252
History of Physics for Physics Education: Challenges, Opportunities and Research Directions Matteo Leone (invited)	253
Il ruolo della storia nella formazione in Fisica: motivazioni e prospettive future. Una discussione introduttiva Francesca Monti (invited)	263
Enhancing Students' Understanding of "Science in the Making" within a Historical Perspective Monica Tombolato	273
Laboratorio "povero" di storia della scienza: un'esperienza in DAD Matteo Torre (abstract)	279
Principles of Physics for Philosophers Carlo Cosmelli	280
«Non ci basta studiare le cose nei libri; vogliamo guardarle nel libro vivo della natura». Francesco De Sanctis propone per tutti l'educazione esperienziale Pietro Cerreta	284
 EARLY MODERN ASTRONOMY: COSMOLOGICAL MODELS FROM KEPLER TO BOSCOVICH	
Kepler's <i>De stella nova</i> (1606) on the Nature and Motions of the "Celestial Novelties" Dario Tessicini (invited - abstract)	292
The Legacy of Clavius: Giovanni Paolo Lembo's Reaction to Galileo's <i>Celestial Novelties</i> (1610-15) Luis Miguel Carolino (invited - abstract)	293
La polemica Riccioli-Borelli-Angeli e la deviazione dei gravi in caduta Maria Teresa Borgato (invited)	294
Understanding, Disseminating, and Interpreting Kepler: The Role of Giovanni Battista Riccioli and the Law of Orbits Flavia Marcacci (invited)	307
Representing the Truth: The Case of a Jesuit Astronomer and a Jesuit Polymath Ivana Gambaro	317
La storia <i>sulla</i> Luna Valeria Zanini	325
How Do Celestial Bodies Interact? Looking for Kepler's Astronomical Physics on a Page of his <i>Epitome</i> Anna Maria Lombardi	331
The Dream of Kepler: A Retrospective Work on the Human Side of the Scientist Luisa Lovisetti	337

Kepler’s Astronomy: An Interplay between Kinematics and Dynamics Paolo Bussotti	343
---	-----

Boscovich on Orbit Determination for Comets and Planets (1746-1785) Luca Guzzardi (abstract).....	350
---	-----

SCIENTIFIC INSTRUMENTS

Skilled Scientific Instrument Makers in Rome in the 19th Century: The Lusvergh Family Roberto Mantovani (abstract)	352
--	-----

L’inventario degli astrolabi in Italia. Descrizione del progetto e primi risultati Giancarlo Truffa.....	353
--	-----

Le Sfere Planetarie di Giove, Venere, Luna e Sole & Ottava sfera nei Musei Civici di Vicenza: note relative al loro ritrovamento ed aspetti storico-didattici descrittivi Attilio Giovanni Carolo	361
---	-----

The KN3000 Accelerator and the History of the Nuclear Physics in Florence in the Last Three Decades of the Past Century through a Museum Itinerary Mariaelena Fedi, Samuele Straulino	367
---	-----

SCIENTIFIC MUSEUMS

Behind the Exhibit: Displaying Science and Technology at the National Museum of Science and Technology “Leonardo da Vinci” in Milan Elena Canadelli (invited - abstract).....	375
---	-----

The New History of Physics Museum in Padua - Exploring the Potentialities of a University Physics Collection Sofia Talas (invited - abstract)	376
---	-----

Visiting the Museo della Specola in Palermo through Virtual and Augmented Reality Laura Daricello, Laura Leonardi, Ileana Chinnici, Manuela Coniglio, Donatella Randazzo, Salvatore Speciale.....	377
--	-----

Scientific Collections and Preventive Conservation Anna Giatti (abstract).....	384
--	-----

SCIENCE COMMUNICATION AND ITS HISTORY

Divulgazione e comunicazione dell’astronomia a Napoli: da Ernesto Capocci ai <i>social media</i> Mauro Gargano, Amata Mercurio.....	386
---	-----

An Astronomical Card Game: Contents, Circulation and Public Ilaria Ampollini.....	394
---	-----

“Second Star to the Right” - A Cultural Project to Catch the Public Interest towards the History of Astronomy, Promoting Art and Cultural Heritage Alessandra Zanazzi, Laura Daricello, Chiara Di Benedetto, Caterina Boccato	402
---	-----

The History of Astronomy, <i>fil rouge</i> of the INAF guide “Palermo. Second star to the right” Maria Luisa Tuscano.....	408
---	-----

La sinestesia musica-colore alla luce di vecchie e nuove tecnologie	
Laura Franchini, Silvana von Arx.....	414

Introductory Remarks

L'organizzazione del XLI Congresso Nazionale della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia ha richiesto la presa in carico di decisioni importanti a causa del perdurare, seppur in maniera meno problematica, dell'emergenza sanitaria dovuta alla pandemia da Covid 19. Infatti, a differenza di tante altre società, il Consiglio Direttivo della SISFA ha optato per una organizzazione "ibrida" del congresso, con interventi sia in presenza – in completa sicurezza – che a "a distanza", nonostante le ovvie complicazioni sul piano organizzativo. Tale decisione è stata motivata soprattutto dalla volontà di voler riprendere, almeno in una certa misura, una interazione "dal vivo" tra i vari studiosi, la cui mancanza è stata avvertita pesantemente negli ultimi tempi sia in termini di "produttività scientifica" che anche sul piano culturale, e che solo in parte è stata arginata dall'utilizzo di tecnologie appropriate. Come sede del Congresso, il Museo dei Mezzi di Comunicazione di Arezzo (MUMEC) è sembrata poi una scelta ideale per avviare tale "esperimento", sia per la cortesissima disponibilità del fondatore e nostro socio Fausto Casi e della direttrice Valentina Casi, che qui ringraziamo molto sentitamente, che per le diverse celebrazioni che hanno illuminato l'anno 2021.

Innanzitutto, infatti, la ricorrenza del settimo centenario della morte di Dante Alighieri ha fatto nascere l'esigenza di organizzare una sessione speciale sulla scienza (meccanica e astronomia) ai tempi di Dante, che ha visto, tra gli altri illustri relatori, la presenza di un discendente diretto del sommo poeta che ha aperto il Congresso. Un'importante mostra dedicata all'orologeria al tempo di Dante e ai suoi sviluppi, organizzata al MUMEC ma molto apprezzata anche "a distanza", ha poi fatto da cornice più che appropriata all'evento.

Il 2021, però, è stato segnato anche da altre notevoli ricorrenze scientifiche, in cui spiccano innanzitutto i nomi illustri di Johannes Kepler (a 450 anni dalla sua nascita, e a 400 dalla conclusione della pubblicazione della sua *Epitome Astronomiae Copernicanae*), e del gesuita italiano Giovanni Battista Riccioli (a 350 anni dalla sua morte). L'organizzazione di una sessione speciale dedicata, in generale, ai diversi temi concernenti lo sviluppo della prima astronomia moderna è sembrata, quindi, particolarmente doverosa. Il paziente lettore potrà qui ben dar sfogo alla sua curiosità su questi temi sfogliando le pagine che seguono, trovando numerosi contributi di interesse notevole, a partire da quelli degli studiosi appositamente invitati.

Ancora, passando in rassegna tra gli studi particolari dei nostri soci che hanno mostrato tutta la ricchezza dei temi trattati dagli studiosi italiani (e non solo), e addentrandoci nella fisica del XX secolo, non si sono potute tralasciare le diverse ricorrenze della nascita di Enrico Fermi (120 anni) e Bruno Touschek (100 anni). Esse sono state opportunamente ricordate da una sessione speciale sulla storia della fisica nucleare e particellare, guidata da interventi che hanno rivelato tutto il fascino della materia.

Come è diventato costume nei congressi SISFA degli ultimi anni, non è mancata poi una sessione tematica dedicata alle connessioni tra didattica e storia della fisica, ben essendo consci del ruolo primario che la storia della disciplina svolge e può svolgere nell'efficace suo insegnamento, anche tramite l'utilizzo dei musei scientifici, la cui storia e le cui attività in Italia sono pure state adeguatamente discusse grazie anche agli interventi di ospiti ragguardevoli.

Infine, mi fa particolarmente piacere menzionare la speciale sessione sulle connessioni tra storia e filosofia della fisica, che ha visto – tra gli altri interventi – la presenza del Presidente della *European Society for the History of Science*, di cui la SISFA è socio istituzionale.

Gli storici italiani della fisica e dell'astronomia, però, hanno un motivo ulteriore per ricordare il 2021, poiché esso segna il quarantesimo anno di vita del loro gruppo nazionale, poi organizzatosi nell'attuale Società. Sebbene tale evento sia stato motivo di studio, riflessioni e approfondimenti anche in altre sedi, non potevamo non festeggiare adeguatamente il nostro "compleanno" anche (e soprattutto) al nostro congresso annuale, visto che l'avvio del detto gruppo si ebbe nel lontano marzo del 1981 proprio in quello che viene considerato come il primo convegno dell'ininterrotta serie dei nostri incontri annuali. Il XLI Congresso Nazionale si è chiuso, quindi, con una sessione del tutto speciale in cui sono stati ricordati ed esaminati criticamente i nostri primi quarant'anni, sia grazie a contributi appositamente preordinati che ad interventi liberi che hanno messo in luce – ancora una volta – tutta la ricchezza culturale della nostra Società, a partire dai ricordi e dalle analisi delle sue *memorie storiche*, ossia i protagonisti di quel lontano 1981 e di quelli che si sono aggiunti in seguito. Con piacevole sorpresa, e perfino compiacimento, si è dovuto constatare che non è stato possibile contenere negli spazi temporali di una sessione speciale del congresso l'interesse emerso per quella che sin dalla prima fase organizzativa non si è voluta connotare come una semplice commemorazione, bensì sviluppare come utile momento di riflessione comune in cui far emergere anche tutte le criticità palesatesi durante il lungo cammino. La volontà manifestata da parte di tutti i partecipanti di approfondire ancor più le nostre radici per poter governare il nostro futuro, ha benignamente "forzato" il Presidente e il Consiglio Direttivo della SISFA ad organizzare un workshop esplicitamente dedicato a tali temi. Grazie ancora una volta a pilastri della nostra Società – Fabio Bevilacqua, Ivana Gambaro e Pasquale Tucci –, tale volontà si è poi fattivamente concretizzata nei successivi tre mesi e il risultato di tale workshop potrà essere apprezzato ancor meglio da tutti dopo la pubblicazione dei suoi atti, oltre che dalla visione di tutti gli interventi registrati e trasmessi sul nostro canale YouTube, come è ormai consuetudine da alcuni anni per i nostri convegni e seminari.

Il successo di un congresso, però, non lo fanno solo gli amministratori e gli organizzatori – locali e nazionali, tecnici e scientifici – a cui va comunque sempre tutto il nostro ringraziamento più sentito, ma anche tutti i soci e i partecipanti che hanno contribuito sia con i loro interventi che con la loro semplice presenza, dal vivo o in remoto. A tutti desidero qui esprimere gli effetti più immediati della gratitudine della Società, del suo Consiglio Direttivo e mia personale.

Infine, non certamente per minore importanza, è particolarmente doveroso ringraziare i curatori dei presenti atti – Fabrizio Bònoli, Adele Naddeo e Valeria Zanini – che vedono ora la pubblicazione grazie alla loro abnegazione e scrupoloso lavoro, aiutati anche dagli amici Danilo Capecchi, Lucio Fregonese, Ivana Gambaro, Leonardo Gariboldi, Roberto Lalli, Adele La Rana e Pasquale Tucci. La memoria storica della nostra Società si realizza anche attraverso gli atti dei nostri congressi nazionali, a cui possono ora attingere tutti gli studiosi interessati. Senza ulteriore indugio, allora, non rimane altro che augurarvi una buona lettura!

Salvatore Esposito
Presidente SISFA



Collaborazione informatica:
Istituto Nazionale di Astrofisica

**41st National Congress of the
Italian Society for the History of Physics and Astronomy
Arezzo, September 6-9, 2021**

Programme

Monday, 6th September 2021

WELCOME AND INTRODUCTION

09:00 **Salvatore Esposito**

SESSION ASTRONOMICAL AND MECHANICAL KNOWLEDGE IN
DANTE'S TIMES: PART 1

Convener: **Roberto Mantovani**

09:15 **Sperello di Serego Alighieri** (invited talk) - *La cosmografia dantesca fra antico e moderno*

09:50 **Roberto Buonanno** (invited talk) - *Dante. l'eredità cosmologica di un cristiano*

10:25 **Guido Risaliti** (invited talk) - *L'astronomia nella Divina Commedia*

11:00 *COFFEE BREAK*

SESSION ASTRONOMICAL AND MECHANICAL KNOWLEDGE IN
DANTE'S TIMES: PART 2

Convener: **Roberto Mantovani**

11:15 **Marcos Danhoni Neves** (invited talk) - *La scesa all'Inferno: Dante e Galileo verso la gravitazione*

11:50 **Santori Claudio** - *Dante, scienza e tecnologia*

12:10 **Fausto Casi** - *Orologi meccanici al tempo di Dante ed i suoi sviluppi*

12:30 **Manuela Coniglio** - *Filippo Angelitti: un astronomo dantista*

SESSION SISFA PRIZE 2021: PART 1

Convener: **Salvatore Esposito**

13:00 **Anna Maragno** - *Cesare Minerbi's "Kontinuierlicher Resonatoren-Apparat nach Schaefer E. Zimmermann, Leipzig-Berlin" now part of the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara*

13:20 *LUNCH BREAK*

SESSION HISTORY AND DIDACTICS OF PHYSICS: PART 1

Convener: **Lucio Fregonese**

14:40 **Marisa Michelini** (invited talk) - *La formazione degli insegnanti: un urgente impegno a cui assolvere*

15:15 **Matteo Leone** (invited talk) - *History of Physics for Physics Education: Challenges, Opportunities and Research Directions*

15:50 **Francesca Monti** (invited talk) - *Il ruolo della Storia nella formazione in Fisica: motivazioni e prospettive future. Una discussione introduttiva*

16:25 *COFFEE BREAK*

SESSION HISTORY AND DIDACTICS OF PHYSICS: PART 2

Convener: **Adele La Rana**

16:40 **Monica Tombolato** - *Enhancing Students' Understanding of "Science in the Making" within a Historical Perspective*

17:00 **Matteo Torre** - *Laboratorio "povero" di storia della scienza: un'esperienza in DAD*

17:20 **Carlo Cosmelli** - *Principles of Physics for Philosophers*

17:40 **Pietro Cerreta** - *«Non ci basta studiare le cose nei libri; vogliamo guardarle nel libro vivo della natura». Francesco De Sanctis propone per tutti l'educazione esperienziale*

18:00 VISIT MUMEC EXHIBITION "DANTE 700"

Convener: **Fausto Casi**

Tuesday, 7th September 2021

SESSION FROM THE LATE 17TH TO 19TH CENTURY

Convener: **Valeria Zanini**

09:00 **Giulia Capecchi** - *The Musical Systems by Rameau and Tartini. Creativity and Inconsistency*

09:20 **Guglielmo Lami** - *The Combination Tones: from Tartini to Helmholtz*

09:40 **Erika Bercigli** - *Viviani. Prospettive di uno scienziato*

10:00 **Elena Corradini** - *Giovan Battista Amici, Astronomer Optician, Naturalist and Instrument Maker in Modena from 1809 to 1831*

10:20 **Lucia De Frenza** - *Francesco Zantedeschi and Macedonio Melloni: a dispute in the history of Italian electrostatics*

10:40 *COFFEE BREAK*

SESSION EARLY MODERN ASTRONOMY: COSMOLOGICAL MODELS
FROM KEPLER TO BOSCOVICH: PART 1

Convener: **Pasquale Tucci**

11:00 **Dario Tessicini** (invited talk) - *Kepler's De stella nova (1606) on the Nature and Motions of the "Celestial Novelties"*

11:35 **Luís Miguel Carolino** (invited talk) - *The Legacy of Clavius: Giovanni Paolo Lembo's Reaction to Galileo's Celestial Novelties (1610-15)*

12:10 **Maria Teresa Borgato** (invited talk) - *The Riccioli-Borelli-Angeli Controversy and the Deviation of Free-Falling Bodies*

12:45 **Ivana Gambaro** - *Representing the Truth: The Case of a Jesuit Astronomer and a Jesuit Polymath*

13:05 *LUNCH BREAK*

SESSION EARLY MODERN ASTRONOMY: COSMOLOGICAL MODELS
FROM KEPLER TO BOSCOVICH: PART 2

Convener: **Ivana Gambaro**

14:30 **Flavia Marcacci** (invited talk) - *Understanding, Disseminating, and Interpreting Kepler: Riccioli and the three Laws of Planetary Motion*

15:05 **Valeria Zanini** - *The History on the Moon*

15:25 **Anna Maria Lombardi** - *How do Celestial Bodies Interact? Looking for Kepler's Astronomical Physics on a Page of his Epitome*

15:45 **Luisa Lovisetti** - *The Dream of Kepler: A Retrospective Work on the Human Side of the Scientist*

16:05 **Paolo Bussotti** - *Kepler's Astronomy: An Interplay between Kinematics and Dynamics*

16:25 **Luca Guzzardi** - *Boscovich on Orbit Determination for Comets and Planets (1746-1785)*

16:45 *COFFEE BREAK*

SESSION SISFA PRIZE 2021: PART 2

Convener: **Salvatore Esposito**

17:00 **Luigi Renna** - *Bruno Pontecorvo: Dalle scoperte di via Panisperna alle prospezioni petrolifere dell'Oklahoma*

17:15 **Valentina Bottanelli** - *Astronomy in the Jesuit Mission to Ming China*

17:30 SISFA MEMBERS' GENERAL ASSEMBLY

21:00 SOCIAL DINNER

Wednesday, 8th September 2021

SESSION HISTORIOGRAPHY OF PHYSICS

Convener: **Leonardo Gariboldi**

- 09:00 **Theodore Arabatzis** (invited talk) - *Towards a Biography of the Ether*
09:35 **Roberto Lalli** (invited talk) - *Il Nuovo Cimento in the Changing Landscape of Physics: A Network-Historical Analysis*
09:55 **Luigi Romano** - *Franco Selleri Revealed: What his Unpublished Archives Said*
10:15 **Rocco Gaudenzi** - *Looking Stereoscopically at Goethe vs. Newton: Heisenberg and Pauli on the Future of Physics*
10:35 **Enrico Giannetto** - *The Last 30 Years of historiography of Physics: Quo Vadis?*

10:55 COFFEE BREAK

SESSION 20TH CENTURY PHYSICS

Convener: **Luigi Romano**

- 11:10 **Leonardo Gariboldi** - *The Institute of Physics in Milan during the Fascist Regime*
11:30 **Benedetta Campanile** - *Aurorae Borealis and Cosmic Rays: From Vannevar Bush's Differential Analyzer to Digital Simulation*
11:50 **Stefano Furlan et al.** - *Alcuni aspetti della ricezione di Enrico Fermi in Unione Sovietica*
12:10 **Marco Di Mauro** - *A Look Inside Feynman's Approach to Gravitation*
12:30 **Fabrizio Pinto** - *Feynman on "Planetary Motions"*
12:50 **Adele Naddeo** - *Intertheoretic Relations, Singular Limits and Emergence: A Critical Overview of the Relation between Classical and Quantum Mechanics*

13:10 LUNCH BREAK

SESSION HISTORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS

Convener: **Angelo Pagano**

- 14:30 **Renato Angelo Ricci** (invited talk) - *L'evoluzione della fisica nucleare (dei nuclei) in Italia dopo Fermi*
15:10 **Paolo Rossi** (invited talk) - *Masters and Students: The Felici-Bartoli-Stracciati-Corbino Case*
15:45 **Nadia Robotti** (invited talk) - *"With a Source so Small to Fit in One Hand": Fermi and the Discovery of Neutron-Induced Radioactivity*
16:20 **Luisa Bonolis** - *Bruno Touschek (1921-1978): A Perspective Review of his Life and Science at the Centennial of the Birth*

16:55 COFFEE BREAK

SESSION HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS: PART 1

Convener: **Danilo Capecchi**

- 17:10 **Angelo Pagano** - *A Transition in the Notion of Interaction in Classical Mechanics*
17:30 **Antonino Drago** - *A Rational Re-Construction of Dirac's Book of Quantum Mechanics According to two Recent Results*

SESSION COMMEMORATION OF ERASMO RECAMI (1939-2021)

Convener: **Salvatore Esposito**

- 17:50 **Enrico Giannetto** (invited talk) - *Erasmus Recami: della passione della fisica*

Thursday, 9th September 2021

SESSION HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS: PART 2

Convener: **Danilo Capecchi**

- 09:00 **Ruth Castillo** - *Einstein and Husserl: An Approach to the Study of the Problem of the Unobservables in the Theory of General Relativity and Phenomenology*
09:20 **David Verrilli Hernandez** - *Italian Influence on Venezuelan Science and Physics*

SESSION SCIENTIFIC INSTRUMENTS

Convener: **Paolo Brenni**

- 09:40 **Roberto Mantovani** - *Skilled Scientific Instrument Makers in Rome in the 19th Century: The Lusvergh Family*
10:00 **Giancarlo Truffa** - *L'inventario degli astrolabi in Italia - descrizione del progetto e primi risultati*
10:20 **Attilio Giovanni Carolo** - *The Planetary Models of Jupiter, Venus, Moon and Sun and the Eighth Sphere in the Musei Civici di Vicenza: Notes on their Discovery and Descriptive Historical and Educational Aspects*
10:40 **Samuele Straulino** - *The KN3000 Accelerator and the History of the Nuclear Physics in Florence in the Last three Decades of the Past Century through a Museum Itinerary*

11:00 *COFFEE BREAK*

SESSION SCIENTIFIC MUSEUMS

Convener: **Roberto Lalli**

- 11:15 **Elena Canadelli** (invited talk) - *Behind the Exhibit: Displaying Science and Technology at the National Museum of Science and Technology Leonardo da Vinci in Milan*
11:50 **Sofia Talas** (invited talk) - *The New History of Physics Museum in Padua - Exploring the Potentialities of a University Physics Collection*
12:25 **Laura Daricello et al.** - *Al Museo della Specola di Palermo con la realtà virtuale e aumentata*
12:45 **Anna Giatti** - *Scientific Collections and Preventive Conservation*

13:05 *LUNCH BREAK*

SESSION SCIENCE COMMUNICATION AND ITS HISTORY

Convener: **Fabrizio Bònoli**

14:30 **Mauro Gargano** - *Divulgazione e comunicazione dell'astronomia a Napoli: da Ernesto Capocci ai social media*

14:50 **Ilaria Ampollini** - *Astronomy and Card-Games: Between Education and Science Popularization (18th -19th Century)*

15:10 **Alessandra Zanazzi** - *"Seconda stella a destra" - un progetto culturale per attirare l'interesse del pubblico verso la storia dell'astronomia, valorizzando l'arte e il patrimonio culturale*

15:30 **Maria Luisa Tuscano** - *The History of Astronomy, Fil Rouge of the INAF Palermo Guide: "Palermo, Second Star to the Right"*

15:50 **Laura Franchini** - *La sinestesia musica-colore alla luce di vecchie e nuove tecnologie*

16:10 *COFFEE BREAK*

SESSION HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS: PART 2

Convener: **Adele Naddeo**

16:25 **Enrico Gasco** – *Time in Stoic Physics*

16:45 **Giancarlo Scalera** - *The Earth Expansion Links with the Old Concepts of Hydrodynamic Gravitation and Tired Light*

SESSION 40 YEARS OF SISFA

Convener: **Fabio Bevilacqua**

17:15 **Fabio Bevilacqua** (invited talk) - *History of SISFA*

17:20 **Gerardo Ienna** (invited talk) - *Le radici sociali e politiche dell'istituzionalizzazione della storia della fisica in Italia*

17:40 **40 Years of SISFA** - *Free Interventions*

FINAL REMARKS AND ACKNOWLEDGMENTS

18:40 **Salvatore Esposito**

COMMEMORATION OF ERASMO RECAMI

Erasmus Recami: della passione della Fisica

Enrico Giannetto - Università di Bergamo - enrico.giannetto@unibg.it

Abstract: Here I would like to present some of my personal memories of Erasmo, relating to the period in which I was part of his group at the Physics Institute of the University of Catania in Corso Italia 57, and, through these memories, I would like to outline his most important research perspectives, its methodology, its epistemology, its concrete way of making physics. In particular, the relationships between classical and contemporary physics, between cosmology and particle physics, between causality and temporal order, the interpretation of the wave function and space-time, the problems of alternative theories will be discussed. I believe that general conclusions emerge also on the importance of the history of physics and on the relationship between theoretical physics and the history of physics.

Keywords: Erasmo Recami, History of Physics, Relationships with Theoretical Physics, Epistemology, Classical Physics, Relativity, Tachyons.

1. Introduzione: un ricordo

Parlare o scrivere di Erasmo Recami mi tocca profondamente: gli ero molto legato per l'importanza che ha avuto per me.

Avevo letto un saggio di Erasmo sulla relatività estesa ai tachioni in un grande volume celebrativo della relatività (Recami 1979a). Così, quando, a 24 anni, nel 1983, subii quella che a me sembrò una grave ingiustizia alla SISSA di Trieste dove avevo iniziato un dottorato, e avevo deciso di lasciare la ricerca in fisica teorica delle particelle elementari e nella cosmologia (e comunque di tornare a casa in Sicilia), decisi di fare un ultimo tentativo: contattai Erasmo, allora all'Università di Catania.

Mi accolse con grande calore umano: per me fu una folgorazione, che mi ridiede fiducia e mi fece continuare a lavorare in fisica teorica e cosmologia. Parlammo per 8 ore di seguito, spaziando su tutto: relatività, cosmologia, quanti, tachioni, Majorana, Sciascia, Pirandello.

Era incredibile per me, ma avevo incontrato finalmente una persona vera, una passione vera per la fisica al di là delle gerarchie accademiche.

Mi invitò così a lavorare per il suo gruppo e per 5 anni, fino al 1988 andai a lavorare con lui, viaggiando da Messina a Catania. Là collaborai subito, oltre che con Erasmo, con Daniele Maccarrone e Salvo Pappalardo e ebbi modo di crescere scientificamente anche con gli insegnamenti di Attilio Agodi, Maurizio Consoli e Paolo Castorina.

Erasmo mi diede subito da studiare i manoscritti di Ettore Majorana (Recami 1987): così, mi portò a coniugare le mie ricerche di fisica teorica delle particelle con la

storia della fisica. E nel 1984 decidemmo di creare l'unità di Catania del gruppo GNSF (Gruppo Nazionale di Storia della Fisica) del CNR, e mi mandò al congresso di Roma a presentare la domanda di adesione: in questo intento coinvolgemmo anche il compianto Salvatore Notarrigo e Angelo Pagano, con i quali iniziammo dei continui confronti sulla teoria della relatività.

In quegli anni, Erasmo mi fece capire concretamente perché Jay Orear (1925), fisico già della Cornell University, allievo di Enrico Fermi (1901-1954), all'inizio del suo testo di fisica generale, spiegava, ironicamente che «la fisica è quello che fanno i fisici la notte tardi» (Orear 1960). Mai definizione più appropriata si potrebbe dare della fisica praticata da Erasmo: ho passato molte notti a lavorare con lui nell'istituto di fisica, allora in Corso Italia 57, a parlare di Ettore Majorana e di storia della fisica, di come è fatto il mondo, delle particelle come micro-universi, a criticare le teorie fisiche tradizionali, a fare calcoli per nuove teorie e non ultime delle cose della vita.

Al di là della stanchezza fisica (per chi non aveva come lui l'abitudine di recuperare il sonno la mattina), fu un'esperienza entusiasmante e straordinaria.

Per Erasmo, la fisica era parte integrante di una cultura totale, che spaziava dalla preistoria alla numismatica, dall'archeologia alla paleontologia e alla letteratura.

A Erasmo devo veramente molto: non solo il non avere lasciato la fisica teorica e la cosmologia e l'aver iniziato a lavorare in storia della fisica e in particolare sugli inediti di Majorana, sugli strumenti e sui libri antichi dispersi negli istituti (Recami 1996), e non solo il lavorare la notte, ma anche il metodo, «folle» per gli altri, di non trascurare nessuna idea, nessuna prospettiva teorica, di tenere conto di tutte le spiegazioni possibili. Faceva fotocopia di tutti gli articoli più interessanti, più strani ed eterodossi che conservava in un immenso archivio, e, ancora oggi, pure io, continuo così. Con lui ho firmato solo tre lavori, ma la collaborazione fu molto più vasta, ed Erasmo cercò di aiutarmi a farmi avanti nella ricerca, mettendomi in contatto con altri fisici importanti, permettendomi finanziariamente di partecipare a congressi internazionali, facendomi tenere dei brevi corsi per il Dottorato di Fisica dell'Università di Catania.

Quando Erasmo decise di tornare a lavorare nella sua Lombardia, all'Università di Bergamo, la frequenza dei nostri incontri si diradò, ma restammo sempre in contatto. E la vita, poi, mi regalò di ritrovarlo, anche con Giovanni Salesi, quando nel 2002 andai anch'io a lavorare all'Università di Bergamo: mi donò di ritrovare immutata la sua amicizia sincera, il dialogo incessante, anche fuori orario, in telefonate interminabili, la sua gentilezza d'animo, la sua signorilità, la sua generosità, la sua grande umanità. E ci siamo scritti fino agli ultimi giorni, entrambi ancora accomunati dall'esperienza della malattia del covid 19, presa in una forma molto pesante, e lo potei invitare a tenere una relazione alla sezione di Storia della Fisica del Congresso della Società Italiana di Fisica (SIF) del 2020.

2. Erasmo Recami e la passione della fisica

Erasmo Recami (1939-2021) si era laureato a Milano nel 1964, quale allievo di Piero Caldirola (1914-1984) (Recami *et al.* 1987), con il quale collaborò a più riprese in ri-

cerche sulle interazioni gravitazionali e nucleari forti, sul concetto di tempo e di causalità, nonché di storia della fisica (Caldirola, Recami 1975, 1977), seguendone in qualche modo le orme quale “scienziato umanista”. Questo è forse il modo più profondo di caratterizzare l’attività eclettica di Erasmo, che cercava di mettere insieme cultura umanistica e cultura scientifica.

Erasmo fu docente dal 1968 al 1992 all’Istituto di Fisica dell’Università di Catania, e poi fino al 2009 all’Università di Bergamo.

I suoi contributi più importanti sono legati alla fisica teorica e alla storia della fisica (Recami 2016). Elaborò un’originale estensione della teoria della relatività speciale, che comprendeva la possibile esistenza di tachioni e di corrispondenti sistemi di riferimento superluminali (Recami 1978) (Recami 1986) (Recami, Giannetto 1985) (Giannetto *et al.* 1986) e che però preservava l’ordine temporale e il principio di causalità (Caldirola, Recami 1978). L’idea rinascimentale di una corrispondenza fra microcosmo e macrocosmo, dell’universo come un poema di metafore fisiche reali, ispirò la sua teoria delle particelle come micro-universi (Recami 1979b), ovvero degli adroni come buchi neri di una cosiddetta *strong gravity*. Si tratta di una teoria delle interazioni nucleari forti sulla base del principio ispiratore della teoria della relatività generale, in cui le interazioni gravitazionali vengono inglobate in una struttura crono-geometrica non-euclidea di uno spazio-tempo quadridimensionale curvo: così il confinamento dei quark negli adroni è ricompreso come effetto di una curvatura microscopica dello spazio-tempo.

Queste prospettive certamente eterodosse di Erasmo si inseriscono comunque nel contesto di un effettivo rispetto del formalismo delle teorie della relatività speciale e generale. Tuttavia, le opere più produttive di Erasmo sono quelle legate allo studio, alla valorizzazione e alla pubblicazione di gran parte del patrimonio dei manoscritti inediti di Ettore Majorana, che così sono stati resi disponibili a tutta la comunità scientifica internazionale (Baldo *et al.* 1987) (Esposito *et al.* 2003) (Esposito, Recami 2006) (Esposito *et al.* 2008) e dimostrano la profonda fecondità delle ricerche di storia della fisica per la fisica teorica.

3. Erasmo Recami: la fisica, la storia e l’epistemologia

Come Orear, Erasmo aveva una concezione realmente pragmatica della fisica: la fisica era, prima ancora di una scienza, un modo di pensare e un modo di vivere. La fisica era il suo farsi, soprattutto la notte, ed era più in generale il suo farsi storico: per questo, Erasmo faceva ricerca sia in fisica sia in storia della fisica. La fisica era una disciplina, allo stesso tempo, di rigore e di libertà, perché storicamente e individualmente la comprensione della Natura liberava dai presupposti metafisici e dai pregiudizi quotidiani, portando ad un modo mai convenzionale di pensare e di vivere.

La fisica era l’apertura della mente a trecentosessanta gradi e mai una conoscenza certa e definitiva che faceva degli assiomi delle sue teorie dei dogmi incontrovertibili. La fisica si presentava così nella sua storia non solo come la scienza normale accettata

dalla comunità dei fisici nella sua maggioranza, ma piuttosto come l'insieme di tutte le prospettive alternative che continuamente si creano e si contrappongono.

La ricostruzione storiografica di Thomas Kuhn che individuava periodi di normalità e poi di crisi (Kuhn 1962) era troppo schematica e semplicistica per Erasmo ed era possibile confutarla fattualmente. La conoscenza della fisica era così prima di tutto la conoscenza di tutte le teorie formulate sincronicamente e diacronicamente e di tutti i corrispondenti esperimenti, che, in ogni momento della storia, falsificavano la metateoria di Kuhn.

Il metodo di ricerca di Erasmo consisteva così, prima di tutto, nella costruzione di un archivio storico: mi ha insegnato a seguire il suo esempio, che era quello di un archivio veramente immenso, allora realizzabile solo attraverso fotocopie dei testi più rilevanti. Questo metodo ha conseguenze sulla pratica, oltre che della fisica, della storia della fisica: la storia non si poteva fermare alla ricostruzione degli sviluppi di un paradigma dominante, ma deve riconsiderare tutte le teorie create in alternativa, tutte le possibili piccole varianti nelle premesse teoriche che portano a quadri globali teorici divergenti secondo un'evoluzione temporale della teorizzazione fisica che può essere fornita solo da una dinamica non-lineare, caotica che costituisce la complessità della storia e della fisica. In particolare, Erasmo era non solo consapevole della possibilità di usare una pluralità di scritture matematiche per formulare le teorie fisiche, già notata da Henri Poincaré (Poincaré 1902), ma anche della loro possibile non-equivalenza concettuale per la comprensione della realtà fisica: per esempio, non solo della possibilità di formulare la teoria della relatività con i quaternioni per la rappresentazione dei quadrivettori, ma anche di possibili riformulazioni delle teorie fisiche in termini di una matematica «finita» alternativa. Negli anni passati a Catania, abbiamo avuto dei lunghi confronti sulla matematica costruttiva, allora analizzata anche nella storia della fisica da parte del collega e amico Antonino Drago (Drago 2017).

Tenere conto di tutte le alternative teoriche che costituiscono delle potenziali micro-rivoluzioni continue nella storia della fisica conduceva Erasmo a un anarchismo epistemologico più profondo di quello di Paul Feyerabend (1970), legato alla messa in questione solo dell'effettiva applicazione del metodo scientifico: anche restando all'interno della metodologia sperimentale e matematica della fisica, per Erasmo non c'è alcuna certezza univoca a priori della conoscenza scientifica. Tuttavia, l'esito non ebbe mai per Erasmo il carattere di una mera decostruzione filosofica della scienza come in Feyerabend, ma piuttosto lo portò, in uno spirito costruttivo, a una grande libertà, epistemologicamente consapevole e creativa nella pratica della fisica teorica attraverso l'uso di metafore assolute e costitutive di nuove teorie (Blumenberg 1960) (Boyd, Kuhn 1979): le teorie di Erasmo sono positivamente e consapevolmente vicine a "dipinti" o a "poemi" fisico-matematici.

La storia della fisica diventa così essenziale alla fisica teorica: la pratica storica non diverge così dalla pratica teoretica, ma piuttosto converge. Si può essere storici della fisica e fisici teorici allo stesso tempo, e l'essere storici della fisica è parte dell'essere fisici teorici: comprendere teoricamente la Natura in maniera profonda comporta la conoscenza della storia delle teorie della Natura.

In questa prospettiva, si spiega la ricerca storica sulla vita e sull'opera di Ettore Majorana, che Erasmo ha portato avanti più che parallelamente alla sua attività di fisico teorico. Erasmo fu il primo, dopo Edoardo Amaldi (1966), ad occuparsi seriamente di Ettore Majorana e dalla famiglia ebbe accesso alle sue carte e lettere: fu Erasmo a dare a Leonardo Sciascia (1975) documenti e informazioni. Erasmo fu il primo ad occuparsi delle lezioni di Majorana a Napoli (Baldo *et al.* 1987) e mi mandò a Napoli a curare la loro pubblicazione con Bruno Preziosi (1987).

Al di là dei suoi lavori storici e della pubblicazione degli inediti più rilevanti, in cui poi ebbe grande parte Salvatore Esposito, Erasmo pubblicò, già dagli inizi della sua indagine storica, dei lavori di fisica teorica legati a Majorana: in particolare, una ricerca sull'equazione d'onda per il fotone (Mignani *et al.* 1974). Questo lavoro di Erasmo portò a tutta una serie di sviluppi, e in particolare mi fa piacere ricordare una nuova formulazione dell'elettrodinamica quantistica (QED) e della cromodinamica quantistica (QCD), nonché una nuova interpretazione dei campi quanto-relativistici (Giannetto 1985a) (Giannetto 1985b).

La teoria di Erasmo, che prevede l'introduzione dei tachioni come particelle che si muovono a velocità superluminale, è una "relatività estesa": cioè, nella sua costruzione, rifacendosi implicitamente a Niels Bohr (Giannetto 2004), Erasmo ha tenuto conto di un principio epistemologico di corrispondenza che fa sì che la nuova teoria si riduca in un certo limite alla teoria della relatività speciale di Einstein.

Epistemologicamente, il principio di corrispondenza assicura una continuità nella discontinuità del cambiamento teorico. Ma non è tutto: per evitare i paradossi causali per i tachioni, Erasmo ha introdotto un cosiddetto principio di "reinterpretazione" che evita la trasmissione d'informazione nel passato, che, da un lato, conduce alla necessità dell'esistenza dell'antimateria, e, dall'altro, tiene conto della simmetria CPT della teoria quanto-relativistica dei campi: le particelle che viaggiano paradossalmente all'indietro nel tempo sono reinterpretate come antiparticelle. Così, alcuni principi quantistici sono inglobati nella teoria classica della relatività estesa: questo è anarchismo epistemologico. Insieme a Erasmo e a Daniele Maccarrone e altri ci occupammo della possibile interpretazione tachionica di esperimenti controversi sui neutrini (Giannetto *et al.* 1986), coniugando la teoria dei tachioni alla fisica quanto-relativistica delle particelle elementari.

L'epistemologia di Erasmo è quindi tesa alla ricomprensione della discontinuità operata dalla fisica quantistica all'interno di una fisica classica relativistica estesa, ma in una maniera non riduzionistica, cioè inglobando vari principi quantistici.

Erasmo, riprendendo alcune intuizioni di Caldirola, cercò anche di introdurre la quantizzazione del tempo all'interno di una teoria classica, tenendo conto del cronone (Farias, Recami 2010). Superando la teoria del tempo come un continuo di istanti, Erasmo permette di salvare la realtà fondamentale del tempo fisico.

Lo stesso tentativo di Erasmo (Recami 1979a) (Recami 1979b) di trattare le particelle come micro-universi, in base a un principio di corrispondenza interpretato ontologicamente come in Pauli (Giannetto 2004), aveva l'obiettivo di unire la fisica teorica quanto-relativistica delle particelle come campi con la cosmologia relativistica, o addirittura di riformularla come una cosmologia microscopica, che in qualche modo antici-

pava i temi della futura *quantum cosmology*. Si trattava quindi di comprendere il confinamento dei quark negli adroni, come anche la non-validità del principio della libertà asintotica della quantum *chromodynamics*, in termini di una teoria formulata in uno spazio-tempo quadridimensionale curvo non-euclideo con l'inglobamento delle interazioni nucleari forti nella cronogeometria: rientra in questa stessa prospettiva epistemologica di ricomprendere la teoria quantistica all'interno di una teoria classica relativistica di campo unificato al livello della struttura spazio-temporale microscopica e macroscopica.

Le prospettive eterodosse di Erasmo, seppure spesso considerate dichiaratamente eretiche e avversate da altri fisici, non avevano mai il carattere regressivo di un mero ritorno alla fisica del passato, ma piuttosto hanno costituito dei tentativi di nuove sintesi teoriche di grande interesse, che si presentano come un grande affresco di una Natura mai riducibile a macchina come nella concezione meccanicistica, mai comprensibile in termini di una mera razionalità basata sul calcolo, ma piuttosto di una Natura che si manifesta in una immaginazione creatrice che anche l'umanità deve sviluppare per poterla comprendere profondamente, facendo della scienza un'arte teorica, matematica e sperimentale.

Erasmo aveva un'immaginazione creatrice straordinaria, si era presi nel vortice travolgente delle sue ideazioni e delle sue teorie fisiche e ci ha lasciato una grande eredità: un nuovo modo di fare fisica con una grande consapevolezza storica e una grande apertura epistemologica.

Grazie, Erasmo!

Bibliografia

- Amaldi E. (1966). *La vita e le opere di Ettore Majorana*. Roma: Accademia dei Lincei.
- Baldo M., Mignani R., Recami E. (1987). *Catalogo dei manoscritti scientifici inediti di E. Majorana*, in Preziosi B. (a cura di), *Ettore Majorana, Lezioni all'Università di Napoli*. Napoli: Bibliopolis, pp. 175-195.
- Blumenberg H. (1960). *Paradigmen zu einer Metaphorologie*, in *Archiv für Begriffsgeschichte*, vol. VI. Bonn: Bouvier; traduzione italiana di M. V. Serra Hatsberg, introduzione e cura di E. Melandri, *Paradigmi per una metaforologia*. Bologna: Il Mulino.
- Boyd R., Kuhn T. (1979). *La metafora nella scienza*, Milano: Feltrinelli.
- Caldirola P., Recami E. (a cura di) (1977). *Storia della Fisica del Novecento*, in *Scienza e Tecnica del Novecento*, vol. I-II. Milano: Biblioteca della EST-Mondadori; già apparso Caldirola P., Recami E. (a cura di) (1975). *Sinossi di Storia della Fisica: Il Novecento*, in *Scienziati e Tecnologi Contemporanei*, vol. III. Milano: Mondadori, pp. 212-629.
- Caldirola P., Recami E. (1978). "The Concept of Time in Physics: Considerations about the Physical Time". *Epistemologia*, 1, pp. 263-304.
- Drago A. (2017). *Dalla storia della fisica alla scoperta dei fondamenti della scienza*. Roma: Aracne.

- Esposito S., Majorana E. jr., van der Merwe A., Recami E. (a cura di) (2003). *Ettore Majorana: Notes on Theoretical Physics*. Dordrecht: Kluwer; ristampa (2010). Berlin: Springer.
- Esposito S., Recami E., van der Merwe A. Battiston R. (a cura di) (2008). *Ettore Majorana – Unpublished Research Notes on Theoretical Physics*. Heidelberg; Springer.
- Esposito S., Recami E. (a cura di) (2006). *Ettore Majorana – Appunti inediti di Fisica teorica*. Bologna: Zanichelli.
- Farias R.H.A., Recami E. (2010). *Introduction of a Quantum of Time (“chronon”), and its Consequences for the Electron in Quantum and Classical Physics*, in *Advances in Imaging and Electron Physics*, vol. 163. Amsterdam: Elsevier Academic Press, pp. 33-115.
- Feyerabend P.K. (1970). *Against Method. Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, in *Analyses of theories and methods of physics and psychology*, vol. 4. Minnesota studies in the philosophy of science, pp. 17-130; ristampa (1975). London: New Left Books; traduzione italiana di L. Sosio, Giorello G. (a cura di) (1979). *Contro il metodo. Abbozzo di una teoria anarchica della conoscenza*. Milano: Feltrinelli.
- Giannetto E. (1985). “A Majorana-Oppenheimer Formulation of Quantum Electrodynamics”. *Lettere al Nuovo Cimento*, 44, pp. 140-144.
- Giannetto E. (1985). “A Majorana-Dirac-like Equation for a Non-Abelian Gauge Field”. *Lettere al Nuovo Cimento*, 44, pp. 145-148.
- Giannetto E., Maccarrone G.D., Mignani R., Recami E. (1986). “Are Muon-Neutrinos Faster-Than-Light Particles?”. *Phys. Lett. B*, 178, pp. 115-120.
- Giannetto E. (2004). *L’interpretazione della meccanica quantistica di Wolfgang Pauli*, in Tassani I. (a cura di), *Quanti Copenhagen?* Cesena: il Ponte Vecchio, pp. 73-102.
- Kuhn T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press; traduzione italiana di A. Carugo (1969). *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Torino: Einaudi.
- Mignani R., Recami E., Baldo M. (1974). “About a Dirac-like Equation for the Photon, According to Ettore Majorana”. *Lettere al Nuovo Cimento*, 11, pp. 568-572.
- Orear J. (1960). *Fundamental Physics*. New York: Wiley; ristampe (1967), (1970); traduzione italiana di N. Tomasini Grimellini e F. Strada (1970). *Fisica Generale*, vol. I-II-III. Zanichelli, Bologna, vol. I, p. 2.
- Poincaré H. (1902). *La science et l’hypothèse*. Paris: Flammarion; traduzione italiana di M. Borchetta, Boniolo G. (a cura di) (1989). *La scienza e l’ipotesi*, in *Opere epistemologiche*, vol. I-II. Abano (Padova): Piovan, vol. I, pp. 51-234; traduzione italiana, Sinigaglia C. (a cura di) (2003). *La scienza e l’ipotesi*. Milano: Bompiani.
- Preziosi B. (a cura di) (1987). *Ettore Majorana. Lezioni all’Università di Napoli*. Napoli: Bibliopolis.
- Recami E. (a cura di) (1978). *Tachyons, Monopoles, and related topics, Proceedings of the Erice First Session of the Interdisciplinary Seminars, on “Tachyons and Related Topics”* (Erice, September 1-15, 1976). Amsterdam: North-Holland.
- Recami E. (1979). *Alcune possibili estensioni della Relatività: Parte A, Un nuovo “approccio” alla Relatività Speciale: Particelle, Antiparticelle e tachioni; Parte B,*

- Altre estensioni della Relatività*, in Pantaleo M. (a cura di), *Centenario di Einstein, 1879-1979: astrofisica e cosmologia, gravitazione, quanti e relatività negli sviluppi del pensiero scientifico di Albert Einstein*. Firenze: Giunti Barbera, pp. 1021-1097.
- Recami E. (1979). *Particelle Elementari Come Micro-Universi*, in *Annuario '79, Enciclopedia EST-Mondadori*. Milano: Mondadori, pp.59-64.
- Recami E., Giannetto E. (1985). "Tachyon Mechanics and Tachyon Gravitational Interaction". *Lettere al Nuovo Cimento*, 43, pp. 267-273.
- Recami E. (1986). "Classical Tachyons and possible applications". *Rivista del Nuovo Cimento*, 9 (6), pp. 1-178.
- Recami E. (1987). *Il caso Majorana: epistolario, documenti, testimonianze*. Milano: Mondadori; Quarta edizione (2011). Roma: Di Renzo.
- Recami E., Mignani R., Santilli R.M. (a cura di) (1987). *Selected Papers of Piero Caldirola*, I-IV. Nonantum (Mass.): Hadronic Press.
- Recami E., Maccarrone G.D., Barone E., Dorata A., Giannetto E., Salesi G. (a cura di) (1996). *La fisica e i suoi strumenti*. Catania: Università di Catania.
- Recami E. (2016). *Pubblicazioni di Erasmo Recami: Una selezione/ Selected Papers by Erasmo Recami*. Università di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate.
- Sciascia L. (1975). *La scomparsa di Majorana*. Torino: Einaudi.

40 YEARS OF PHYSICS

40 anni di storia della fisica in Italia

Fabio Bevilacqua - Dipartimento di Fisica, Università di Pavia -
fabio.bevilacqua@unipv.it

Salvatore Esposito - INFN Sezione di Napoli - salvatore.esposito@na.infn.it

Abstract: During the XLI SISFA conference, a debate was held on the institutionalization of the history of physics in the Physics Departments in Italy. The authors of this short contribution were the coordinators of the debate, which was attended by numerous historians. Interest in the initiative led to the planning of a broader version of the discussion to be held in December 2021.

Keywords: Storia, Fisica, Astronomia, Italia, Origini

Nel 2021 la Società Italiana di Storia della Fisica e dell'Astronomia (SISFA) festeggia il suo quarantesimo compleanno. La Società, oggi membro istituzionale della European Society for the History of Science (ESHS), è nata nel 1981 come Gruppo Nazionale di Storia della Fisica (GNSF) durante due convegni (in aprile e in ottobre) al Collegio Ghislieri di Pavia, diventando poi (1999) la Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia.

Una caratteristica particolare è che la Società è nata e si è sviluppata nei Dipartimenti di Fisica delle università italiane. Dal 1981 gli storici della SISFA hanno pubblicato ampiamente e hanno prodotto oltre 1500 contributi negli *Atti* della serie ininterrotta dei congressi nazionali annuali.¹ In questo 40° anniversario raccontiamo brevemente come l'esperienza scientifica, culturale e istituzionale della storia della fisica sia nata e si sia sviluppata in Italia, e presentiamo una breve discussione dei suoi rapporti con la comunità dei fisici italiani.

I fisici italiani hanno dato contributi professionali pionieristici alla storia della fisica. Nel 1839, il primo congresso degli scienziati italiani fu inaugurato con una panoramica storica. Dopo l'unificazione del paese nel 1861, nel quadro di una istituzionalizzazione delle scienze fisiche (la Società Italiana per il Progresso delle Scienze (SIPS) nacque nel 1862, mentre la Società Italiana di Fisica (SIF) nel 1897), apparvero molti lavori bibliografici con una prospettiva storica, tra cui nel 1881 un ampio volume (con 3000 articoli di 700 autori) sui contributi italiani all'elettricità. La realizzazione delle raccolte di opere di Galileo (1890-1909) e Volta (1918-1976) deve molto agli storici di formazione scientifica. Nel 1929 il fisico Antonio Garbasso organizzò a Firenze la prima mo-

¹ Vedi: www.sisfa.org/

stra nazionale di storia della scienza, con più di 9000 reperti inviati da 80 città. Nel 1930 fu fondato a Firenze quello che oggi è il “Museo Galileo”, seguito poco dopo a Pavia dal “Museo per la Storia dell’Università”. Vasco Ronchi, assistente di Garbasso e fondatore e direttore dell’Istituto Nazionale di Ottica – autore di un’interessante *Storia della luce* (1939) – fu presidente della “Union internationale d’histoire des sciences” tra il 1953 e il 1970, e nel 1959 divenne il primo direttore di *Physis*, la rivista italiana di storia della scienza destinata a proseguire il lavoro di Aldo Mieli.

Nel 1941 fu fondata a Pisa la “Domus Galilaeana” – l’Istituto Italiano di Storia della Scienza. Il primo direttore fu il fisico Sebastiano Timpanaro (senior); il fisico e storico Giovanni Polvani ne fu il presidente dal 1955 al 1970 e questo giocherà un ruolo importante nella professionalizzazione degli storici della fisica italiani. Infatti, Polvani ha sempre legato la fisica alla storia della fisica e ha agito per superare il divario tra le due culture, discipline umanistiche e scientifiche. Tra i suoi studi storici ricordiamo una biografia scientifica di Alessandro Volta apparsa nel 1942 e due volumi su Ottaviano Mossotti nel 1948 (con Luigi Gabba). Polvani ricoprì diversi ruoli istituzionali: presidente della SIF (1947-1961) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) (dal 1960) che riformò per includere le scienze umane. Organizzò le celebrazioni per il 400° anniversario della nascita di Galileo e due importanti conferenze sulla storiografia della scienza nel 1966-67. Un nuovo piano di studi fu approvato nel 1961 per le lauree in Fisica (sono ben noti gli aspetti di unificazione e centralizzazione dei curricula) ed è certamente merito di Polvani se furono introdotte (anche se non come corsi obbligatori) Storia della Fisica ed Epistemologia. La promulgazione ufficiale afferma che: «il programma di Storia della Fisica deve ovviamente includere l’evoluzione del pensiero fisico e delle teorie fisiche e non semplicemente la successione di fatti e scoperte. Potrebbe essere introdotto gradualmente, secondo la formazione di docenti qualificati».

Per raggiungere questo obiettivo la Domus Galilaeana ha iniziato un’attività pionieristica di formazione che deve molto a Ludovico Geymonat, che ha tenuto la prima cattedra italiana di Filosofia della Scienza e ha contribuito a istituire le prime cattedre di Storia della Scienza (nelle facoltà umanistiche). Il successo delle opere di Geymonat e la sua attività editoriale furono fondamentali per modificare il panorama culturale del paese. Molti di coloro che sono diventati i nuovi storici accademici italiani della fisica hanno partecipato alle attività di Geymonat alla Domus nel 1973-75.

Una seconda tendenza rilevante è più strettamente connessa con la ribellione degli studenti del 1968-69. Nei dipartimenti di fisica molti fisici iniziarono a criticare le ricerche in corso e guardarono alla fisica con preoccupazioni sociali ed epistemologiche. Le conferenze internazionali della SIF all’inizio degli anni Settanta affrontarono queste nuove prospettive. Il problema in questione era la relazione tra l’oggettività della fisica e la sua storicità. In Italia, all’inizio degli anni Settanta, ebbe luogo una guerra culturale tra internisti ed esternisti: i primi seguivano Karl Popper (e, più tardi, Imre Lakatos) e i secondi Thomas Kuhn. Fino alla fine del decennio, ci furono pochissimi corsi di Storia della Fisica.

Guido Tagliaferri, assistente di Polvani (dal 1945) tenne la cattedra di Fisica Sperimentale a Milano dal 1960. Nel 1979 passò sulla cattedra di Storia della Fisica, la prima in Italia. Nel 1982, dopo i due convegni pavesi del 1981, Tagliaferri – autore di un’interessante *Storia della Fisica Quantistica* – divenne il primo presidente (1982-86) del neonato GNSF, poi affiliato al CNR e infine trasformato in SISFA. Sezioni del Gruppo furono istituite (all’inizio) a Bologna, Genova, Lecce, Milano, Napoli, Palermo, Parma, Pavia, Roma, e successivamente si aggiunsero altri studiosi. Nuove sezioni nel 1983 furono create a Torino e Padova, seguite da Firenze e Catania. Il sostegno finanziario del CNR era esiguo, anche se triplicato tra il 1982 e il 1988. Ogni sezione poteva contare inoltre sul sostegno finanziario del Ministero della Pubblica Istruzione, fornito a livello locale (attraverso i dipartimenti di fisica) e nazionale (attraverso il Gruppo). Più tardi, la riorganizzazione del sistema di sostegno finanziario nazionale ha penalizzato la Storia della Fisica a favore di Gruppi di ricerca più numerosi.

Da un punto di vista accademico, comunque, la storia della fisica è cresciuta all’interno dei dipartimenti di fisica: due cattedre, a Roma e a Genova, furono istituite negli anni Ottanta e intorno al Duemila gli storici della fisica universitari erano circa ottanta, anche se poi è mancato quasi completamente il ricambio generazionale.

La maggior parte dei progetti di ricerca si sono concentrati sulla storia della fisica del XIX e XX secolo, ma alcuni anche su periodi più antichi. Dal 1985 al 1994 il gruppo ha tenuto la sua conferenza nazionale annuale durante i congressi nazionali della SIF. Degno di nota è stato il rapporto con la Società Europea di Fisica (EPS): il Gruppo Interdivisionale di Storia della Fisica è nato nel 1989 grazie a un’iniziativa italiana. Anche nella Division of History of Science and Technology (DHST) della International Union of History and Philosophy of Science gli storici della fisica italiani ebbero un ruolo.

Nei primi anni Duemila, purtroppo, ci fu una diminuzione delle attività della SISFA dovuta soprattutto alla mancanza di nuove posizioni universitarie. Tuttavia, dal 2012 è iniziato un progressivo miglioramento, favorito da un rinnovato entusiasmo, un nuovo uso delle tecnologie digitali, un nuovo sito web, un gruppo di discussione online, una newsletter, un premio per tesi e dissertazioni in storia della fisica e una rapida pubblicazione degli Atti, grazie a una collaborazione con varie *University Press* italiane. Importante è stato anche il consolidamento finanziario della Società, così come la collaborazione con gruppi di ricerca più forti: INFN (fisica nucleare), INAF (astrofisica), e società come AIF (insegnanti di fisica), SISM (storia della matematica), SILFS (logica e filosofia della scienza), SAIt (astronomia), SIA (archeoastronomia), SISS (storia della scienza). La SISFA ha trovato un partner internazionale ideale nella ESHS.

Gli storici della fisica italiani hanno sempre dedicato grande attenzione a due campi “applicativi”: l’eredità scientifica culturale e la didattica della fisica. Diverse collezioni universitarie di fisica sono state restaurate, analizzate ed esposte in sistemi museali universitari; archivi e collezioni di libri antichi sono stati conservati e catalogati. Il CNR e il Ministero dell’Istruzione hanno fornito un sostegno finanziario rilevante per molti anni. In molti dipartimenti di fisica, e in molte università, i risultati di questo impegno possono essere visitati e studiati. Gli storici della fisica si sono anche dedicati all’applicazione della disciplina alla didattica della fisica. Da un lato, hanno analizzato

teoricamente le implicazioni di un tale approccio, e quindi hanno fondato organizzazioni nazionali e internazionali, conferenze, riviste. Dall'altro lato, hanno tenuto corsi per gli insegnanti, sia come parte dei programmi di formazione che di aggiornamento. I risultati sono stati sorprendentemente positivi, sia a livello istituzionale che a livello dei singoli insegnanti, molti dei quali hanno riorganizzato le collezioni di vecchi strumenti delle loro scuole e prodotto ricostruzioni pedagogiche orientate storicamente.

Dopo quarant'anni possiamo dire che una gran parte degli obiettivi sono stati raggiunti. La storia della fisica italiana dal XVIII secolo in poi è stata analizzata in dettaglio, così come alcuni aspetti dei dibattiti internazionali. Sono stati dati contributi alla nascita di istituzioni internazionali, riviste, centri di ricerca. Il patrimonio culturale scientifico italiano è stato restaurato, analizzato, esposto. La storia della fisica è stata applicata con successo per rinnovare la didattica della fisica. Nonostante l'esiguo numero di posizioni accademiche oggi disponibili, i membri della SISFA sono ancora molto attivi, dimostrando passione e professionalità nel loro lavoro volto a superare il divario tra le due culture. Continuano a dimostrare l'importanza di fare storia con un forte background tecnico-scientifico e di contribuire a discussioni approfondite nel dibattito internazionale

(Una versione leggermente diversa di questo contributo è apparsa in inglese sulla rivista della ESHS *Centaurus* ed è disponibile al link: <https://doi.org/10.1111/1600-0498.12422>; una versione più ampia è stata pubblicata, in italiano, su *Il Nuovo Saggiatore* 37, 2021, 1-2, pp. 39-50; www.ilnuovosaggiatore.sif.it/article/260).

Le origini politico-istituzionali del Gruppo Nazionale di Storia della Fisica

Gerardo Ienna - University of Verona; University of Maryland -
gerardo.ienna@univr.it

Abstract: This preliminary investigation aims at outlining the main political-institutional reasons that led to the establishment of a unitary National Group for the History of Physics in Italy. I will show how the process of institutionalization of the history of physics in Italy has been animated by a double tension: on the one hand, the political-epistemological debate on the neutrality and non-neutrality of science and, on the other hand, the epistemological-institutional dispute between historians of science with a humanistic background and historians of physics with a scientific education.

Keywords: Italian Science Wars, Radical Science Movements, Ludovico Geymonat.

1. Introduzione

È, mi pare, un dato di fatto che oggi l'insieme degli storici della fisica non è un sottoinsieme degli storici della scienza; né gli studi di storia della fisica sono un sottoinsieme degli studi di storia della scienza, come sembrerebbe dover essere (Bergia 1985, p. 427).

In un recente contributo comparso su *Il Nuovo Saggiatore* in occasione del quarantesimo anniversario della SISFA, Fabio Bevilacqua e Salvatore Esposito hanno tracciato una traiettoria di lunga durata – dalle origini ottocentesche ai giorni nostri – del processo di emergenza della storia della fisica, e del suo progressivo consolidamento come disciplina autonoma, in Italia (Bevilacqua, Esposito 2021).

Fra le poste in gioco di tale ricostruzione un ruolo importante è ovviamente ricoperto dall'identificazione delle tappe fondamentali del processo di istituzionalizzazione accademica della storia della fisica nel contesto italiano. Da questo punto di vista, uno snodo cardinale è infatti identificato nella costituzione del Gruppo Nazionale di Coordinamento per la Storia della Fisica – battezzato tramite l'organizzazione di due convegni a Pavia nell'aprile e nell'ottobre del 1981 – e della sua istituzionalizzazione anche in seno al CNR nel 1982 sotto il nome di Gruppo Nazionale di Storia della Fisica (GNSF).¹

¹ Nel 1999 il GNSF si trasformerà nella Società italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia.

Dal canto mio, voglio proseguire questa linea di ricostruzione storiografica focalizzando l'attenzione sulla ricerca delle ragioni storico-sociali che hanno condotto tale disciplina ad avere uno statuto decisamente peculiare nel campo accademico italiano. Da un punto di vista epistemologico, è ragionevole considerare la storia della fisica come una sotto-disciplina della più ampia storia della scienza. In Italia però, da un punto di vista istituzionale la prima ha avuto, nel suo processo di accademizzazione, una relativa autonomia rispetto alla seconda. In particolar modo sono interessato ad indagare il tipo di relazione che ha intrattenuto la storia della fisica con alcune discipline “gemelle” come la storia della scienza e la filosofia della scienza praticate nei dipartimenti di indirizzo umanistico.

Tale progetto di ricerca è chiaramente di una portata più ampia di quanto possibile riportare nelle brevi pagine a disposizione in questi atti. Per tale ragione in questa sede focalizzerò la mia attenzione esclusivamente al contesto politico-istituzionale attorno alla creazione del GNSF, all'organizzazione dei due primi convegni di Pavia e alla valutazione del loro valore storico-culturale in senso ampio.

2. Gli obiettivi intellettuali e istituzionali del Gruppo Nazionale di Storia della Fisica

Come si è accennato, nel 1981 il Gruppo Nazionale di Coordinamento per la Storia della Fisica aveva organizzato a Pavia due incontri significativi per il processo di istituzionalizzazione della storia della fisica in Italia. Il primo dei due, quello tenutosi in aprile, è stato di natura principalmente organizzativa, di cui, per tale ragione, non sono mai stati pubblicati gli atti. Il secondo, quello dell'ottobre del 1981, aveva invece assunto già delle tonalità convegnistiche effettive e più mature. Gli interventi presentati in questo incontro, pubblicati in appendice al volume *Atti del III Congresso Nazionale di Storia della Fisica* (Bevilacqua, Russo 1983b), testimoniano il vivido interesse di una parte dell'allora giovane generazione di fisici verso la storia della propria disciplina.

Questi incontri e il processo di istituzionalizzazione interno al CNR sono stati largamente riconosciuti come «un momento di svolta decisiva» nel processo di professionalizzazione della storia della fisica in Italia (Bergia 1985, p. 431) (Bevilacqua, Russo 1983a, p. 9) (Petruccioli 1985) (Bevilacqua, Esposito 2021, pp. 42-43). Nel corso del decennio immediatamente precedente, infatti, varie testimonianze riportano un largo incremento del numero di corsi in storia della fisica² all'interno delle facoltà o istituti di fisica (Bergia 1985) (Baracca *et al.* 2017, pp. 11-12) (Bevilacqua, Esposito 2021, p. 42). La costituzione di un GNSF rappresentò la possibilità di collegare fra loro in ma-

² Su iniziativa di Giovanni Polvani – presidente della SIF dal 1947 al 1961, della Domus Galileiana dal 1955 al 1970 e del CNR dal 1960 al 1965 – vennero attuate una serie di iniziative di rinnovamento in ambito culturale volte a superare, secondo l'espressione usata da Snow, il divario fra “due culture” (Snow 1977). Grazie al suo ruolo istituzionale, nel 1961 vennero inseriti i corsi di storia della fisica e di epistemologia e metodologia nei curricula dei corsi di laurea in fisica, fu fra gli ispiratori della riforma del 1963 che permise di introdurre le discipline umanistiche nel CNR e trasformò la Domus Galileiana da entità museale a istituto di formazione capace, dunque, di costituire una generazione di storici della fisica ben istruiti (Bevilacqua, Esposito 2021, pp. 41-42) (De Sanctis, Oleandri 2013, p. 13).

niera orizzontale queste esperienze di ricerca e insegnamento che sarebbero altrimenti rimaste isolate nei rispettivi contesti locali. Il nucleo iniziale era infatti stato suddiviso in unità corrispondenti ai poli universitari di Bologna, Lecce, Milano, Napoli, Palermo, Parma, Pavia e Roma a cui si aggiunsero, in breve tempo, anche quelle di Firenze, Torino e Padova (Bergia 1985, p. 431; Bevilacqua, Esposito 2021, p. 42).

Già nel 1985, Silvio Bergia, nel sintetizzare lo stato dell'arte delle ricerche in storia della fisica in Italia, aveva diagnosticato alcune delle problematiche relative alla specificità dello statuto di tale disciplina nel nostro paese alle quali il gruppo avrebbe dovuto far fronte.³ La prima fra queste era rappresentata dal mancato riconoscimento da parte dei fisici sperimentali dell'attività di ricerca in storia della fisica. Quest'ultima all'epoca faceva parte del raggruppamento di fisica generale e a buona parte dei membri del GNSF era stata negata l'idoneità al ruolo di associati perché le pubblicazioni in campo storico non vennero riconosciute come tematicamente pertinenti a tale settore. A questo si aggiungeva inoltre che nelle linee guida per la ristrutturazione dei corsi di laurea in fisica prodotte dalla SIF in quegli anni compariva la proposta di abolizione del corso in storia della fisica (Bergia 1985, pp. 426-427). Nonostante stesse muovendo i suoi primi passi verso una sua effettiva professionalizzazione, l'esistenza di questa disciplina sembrava, allo stesso tempo, essere già in pericolo.

La seconda problematica riguardava invece la natura della composizione interna della comunità degli storici della fisica che era attraversata da varie polarizzazioni teoriche. Il GNSF era in larga parte popolato da fisici senza una diretta formazione umanistica. Solo alcuni di questi avevano avuto una doppia formazione umanistica e scientifica o, quanto meno, un perfezionamento in storia o filosofia della scienza. Una minima parte di questa comunità proveniva invece da studi umanistici, per la maggior parte dei casi poi effettivamente integrati con una formazione scientifica. Come è stato notato recentemente da Pasquale Tucci, nel contesto italiano vi furono svariate resistenze ai tentativi di inserimento degli studiosi di area umanistica negli istituti e dipartimenti di fisica (finalizzati ad assumere gli insegnamenti di carattere storico) (SISFA 2021). Si riteneva infatti che per insegnare la storia della fisica fosse necessario aver avuto una formazione scientifica.

Come evidenziato nella citazione posta in esergo, la storia della fisica intratteneva, per tale ragione, un rapporto problematico con gli studi di storia della scienza praticati nelle facoltà umanistiche. Questo aspetto aveva generato un paradosso epistemologico-disciplinare ben illustrato nell'introduzione di Sandro Petruccioli agli atti del V Congresso:

Notificato il divorzio dalla filosofia e dichiarata la singolarità della storia della fisica all'interno della trazione storiografica della scienza, in quanto disciplina di esclusiva competenza di studiosi di formazione scientifica, ne è scaturita una tesi metodologica a dir poco bizzarra. Lo storico può ricavare i propri strumenti di indagine, specie se i suoi interessi sono rivolti alle vicende degli ultimi due secoli, solo dalla prassi concreta e consolidata della ricerca scientifica; di conseguenza, la sua formazione

³ Il già citato (Bergia 1985) è il testo di un intervento ad una delle assemblee del GNSF, pubblicato poi negli atti del V Congresso di Storia della Fisica (Petruccioli 1985, p. 207).

potrebbe avvenire solo con un tirocinio di un certo numero di anni effettuato in un laboratorio di fisica dello stato solido o passato a risolvere sofisticati problemi di teoria delle stringhe (Petruccioli 1985, p. 202).

Nei loro rispettivi bilanci critici, tanto Bergia quanto Petruccioli, concordavano sul fatto che la risoluzione di questa tensione disciplinare sarebbe stata alla base dei successivi sviluppi della storia della fisica in Italia. Bergia aveva sostenuto infatti che: «Questa separatezza, in specifico tra storia della fisica e storia della scienza, nuoce all'uno e all'altro settore, e si deve mirare ad un suo superamento» (Bergia 1985, p. 428), cui faceva eco Petruccioli avvertendo che: «Altrimenti potremmo anche assistere tra qualche anno, quando si saranno affievoliti anche gli entusiasmi dei più giovani, al compiersi di una parabola e all'archiviazione di questa "esperienza"» (Petruccioli 1985, p. 202).

3. Pavia 1981: un trattato di non belligeranza o uno stallo post-ideologico?

Non è però mia intenzione entrare nel dettaglio di quanto accaduto nel corso delle giornate di Pavia, quanto piuttosto evidenziarne il valore simbolico-culturale e risalire a ritroso alle sue radici politiche, sociali e accademiche. Come si arriva dunque alla situazione descritta nel paragrafo precedente?

Bergia, nel suo già citato contributo del 1985, aveva evidenziato come gli incontri di Pavia avevano rappresentato la fine di una stagione di accesi conflitti teorici e metodologici: «[...] nel nostro congresso di Pavia è stato ratificato, per il bene comune, un trattato di pace, di non belligeranza» (Bergia 1985, p. 434). In questo passo l'autore fa riferimento a quelle che ho chiamato in un altro contributo le "Italian Science Wars", ovvero quell'ampia serie di *querelles* sviluppatesi nel nostro paese a partire dagli anni '70 e connotate dall'acceso dibattito relativo alla neutralità/non-neutralità politica della scienza e della tecnica (Pancaldi 2010) (Ienna 2020). Tale controversia – tanto accademica quanto pubblica – è stata connotata dallo scontro epistemologico e politico fra le posizioni di Ludovico Geymonat (e della sua scuola milanese), le posizioni del filosofo e storico della scienza Paolo Rossi (e della sua scuola) contro un nutrito e variegato gruppo di scienziati e militanti dell'estrema sinistra d'ispirazione sessantottesca.⁴ Il fulcro del dibattito era la definizione dei rapporti fra scienza e società e, contestualmente, l'analisi del ruolo delle ideologie nella scienza.

Le discussioni interne al campo della fisica teorica prima,⁵ e della storia della fisica poi, erano state di certo un innesco dell'emergere di tale dibattito di carattere più generale che, successivamente, si estese infatti anche ad altre branche disciplinari come la medicina, la biologia, l'ecologia, la matematica, l'informatica, etc. (Guerraggio 2010)

⁴ A tali prese di posizione si aggiungevano anche quelle espresse in contesti più o meno occasionali da una serie di autorevoli intellettuali come Lucio Colletti, Lucio Lombardo Radice, Umberto Cerroni, Giovanni Berlinguer, Valentino Gerretana, e molti altri (Ciccotti *et al.* 2011, pp. 43-45) (de Ceglia 2012) (Cassata 2016) (Baracca, Del Santo 2017).

⁵ Ho analizzato in un mio altro contributo come le discussioni politico-epistemologiche interne alla SIF nei primi anni '70 abbiano generato le precondizioni per l'emergere di tale dibattito sulla non neutralità del sapere scientifico (Ienna 2020). Su questo punto si veda anche (Baracca *et al.* 2017).

(Baracca *et al.* 2017) (Ienna 2020). Particolarmente attivi nel campo della fisica erano, da un lato, gli studiosi di area geymonattiana che difendevano l'attualità del materialismo dialettico⁶ e, dall'altra, una giovane generazione di fisici che, in controtendenza, proponevano una critica agli usi e abusi della scienza e della tecnologia nei sistemi capitalistici avanzati sulla base di un'interpretazione storico-materialistica⁷ (Ienna 2020). Tale stagione di conflitti intellettuali, ha avuto, al contempo, un effetto determinante nel processo di costituzione e consolidamento della storia della fisica come disciplina autonoma in Italia.

Per ovviare alle necessità accademiche descritte nel paragrafo precedente, la comunità degli storici della fisica italiani era costretta ad avviare un processo di unificazione finalizzato a far fronte ai rischi della messa in discussione dell'esistenza istituzionale della disciplina.

Mi sembra indubbio che sia il segnale che un certo processo di omogeneizzazione ha avuto luogo al suo interno [del GNSF], e mi sembra indubbio che ciò sia stato permesso in primo luogo da un atteggiamento meno intollerante nei confronti dello schieramento una volta avversario, e da qualche, sia pur cauta, apertura. Il primo passo verso la convivenza civile si consegue ammettendo il diritto di cittadinanza a idee contrastanti con le proprie (Bergia 1985, p. 434).

Il trattato di pace e non belligeranza fra le fazioni sopra menzionate – nonostante fosse emersa spontaneamente – era stato però, percepito e letto in maniera differente dai partecipanti al GNSF. Ad esempio, un testimone come Petruccioli – all'epoca d'area geymonattiana – sembrava valutare positivamente il “cessate il fuoco” di Pavia come l'inizio di una fase di consolidamento disciplinare.

In questi ultimi anni [...] nella storia della fisica italiana si è fatta molta ricerca e “si è discusso poco”. O meglio, è stata superata la fase, sempre un po' disordinata e molto spesso segnata da ingenuità filosofiche, in cui una disciplina agli esordi tenta di identificare i precursori, di affinare le metodologie e di precisare gli obiettivi generali. Sembra davvero che la storia della fisica sia uscita finalmente dalla “stagione assembleare” e si sia avviata verso un ulteriore consolidamento culturale e istituzionale. Per questo, risulterebbe del tutto fuori luogo e perfino sterile se da parte nostra si cogliesse quest'occasione per riaprire antiche ferite metodologiche. Sicuramente questo sarebbe il risultato se ci proponessimo [...] di operare una classificazione dei vari contributi sulla base di quegli schemi – sempre più sterili e approssimativi – di cui si sono serviti gli epistemologici per etichettare (talvolta per pilotare) le diverse tendenze della storiografia della scienza (Petruccioli 1985, p. 201).

⁶ Ad esempio è possibile menzionare autori, fra coloro direttamente impegnati nel dibattito sull'attualità del materialismo dialettico Silvano Tagliagambe, Enrico Bellone, Giulio Giorello, e fra gli storici della fisica di area geymonattiana Pasquale Tucci, Fabio Bevilaqua, Sandro Petruccioli, Carlo Tarsitani, etc.

⁷ Fra questi è possibile menzionare il gruppo romano de *L'ape e l'architetto* o autori come Angelo Baracca, Arcangelo Rossi, Silvio Bergia, Elisabetta Donini, Tito Toniatti, Bruno Vitale e molti altri. Su posizioni pacifiste è invece da menzionare Antonino Drago. Questi autori animarono i dibattiti scaturiti su riviste come *Sapere* e successivamente *Testi e contesti*.

Ciò ha, senza dubbio, contribuito a stemperare antiche diffidenze probabilmente alimentate anche, in un clima culturale di per sé non certo favorevole, da quegli scienziati che anni addietro usarono la storia della scienza come terreno privilegiato per illustrare le loro concezioni ideologiche o politiche sul rapporto scienza-società (Petruccioli 1985, p. 202).

Per altri testimoni come Bergia – afferente invece alle file dei difensori della tesi della non-neutralità del sapere scientifico – tale trattato di non belligeranza sembrava piuttosto una mera eliminazione dall’agenda disciplinare della storia della fisica di quelle questioni che avevano creato le tensioni politico-epistemologiche sopramenzionate. Tale processo di spostamento dell’asse degli interessi della disciplina verso una sfera post-ideologica non eliminava però la centralità e la problematicità teorica di quelle questioni tutt’altro che risolte.

Con un pizzico di provocazione lancerò qui l’ipotesi che il trattato di non belligeranza stipulato ha comportato anche una reciproca autocensura nel dibattito. Se per autocensura intendiamo l’aver rinunciato alla polemica aspra [...] non possiamo altro che compiacercene. Mi sembra invece meno apprezzabile che non sia continuata una discussione civile sui temi centrali del dibattito che ha infuocato gli ultimi tre lustri. Poiché dallo scontro non è uscita vittoriosa una delle due parti [...], né vi è stato alcun pellegrinaggio a Canossa da parte di uno dei contendenti, né, d’altra parte, è nata una sintesi superiore, la situazione è solo di stallo e il patrimonio di riflessioni stimolanti anche nel fuoco della discussione polemica rischia di andare gradualmente perduto (Bergia 1985, p. 435).

Come si è potuto notare dalle pagine precedenti, vi sono almeno due trame storiche fra loro intrecciate. Da un lato, la traiettoria che risale alle origini di quello che Petruccioli ha chiamato il “divorzio dalla filosofia” e la “singolarità della storia della fisica all’interno della trazione storiografica della scienza” e, dall’altro, quella che ripercorre l’emergere delle controversie politico-epistemologiche delle *Italian Science Wars*. Queste due linee hanno condotto al processo di costituzione della comunità disciplinare degli storici della fisica italiani come disciplina relativamente autonoma rispetto alla storia della scienza praticata nelle facoltà d’indirizzo umanistico.

6. Conclusioni

In questo breve contributo, dal carattere del tutto esplorativo e preparatorio, ho messo in luce quali siano state le principali tensioni politico-istituzionali che hanno condotto al costituirsi di un unitario gruppo di coordinamento nazionale in storia della fisica. La necessità da parte di questa comunità disciplinare di vedersi riconosciute le proprie attività di ricerca come valide per il conferimento di abilitazioni, incarichi e cattedre ha condotto al tentativo di superamento delle controversie politico-epistemologiche che avevano caratterizzato le *Italian Science Wars* degli anni ’70. Il patto di non belligeranza stipulato a Pavia nel 1981 ha segnato contestualmente lo spostamento del dibattito verso un orizzonte post-ideologico. Nel corso degli anni ’70 le polarizzazioni interne a

questa comunità in fase di emergenza erano state principalmente caratterizzate dalla tensione fra coloro che seguivano la metodologia del *Diamat* (come gli studiosi di area geymonattiana) e coloro che invece si proponevano di seguire i principi del materialismo-storico (come la giovane generazione dei fisici impegnati nel dibattito sulla non-neutralità della scienza). A tale tensione si aggiungeva quella fra gli storici della scienza con formazione umanistica rispetto agli storici della fisica di formazione scientifica (rimasta un fulcro anche negli anni successivi).

Resta aperta la necessità di una riflessione più approfondita sugli eventi che hanno caratterizzato i dieci anni precedenti ai primi incontri di Pavia. Su questo punto verterà una mia più estesa relazione che presenterò al convegno dedicato ai 40 anni della SISFA del 2-3 dicembre 2021. In quel contesto analizzerò in maniera dettagliata delle vivaci *querelles* politico-epistemologiche degli anni '70. Tale linea di ricerca permetterà di far luce sulla peculiarità dello statuto disciplinare della storia della fisica in Italia e risalire alle origini del divario disciplinare con gli storici della scienza delle facoltà umanistiche.

Ringraziamenti

Questo saggio è stato scritto nell'ambito dell'ERC consolidator project *Early Modern Cosmology* (Horizon 2020, GA 725883), ospitato dall'Università Ca' Foscari di Venezia, e nell'ambito del progetto MSCA-GF dal titolo *Militant Science. European Physicists and the Emergence of Transnational Radical Science Movements* (MISHA) di cui sono titolare (Horizon 2020; GA 101026146). Entrambi i progetti sono stati finanziati dall'Unione Europea tramite il programma Horizon 2020 Research and Innovation Programme. Tengo inoltre a ringraziare Massimiliano Badino, Melinda Baldwin, Angelo Baracca, Fabio Bevilacqua, Giovanni Ciccotti, Francesco Paolo De Ceglia, Elena Gagliasso, Giovanni Jona-Lasinio, Fabio Lusito, Fabio Minazzi, Pietro Daniel Omodeo, Sandro Petruccioli, Silvano Tagliagambe e Simone Turchetti con cui ho avuto modo di discutere degli argomenti contenuti in questo articolo.

Bibliografia

- Baracca A., Bergia S., Del Santo, F. (2017). “The Origins of the Research on the Foundations of Quantum Mechanics (and Other Critical Activities) in Italy during the 1970s”. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 57, pp. 66-79.
- Baracca A., Del Santo F. (2017). “La giovane generazione dei fisici e il rinnovamento delle scienze in Italia negli anni Settanta”. *Altrionovecento*, 34 [online]. URL: <http://www.fondazionemicheletti.it/altrionovecento/articolo.aspx?id_articolo=34&ti_po_articolo=d_saggi&id=357#sdfootnote19anc>.
- Bergia, S. (1985). “Ricerche di storia della fisica in Italia”. *Rendiconti dell'Accademia nazionale delle scienze detta dei XL*, IX (parte 2), pp. 425-40.

- Bevilacqua F., Esposito. S. (2021). “SISFA: 40 years of History of Physics in Italy”. *Il Nuovo Saggiatore*, 37 (1-2), pp. 37-48.
- Bevilacqua F., Russo A. (a cura di) (1983a). *Atti del III Congresso Nazionale di Storia della Fisica* (Palermo 11-16 Ottobre 1982), vol. 1. Palermo: Centro Stampa Facoltà Ingegneria.
- Bevilacqua F., Russo A. (a cura di) (1983b). *Atti del III Congresso Nazionale di Storia della Fisica* (Palermo 11-16 Ottobre 1982), vol. 2. Palermo: Centro Stampa Facoltà Ingegneria.
- Cassata F. (2016). “La Scomparsa di Majorana e il dibattito sulle ‘due culture’ in Italia”. *TODOMODO Rivista internazionale di studi sciasciani. A Journal of Sciascia Studies*, VI, pp. 51-66.
- Ciccotti G., Cini M., de Maria M., Jona-Lasinio G. (2011). *L’Ape e l’Architetto. Paradigmi scientifici e materialismo storico*. Milano: Franco Angeli de Ceglia, F.P. (2012). “Il fattaccio dell’Accademia” [online]. *MATEpristem*. URL: <<http://matematica.unibocconi.it/articoli/il-fattaccio-dell%E2%80%99accademia>>.
- De Sanctis E., Oleandri A. (2013). *Società Italiana di Fisica. 115 anni e oltre*. Bologna: Società italiana di fisica.
- Guerraggio A. (a cura di) (2010). *Il '68 e la scienza in Italia*, vol. 27–28, Pristem/Storia. Milano: Centro Pristem, Università Bocconi.
- Ienna G. (2020). “Fisici italiani negli anni '70. Fra scienza e ideologia”. *Physis*, LV (1-2), pp. 415-442.
- Pancaldi G. (2010). *Purification Rituals: Reflections on the history of science in Italy*, in *Impure Cultures. Interfacing Science, Technology and Humanities*. Bologna: CIS.
- Petruccioli S. (1985). “Introduzione”. *Rendiconti dell’Accademia nazionale delle scienze detta dei XL*, IX (parte 2), pp. 201-207.
- SISFA (2021). *40 anni di SISFA: interventi e conclusione, XLI Congresso Nazionale SISFA* (Arezzo 6-9 settembre 2021) [online]. URL: <<https://youtube.com/watch?v=v0egmxjEClg>>.
- Snow C.P. (1977). *Le due culture*. Milano: Feltrinelli.

SISFA PRIZE 2021

Cesare Minerbi's "Kontinuirlicher Resonatoren-Apparat nach Schaefer. E. Zimmermann, Leipzig-Berlin" Now Part of the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara

Anna Maragno - Università degli Studi di Ferrara - anna.maragno@unife.it

Abstract: The "Kontinuirlicher Resonatoren-Apparat nach Schaefer" preserved in the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara consists of a box containing four resonators developed by K. L. Schaefer and manufactured by E. Zimmermann. This apparatus was donated to the University in 1950 by Cesare Minerbi, "Primario" at the Arcispedale Sant'Anna of Ferrara and Professor of Medical Semeiotics. He had used it for decades of studies on acoustical diagnostics. This article aims to offer a description of the apparatus and a brief account of its history. Both Schaefer's innovative approach and the impact of his resonators on Minerbi's researches will be highlighted and investigated.

Keywords: Resonators, Hermann Helmholtz, Karl Ludolf Schaefer, E. Zimmermann, Cesare Minerbi, Acoustical Diagnostics, Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara.

1. The instrument. Schaefer resonators in the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara

A set of four resonators ("Kontinuirlicher Resonatoren-Apparat") designed by Karl Ludolf Schaefer during the first decade of the twentieth century and manufactured by E. Zimmermann¹ stands out among the most remarkable apparatuses preserved in the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara. It was a fundamental work tool for Cesare Minerbi during his thirty-year-long studies on acoustical diagnostics, that was successively donated by him to the University of Ferrara in 1950.

In addition to describing the apparatus, this article will focus on the historical development of resonators up to Schaefer's innovations and it will give an overview of Minerbi's researches.

The four extendable cylindrical resonators of painted brass are in excellent state of conservation (Fig. 1). They are kept in a wooden box (50 cm long, 19 cm wide, 9 cm high) covered in leather and lined inside with purple cloth and dark-violet velvet. On the

¹ Biographical details about the instrument-maker E. Zimmermann are nearly untraceable. It has been suggested that the "E." could correspond to "Ernst" or to "Emil" (Gundlach 1985, pp. 1-3).

top of the box an engraving reads: “Kontinuirlicher Resonatoren-Apparat nach Schaefer. E. Zimmermann, Leipzig-Berlin”.² A lid with an orifice closes each resonator at one end, while the other end is open. The four resonators have all the same diameter (6.5 cm) but different lengths. Each of them consists of two tubes of equal length: an inner and an outer tube. They can slide one into the other so that the total length of the resonator can be varied continuously. As a consequence, the instrument can resonate at different frequencies, corresponding to different tones. A millimetre scale engraved on the inner tube indicates the tones (with letters) and half-tones (with dashes) at which the instrument can be adjusted. The four cylindrical resonators cover the musical range between the tone A and c^3 in a continuous way.³ The graduated scale of the instrument is based on the assumption that the orifice is closed during its use.



Fig. 1. The “Kontinuirlicher Resonatoren-Apparat nach Schaefer E. Zimmermann, Leipzig-Berlin” owned by Cesare Minerbi and now part of the Collection of Historical Scientific Instruments of the University of Ferrara (photo credits: Anna Maragno).

2. From a shell to a medical device. A brief history of resonators up to Schaefer

The four instruments here described are referred to as “resonators”. As it will be clear below, Schaefer devices can be classified as an evolvement of Helmholtz resonators, optimised for medical uses. In order to understand the importance of this apparatus, it is

² A warning label signed by Zimmerman, kept inside the box, gives both instructions for the correct use and the calibration of the resonators.

³ Uppercase and lowercase letters to indicate the tones are here reported following the notation used by Schaefer (Schaefer 1910, p. 140). These tone ranges are marked by black rigid labels fixed on the surface of the outer cylinders: from A to g for the longer one, from $g^\#$ to $f^\#\$ for the second, from f^1 to d^2 for the third and from $d^{2\#}$ to c^3 for the smaller one.

essential to outline the main stages of the history of resonators up to Schaefer's contribution in the early years of the twentieth century.

It is plausible that the first “natural” resonator discovered by mankind in Prehistoric times was a conch seashell producing what it seemed “the sound of the sea”. As a matter of fact, the cavity of the shell acted as a resonator, damping some frequencies of the surrounding ambient noise and amplifying others. Resonators, either natural or man-made, found multiple practical applications over the centuries. Their employment in the field of architecture is of particular relevance. In Classical Antiquity it was known that resonators, crafted in the shape of “acoustic vases”, were able to improve the acoustics of outdoor theatres. This tradition passed down through the ages.

For example, ceramic vases in different number, shape and size are in fact found in many medieval religious buildings and this specific use continued on into the seventeenth century (Arns, Crawford 1995, pp. 112-119). Despite their presence in everyday life since the dawn of time, resonators as scientific instruments were absent in physics cabinets before Hermann Helmholtz's researches, carried out in the nineteenth century, when physical acoustics was establishing itself as an independent science (Brenni 1995, p. 13).

Hermann Helmholtz (1821-1894) is unanimously considered the inventor of the resonator as a scientific instrument. His resonators laid the foundations for all subsequent developments, including the ones designed by Schaefer. In the capital work *Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (1863), followed by other editions, Helmholtz put together physical acoustics and physiology of the ear and gave a detailed account of the crafting of his resonators.

The prototype consisted of a glass bottle with an open mouth and of a stretched, fastened membrane that acted as the bottom of the bottle (Helmholtz 1863, pp. 71-72). Proceeding in his studies, Helmholtz crafted experimental resonators in the form of glass or metal hollow spheres or tubes, equipped with two openings. The first opening was larger with sharp edges; the second one was smaller and funnel-shaped, since it had to be easily inserted into the ear (Helmholtz 1863, pp. 73-74). By plugging one ear and applying the funnel-shaped opening of the resonator to the other, Helmholtz found that most of the tones produced in the surrounding air were heard considerably damped, except for the proper tone of the resonator, which could be detected much more clearly (Helmholtz 1863, pp. 74-75). Interpreting the resonator as a mass-spring system, with the confined

air of density ρ in the volume V of the cavity as an acoustic spring of constant $k = \frac{\rho S^2 v^2}{V}$ and the moving air in the neck of section S as an acoustic mass $m = \rho SL$, the resonant frequency of vibration of a Helmholtz resonator is independent of its shape and is given by $f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}}$ (Fletcher, Rossing 1998, pp. 13-14), where $v = 332.260$ m/s is the value of the sound velocity at a temperature of 0 °C adopted by Helmholtz.

Crafting resonators was a difficult matter. He employed different metals and glass, but the results were unsatisfying. In 1859 Helmholtz commissioned the talented instrument-maker Rudolph Koenig (1832-1901) to construct his resonators. After his first attempts with glass resonators, Koenig started to use brass in 1865, since this material was considerably more suitable for the manufacture of these instruments (Pantalony 2005, p.

65) and could be much more easily tuned. Koenig often added shellac to the surface of his brass resonators in order to prevent corrosion and enhance their appearance (Pantalony 2009, p. 55). He developed his “own” Helmholtz cylindrical resonators, no more fixed to a single tone, but tuneable to a range from four to six tones, calling them *résonateurs à son variable*. His original idea was to craft each resonator as two tubes of equal length, one inserted into the other. Thanks to this arrangement, by extending or shortening the tubes, it was possible to change the volume of the air inside the resonator, and consequently to tune it to the corresponding different tones (Koenig 1882, p. 74).

At the beginning of the twentieth century, the devices conceived by Helmholtz and perfected by Koenig were already widespread in physical acoustics, in physiology of the ear and in music. They also became a necessary point of reference in the teaching of all these disciplines. Given the high market demand, several makers of resonators started to produce industrially made items. For our purposes it is relevant to cite Max Thomas Edelmann (1845-1913), who introduced a series of resonators with soundboards adapted to be used as an aid for auditory tests. In that period, in fact, some scholars were already experimenting with them in the fields of internal medicine (in particular, for auscultation and for percussion) and of otolaryngology.

Karl Ludolf Schaefer (1866-1931) dedicated himself to physiological acoustics and psychophysiological diseases. He studied Helmholtz and Edelmann resonators, finding a way to refine them. In the essay *Ein kontinuierlicher Resonatoren Apparat*, Schaefer explained the genesis, the production and the characteristics of his new set of resonators. He observed that, at the time he was writing, resonators seemed to have become part of the instruments of otologists. As far as Helmholtz resonators are concerned, Schaefer noted that the tones belonging to the medium-high musical range were the ones most strongly amplified. The very low and very high tones were much less reinforced. Schaefer, analysing Koenig cylindrical resonators, realised that they could not cover a large range of tones. Moreover, they were burdensome and high-priced. Edelmann apparatus, consisting of a great number of spherical resonators intended for many tones, did not solve these problems. In fact, it was unwieldy to use and too expensive to be within the reach of otologists and laboratories (Schaefer 1910, p. 138). In order to avoid designing a different resonator for each tone or half-tone of a wide musical range, which would require a huge number of instruments, Schaefer proposed a continuous or universal resonator apparatus, improved as compared to the previous models, tuneable for any desired tone between A and c³. It had to be easy to adjust, compact, accurate and comparatively cheap (Sonnenschein 1913, p. 605). To cover a great range of tones with a few cylindrical resonators, Schaefer adopted Koenig’s idea of making each instrument tuneable by using two cylinders, one that could slide into the other. Schaefer designed his “Kontinuierlicher Resonatoren-Apparat” (a set of four brass tubes of different lengths but of the same diameter) for E. Zimmermann, one of the leading manufacturers of physiological instruments on the European market during the first part of the twentieth century. Shortly after their introduction, Schaefer resonators began to be taken into consideration especially by otologists to diagnose hearing impairment or total deafness and strengthened their role as medical devices. They were not an exclusive tool for ear doctors and pneumologists:

they proved to be effective also in acoustical diagnostics, since they permitted early diagnoses. One of the most important scientists interested in this field was Cesare Minerbi.

As the century progressed, new technologies emerged in medicine and Schaefer apparatus became gradually obsolete. On the contrary, Helmholtz resonators are still widely used nowadays in several areas of application.

3. Schaefer resonators for acoustical diagnostics. The life and work of Cesare Minerbi

Cesare Minerbi (1856-1954) was a renowned physician of Ferrara, where he was born and where he worked all his life. Minerbi belonged to a well-known Jewish family. He studied Medicine and Surgery at the University of Bologna, becoming one of the favourite disciples of Augusto Murri. Soon after his graduation in 1879, he started working at the Arcispedale Sant'Anna in Ferrara, performing his duties as "Medico Primario" for almost fifty years. In 1914 he obtained the "libera docenza" in Medical Semeiotics from the Regia Università di Roma. He never stopped working, not even at the time of the Italian racial laws. His fellow citizens continued to consult him up to six months before his death.

Minerbi's studies covered various branches of medicine, such as infectious diseases (especially tuberculosis), rheumatism, pathologies of the digestive tract and of the heart. The field in which he dedicated most of his time and his efforts was acoustical diagnostics and the physical laws behind that. Shortly after Schaefer resonators became available on the market, in 1912, Minerbi bought them for his studies. The acquisition is attested in an article, published in 1914, where he explicitly declares to have bought the resonators from Guglielmo Eisentrager, in Milan (Minerbi 1914, p. 179). He was passionate about the research in this field, to which he devoted thirty years of his life. Minerbi published several articles on the subject and a monograph, *I problemi principali di acustica diagnostica generale normale e fisiologica. Studi clinico-sperimentali*, dated 1937 and co-authored with his prematurely lost son Giacomo (1886-1930), also a physician. In this book, great attention is paid to the description of the uses of Schaefer resonators for clinic experiments. Minerbi employed the apparatus to reproduce and analyse the way in which acoustic waves are created and "resound" in human lungs and in other "resonant" parts of the body.

Maybe aware of the fact that diagnostics was already following other paths, Minerbi donated his work tool, which had proved to be so precious for his researches, to the University of Ferrara on 11th March 1950, as it is attested in the "Registro Inventario dei beni infruttiferi di proprietà della R. Università 'Italo Balbo' di Ferrara".

Now didactic and science communication projects could give the possibility to highlight the importance of this apparatus, rarely found in collections of historical scientific instruments.

Acknowledgements

I wish to express my sincere gratitude to Professors P. Lenisa, M. Bresadola, G. Zini, P. Bassani Pacht, U. Thun Hohenstein for their guidance and feedback throughout my research. Responsibility for any errors or omissions lies solely with the author.

References

- Arns R.G., Crawford B.E. (1995). "Resonant Cavities in the History of Architectural Acoustics". *Technology and Culture*, 36 (1), pp. 104-135.
- Brenni P. (1995). "19th Century French Scientific Instrument Makers. VI: The Triumph of Experimental Acoustics: Albert Marloye (1795-1874) and Rudolph Koenig (1832-1901)". *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 44, pp. 13-17.
- Fletcher N.H., Rossing T.D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*, Second Edition. New York: Springer.
- Gundlach H. (1985). *E. Zimmermann - Ernst oder Emil? Ein Vademecum für Herrn Professor Wundt*, dated 22th January 1985. Universität Passau, Institut für Geschichte der Neueren Psychologie [online]. URL: <<https://www.psycharchives.org/bitstream/20.500.12034/256/1/349-1396-1-PB.pdf>> [access date: 02/06/2022].
- Helmholtz H. (1863). *Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig: Druck und Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn.
- Koenig R. (1882). *Quelques Expériences d'Acoustique par Rudolph Kœnig, Docteur en Philosophie, Constructeur d'appareils d'acoustique*. Paris: 27, Quai d'Anjou.
- Minerbi C. (1914). "Il determinismo fisico del "signe du sou". Trasmissione dei suoni e risonanza in semeiologia toraco-polmonare". *Rivista critica di Clinica Medica*, 11, pp. 161-167; 12, pp. 177-184.
- Minerbi C., Minerbi G. (1937). *I problemi principali di acustica diagnostica generale normale e fisiologica. Studi clinico-sperimentali*. Roma: Casa Editrice Luigi Pozzi.
- Pantalony D. (2005). "Rudolph Koenig's Workshop of Sound: Instruments, Theories, and the Debate over Combination Tones". *Annals of Science*, 62 (1), pp. 57-82.
- Pantalony D. (2009). *Altered Sensations. Rudolph Koenig's Acoustical Workshop in Nineteenth-Century Paris*. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer.
- Schaefer K.L. (1910). "Ein kontinuierlicher Resonatoren-Apparat". *Beiträge zur Anatomie, Physiologie, Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses*, 3, pp. 132-151.
- Sonnenschein R. (1913). "Resonators, with Special Reference to the Schaefer Apparatus". *The Laryngoscope*, 23 (5), pp. 602-606.

Bruno Pontecorvo: dalle scoperte di via Panisperna alle prospezioni petrolifere dell'Oklahoma

Luigi Renna - Università di Pisa - 26495508@studenti.unipi.it

Abstract: During his American and Canadian period between 1940 and 1947, Bruno Pontecorvo was involved with mineral and oil survey to a degree that has often been overlooked in his biographies and other research work about his studies. This essay dissects patents and papers from that period authored by Pontecorvo himself and his collaborator at Well Surveys inc. William Russell to bring into light Pontecorvo's contributions to the then newly born branch of science and technology called petrophysics, the influence that his periods in Rome with Fermi and in Paris with Curie and Joliot had on his work, and the consequences and implications of his inventions for the mining and oil industries as well as the war effort with radioactive sample prospecting in Canada to support the Tube Alloy and Manhattan projects. Towards the end we explore documented connections between Pontecorvo and the Italian conglomerate AGIP/ENI, and throw an open question (supported by hints in later publications) that might suggest similar involvement with Soviet authorities after his defection in 1950. Such connections have (and might have, respectively) introduced the neutron-gamma and neutron-neutron prospection methods to Italy, and USSR.

Astronomy in the Jesuit Mission to Ming China

Valentina Bottanelli - Università di Bologna - valentinabottanelli@gmail.com

Abstract: The representation of the physical world has historically played a crucial role in the constitution of the alterity and of inter-states relations, but it has often been neglected by anthropological studies and ethnographies. An analysis of the Jesuit mission to Ming China (1577-1644) offers an outstanding opportunity to tackle this issue.

In fact, the contextual study of both private letters and publications shows the deep influence of mathematical astronomy and cosmographies on the self-representation of missionaries as intellectuals and astronomers, on the opposition to Christianity by contrasting the penetration of Western science, and on the influence of the European scientific and astronomical revolution in the transmission of different cosmological models by the Jesuit fathers.

Furthermore, the representation of Chinese astronomy in the missionaries' accounts contributed to the creation of a new, negative image of China, that influenced the diplomatic relations between Chinese empire and European power, in particular the outcome of the first British embassy, and the academic debate until the twentieth century.

ASTRONOMICAL AND MECHANICAL KNOWLEDGE
IN DANTE'S TIMES

La cosmografia dantesca fra antico e moderno

Sperello di Serego Alighieri - sperello52@gmail.com

Abstract: Dante aveva una grande passione e conoscenza dell'astronomia, fra le pochissime cose che condivido con lui, oltre al cognome. Da uomo medioevale si trovava in mezzo fra le credenze degli antichi e le conoscenze moderne, che ha più volte anticipato, come mostrerò con alcuni esempi: la nostra Galassia, le macchie lunari e l'universo curvo, illimitato ma finito, che anticipa l'ipersfera di Einstein.

Dante. L'eredità cosmologica di un cristiano

Roberto Buonanno - Presidente SAIIt - roberto.buonanno@inaf.it

Abstract: Dante, basandosi sull'insegnamento dei filosofi greci trasmesso dagli astronomi arabi, disponeva della conoscenza cosmologica appropriata a una persona colta del suo tempo.

Nella *Commedia*, però, egli si trova nella necessità di innestare gli elementi specifici della cosmologia cristiana in quella delle sfere cristalline della tradizione greca. Si trattava di conciliare un mondo meccanico nel quale le rotazioni dei cieli avvengono essenzialmente senza ragione con un mondo nel quale tutto è determinato dalla distanza, sia fisica che ideologica, dal Creatore.

Dante si è trovato quindi a concepire una realtà nella quale lo spazio è costituito, oltre che dalle tre coordinate usuali (alto-basso, avanti-dietro, destra-sinistra), dalla nuova coordinata "virtù", cioè la distanza dal Creatore.

Esamino quindi il singolare parallelismo fra il cosmo concepito da Dante e quello einsteiniano che si rivela attraverso il semplice cambiamento fra coordinata "virtù" e coordinata "tempo".

L'astronomia nella Divina Commedia

Guido Risaliti - Università degli Studi di Firenze - guido.risaliti@unifi.it

Abstract: “Stelle” è la parola con cui si concludono tutte e tre le Cantiche dantesche. Il sistema Tolemaico è al centro della visione dell'Universo di Dante e i riferimenti astronomici sparsi nella Divina Commedia sono più di cento. Partendo da alcuni di questi bellissimi passi di poesia, entreremo nell'Universo di Dante e lo osserveremo con gli occhi degli astronomi moderni.

The Descent to Hell: Dante and Galileo Towards gravitation

Marcos Cesar Danhoni Neves - Post-Graduation Program in Science and Mathematics Education, State University of Maringá, Brazil - macedane@yahoo.com

Abstract: The problem of the Dante's well had been on Galileo's mind since the last years of the 16th century. In 1587 Galileo had produced the defence of a work by Antonio Manetti (1506) which described the "geography" and "geometry" of Dante's Inferno, against the attacks of Alessandro Vellutello (1544). Although Galilean geometry was impossible, Galileo justifies his physical discoveries by describing how bodies fall, imagining analogies among inclined planes, pendulums and, finally, discussing the immeasurable tunnel traversing the Earth. Beyond the "well" question, Galileo will summarize the Aristotelian criticisms on the immobility of the world, especially those already made by Jean Buridan and Nicole Oresme. Galileo, after the "descent into Hell", leaves it to help of the building the notion of the inertial system and, at a later time, the Newtonian universal gravitation.

Keywords: Inferno, Dante's Well, Galileo, Galilean kinematics.

1. Introduction

This paper aims to describe, reading the Canto XXXIV of Dante's Hell (Fig. 1), a kind of a mental map to Galileo Galilei's understanding of the nature of the fall of the bodies along a tunnel which crosses the Earth passing by the centre, like the story of the descend of Virgil and Dante along the centre of the planet and beyond, in a journey to the extreme points of the abyss. This journey was possible by the proposal of a thought experiment (*gedankenexperiment*), imagining the existence of a non-Aristotelian description of the fall of bodies. It was necessary to change the Aristotelian kinematics, not based upon velocities or densities of the medium surrounding, but in the new variables like space and time. Galileo says, in the voice of Salviati:

SALV. Vi gusterà il sentirlo, ma ve lo dirò poi; intanto seguitiamo. Io vi ho proposta l'osservazione di questo pendolo, acciò che voi intendiate che l'impeto acquistato nell'arco discendente, dove il moto è naturale, è per sé stesso potente a sospingere di moto violento la medesima palla per altrettanto spazio nell'arco simile ascendente; è tale, dico, per sé stesso, rimossi tutti gl'impedimenti esterni. Credo anco che senza dubitarne s'intenda, che sì come nell'arco discendente si va crescendo la velocità sino al punto infimo del perpendicolo, così da questo per l'altro arco ascendente si vadia diminuendo sino all'estremo punto altissimo [...]. Di qui parmi (discorrendo con una certa convenienza) di poter credere, che quando il globo terrestre fusse perforato per il centro, una palla d'artiglieria scendendo per tal pozzo acquisterebbe sino al centro

tal impeto di velocità, che trapassato il centro la spignerebbe in su per altrettanto spazio quanto fusse stato quello della caduta, diminuendo sempre la velocità oltre al centro con decrementi simili a gl'incrementi acquistati nello scendere; ed il tempo che si consumerebbe in questo secondo moto ascendente credo che sarebbe eguale al tempo della scesa. (Galilei 1897, p.161)

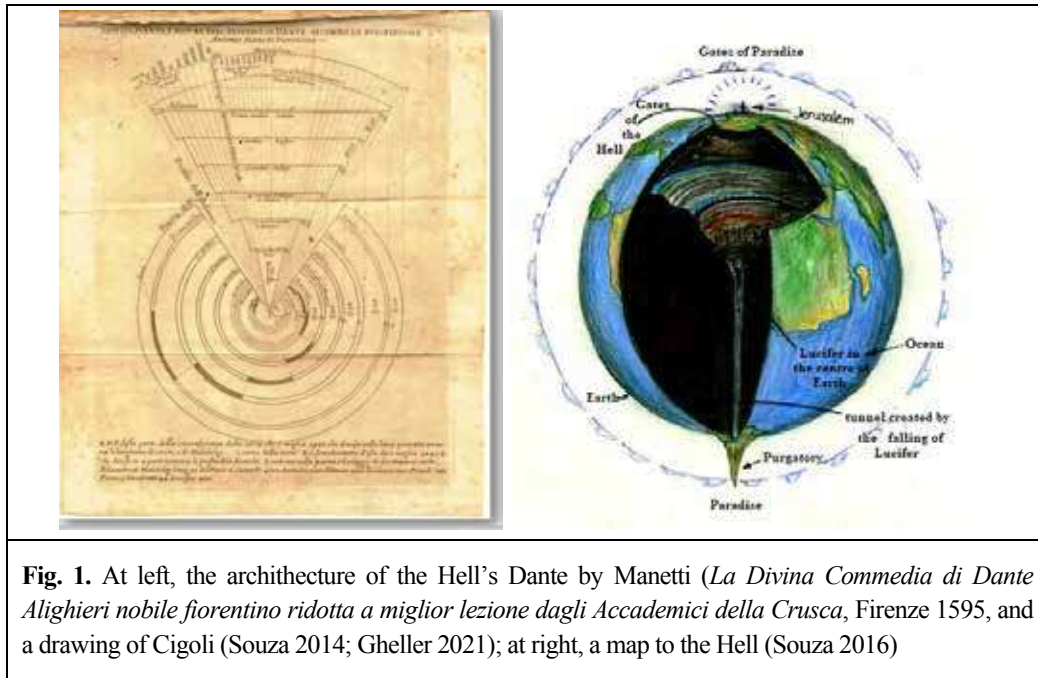


Fig. 1. At left, the architecture of the Hell's Dante by Manetti (*La Divina Commedia di Dante Alighieri nobile fiorentino ridotta a miglior lezione dagli Accademici della Crusca*, Firenze 1595, and a drawing of Cigoli (Souza 2014; Gheller 2021); at right, a map to the Hell (Souza 2016)

In principle, this kind of argument seems to be very distant from the Hell of Dante Alighieri, but, reading the *Canto XXXIV*, we can imagine something beyond the moral and poetic statements. There are some aspects of the great poem of Dante that capture the imagination of Galileo Galilei. Choosing some pieces of the verses of *Canto XXXIV* (Alighieri, 2003), we have:

“The banners of the King of Hell
 March towards us, so look ahead,”
 My Master said, “and see if you can make him out.” (3)

As when a thick fog develops,
 Or when night falls on our hemisphere,
 There in the distance appeared a mill turning the wind. (6)

I thought I saw a structure of that sort,
 Then, because of the wind, I drew behind
 My Master, as there was no other shelter. (9)

[...]

At his request, I put my arms around his neck.
 He waited for an opportunity,
 And when the wings had opened wide, (72)
 He grabbed hold of the shag on the ribs,
 And then descended from tuft to tuft

- Through the matted fur and crusts of ice. (75)
 When we were where the thigh
Meets the pelvis, at the point where the haunch is thickest
My Master, with labor and strain, (78)
 Brought his head around to where he'd had his legs,
And grabbed hold of the hair like one climbing.
And so I thought we were returning to Hell. (81)
 [...]
 He then came up through an opening in the rock,
And put me on the edge to sit.
His ingenious footwork brought him up to me. (87)
 I looked up thinking I would see
Lucifer as I had left him,
But I saw his legs suspended above me. (90)
 [...]
 “Before I lift myself from the abyss,
My Master,” I said when I had risen,
“Pull me from the error that is vexing me a bit: (102)
 Where is the ice? And this one here, how is he suspended
Like this - upside-down? And how, in such a short time,
Has the sun journeyed from evening to morning?” (105)
 He replied, “You imagine you still
Are still on the other side of the center, where I took hold
Of the pelt of the evil worm who pierces the world. (108)
 You were on the other side while I descended.
When I turned myself, you passed the point
Where weights from everywhere are drawn. (111)
 You are now beneath the other hemisphere,
The one opposite the one that the great dry land
Covers, and beneath whose Zenith (114)
 The Man who was born and lived without sin was done.
You have your feet upon a small sphere
That forms the other face of Judecca. (117)
 It is morning here when it is evening there.
And this one, who made a ladder for us with his pelt,
He is still ensnared as he was before. (120)
 He fell from Heaven on this side.
And the land, which before had stood out here,
Made a veil from the sea out of fear, (123)
 And came to our side of the planet. Perhaps
To escape from him, it left empty
That which appears on this side, and fled upwards.” (126)
 Down there, as far from Beelzebub
As one can be within his tomb,
There is a place not known by sight, but by the sound (129)
 Of a little stream that descends there
Through the hollow of a rock, one tunneled
By its winding course and soft incline. (132)

Onto that hidden road my Master and I
 Entered to return to the shining world.
 And without care to having any rest, (135)
 We climbed up, he first and I second,
 So far along that I saw some of the beautiful things
 Heaven holds, all through a round hole. (138)
 And through there we exited to once again see the stars. (139)

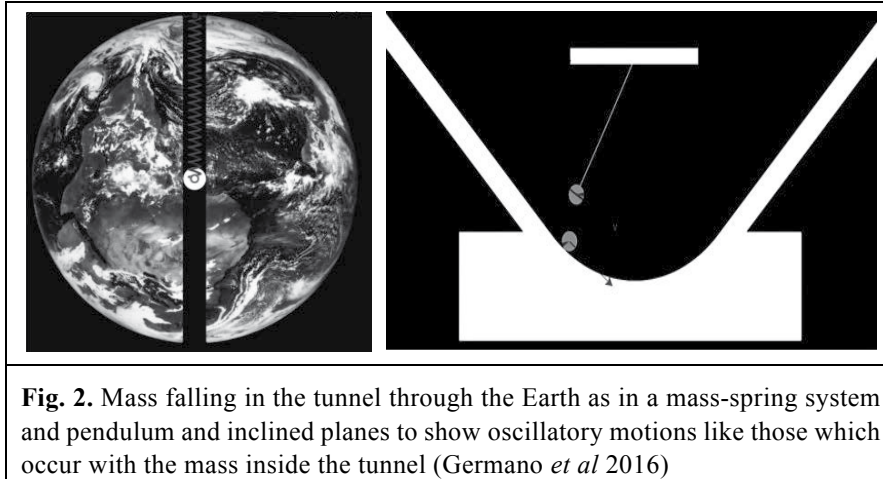
From the difficult reading of these verses (*Songs*), we can summarize in modern language [Vicentini Missoni 1983] the vision of Dante and Virgil: Lucifer was a gigantic monster, inhabiting their universe inversely, that is, upside down, perhaps, as says verse 121 (“He fell from Heaven on this side”), due to the fact that Lucifer was hurled out of heaven. Where he fell and with the impact, the Earth deepened forming the infernal pit that Dante and Virgil had traversed. In verse 79, the center of the Earth was located just below the hip where Lucifer’s thigh was attached. Dante and Virgil to get out of Hell should, therefore, move to another hemisphere. Thus, they rotate and are in a position reversed to what they were before. The descent then turns into an ascent (almost, if would have a return, an oscillatory motion, like a simple harmonic motion).

In verse 113 (“The one opposite the one that the great dry land”) confirms this interpretation, since Dante refers to the dry part as the mass of continents (boreal hemisphere) and its opposite, where there is almost only water (we are in late 13th century, about one hundred years before Columbus and Cabral), the southern hemisphere. The last verse is the final chapter of the adventure of the two literati in the depths of this curious and allegorical universe, filled with a unique historical interpretation. Returning to current times and only apparently changing the subject, a question that has been widely used by researchers in physics education for questions involving notions of gravity and the Earth and its position in space (Neves, Arguello 1986; Albanese *et al.* 1997) is the one proposed by Galileo (17th century), when putting in the voice of the three protagonists, Simplicio, Sagredo and Salviati, the problem of what would happen if an artillery bullet were dropped in a tunnel that crossed the whole Earth, as you quote previously (Galilei 1897, p.161), as mentioned previously in this text.

2. Inside the tunnel: the motion in a new Physics

Galileo imagined a classical spring-mass system (Fig. 2) along the movement of the artillery bullet in this long journey through this spectacular tunnel. It is necessary above all to understand the descend of the Galileo to the Dante’s Hell and to comprehend his admiration by the great literature and, in general, by the Arts (music, painting, etc.). Galileo, in his house, at Arcetri, receive always the visit of poets, artists and musicians (Silva; Neves 2015). Probably the great number of artists friends was made during the presence of Galileo in the *Accademia del Disegno*, at Florence, where the Pisan physicist learned to represent 3D objects using the rules of linear perspective. The two great friends of Galileo in this Academy were the painters Domenico Cresti, *il Passignano*, e Lodovico Cardi, *il Cigoli* (Silva; Neves 2015). These two painters developed an important role in

the Galileo's work of the *Sidereus nuncius* and *Trattato sulle macchie solari e loro incidenti* due to telescopic observations realized in the *Basilica di Santa Maria Maggiore* in Rome: lunar representation by Cigoli in the *Cappella Paolina*, and by Passignano in the Baptistery (Silva, Neves 2015).



Galileo was an enthusiast of the *Divina Commedia*. In 1597 he gave two lessons at the *Accademia Fiorentina* defending the geometry of the Florentine Antonio Manetti (Fig. 1, left) to the Dante's *Inferno*. Galileo used a serie of arguments against the opinion of Vellutello of Lucca that the architecture of Manetti was impossible (Lèvy-Leblond 2009). These two lessons, *Due lezioni all'Accademia fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante* (Figg. 1 and 3), could have influenced Galileo to understand the free fall of heavenly bodies as we can read in the *I Due Massimi Sistemi del Mondo*, specially by the question of the *gedankenexperiment* of a tunnel that traversed all the Earth:

SIMP. Al moto verso il centro delle cose gravi, cioè al centro dell'universo e della Terra, dove, non impedito, si condurrebbero.

SALV. Talché, quando il globo terrestre fusse perforato da un pozzo che passasse per il centro di esso, una palla d'artiglieria lasciata cader per esso, mossa da principio naturale ed intrinseco, si condurrebbe al centro; e tutto questo moto farebbe ella spontaneamente e per principio intrinseco: non sta così?

SIMP. Così tengo io per fermo.

SALV. Ma giunta al centro, credete voi ch'ella passasse più oltre, o pur che quivi cesserebbe immediatamente dal moto?

SIMP. Credo che ella continuerebbe di muoversi per lunghissimo spazio.

SALV. Ma questo moto oltre al centro non sarebb'egli all'insù e, per vostro detto, preternaturale e violento? e da qual altro principio lo farete voi dependere, salvoché da quell'istesso che ha condotta la palla al centro, e che voi avete chiamato intrinseco e naturale? trovate voi un proiciente esterno, che gli sopraggiunga di nuovo per cacciarla in su. E questo che si dice del moto per il centro, si vede anco quassù da noi:

imperocché l'impeto interno di un grave cadente per una superficie declive, se la medesima, piegandosi da basso, si rifletterà in su, lo porterà, senza punto interrompere il moto, anco all'insù. Una palla di piombo pendente da uno spago, rimossa dal perpendicolo, scende spontaneamente, tirata dall'interna inclinazione, e senza interporre quiete trapassa il punto infimo, e senz'altro sopravveggnente motore si muove in su. Io so che voi non negherete che tanto è naturale ed interno de i gravi il principio che gli muove in giù, quanto de i leggieri quello che gli muove in su: onde io vi metto in considerazione una palla di legno, la quale scendendo per aria da grande altezza, e però movendosi da principio interno, giunta sopra una profondità d'acqua, continua la sua scesa, e senz'altro motore esterno per lungo tratto si sommerge; e pure il moto in giù per l'acqua gli è preternaturale, e con tutto ciò dipende da principio che è interno, e non esterno della palla. Eccovi dunque dimostrato come un mobile può esser mosso, da uno stesso principio interno, di movimenti contrarii. (Galilei 1897, p. 167)

In the 13th century, two nominalists of Paris, Jean Buridan and Nicole Oresme, discussed and wrote about the kinematics and dynamics derived of the *Physis* of Aristotle, rejecting, in a theoretical way, the notions of *antiperistasis* (Fig. 5), the centrality and the non-motion of the Earth, the existence of non-existent (void), using *gedankenexperiments* and arriving in the analogies of Earth as a ship (present in the discussions of Giordano Bruno and Galileo Galilei) and the construction of the *impetus* acquired (Fig. 5), as we can see in the quotes below:

[...] “thing of permanent nature, distinct from the local motion in which the projectile is moved. [...] And it is probable that that impetus is a quality naturally present and predisposed for moving a body in which it is impressed, just as it is said that a quality impressed in iron by a magnet moves the iron to the magnet. And it also is probable that just as that quality (the impetus) is impressed in the moving body along with the motion by the mover; so with the motion it is remitted, corrupted, or impeded by resistance or a contrary inclination” (Buridan *apud* Grant 1964). - Buridan emphasizes that impetus would last forever if it were not destroyed - as it always is - by opposing resistances, or the tendency of bodies to seek their natural places and come to a state of rest. (Grant 1964).



Fig. 3. The architecture of the *Inferno* by Cigoli (Galileo, *Due lezioni all'Accademia fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante*. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Fondo Rinuccini, filza 21, ins. 19 / 4-5: ediz. Accademia della Crusca, drawing by Cigoli, map Stradano *apud* Gheller 2021).

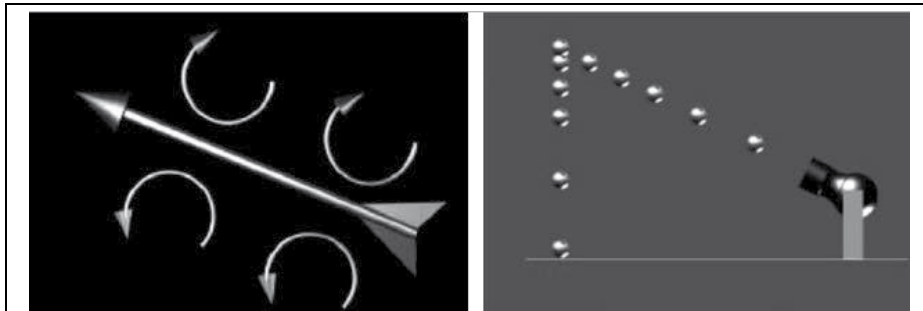


Fig. 4. Imaginary notions of *Aristotelian antiperistasis* (left) and *impetus acquired* (right) (Neves *et al.* 2014; Germano *et al.* 2016)

To the second experiment (about the daily motion of the Earth) appears the answer for this: according to this opinion, the Earth is not moved alone, but with water and air, as it is said; although the water and air below may otherwise be moved by winds or other causes; and it is similar as if a ship were moving and there was air stored in it; it would seem to one who is in such air that he does not move (Oresme *apud* Martins 1986).

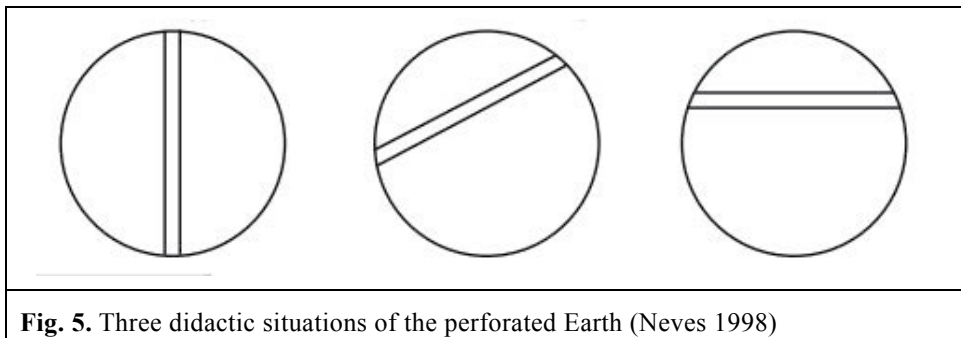


Fig. 5. Three didactic situations of the perforated Earth (Neves 1998)

3. Conclusions: seven hundred years after ...

Despite the long history of the construction of the inertial reference system and the universal gravitation, the common sense of the problem of the perforated Earth is not understood in our scholar system (more than 90% of the students believes that the mass in the tunnel stops in the centre of planet, or at the opposite edge it will be lost in space, and will have not an oscillatory motion inside the tunnel (Fig. 5, Neves 1998). Students' answers about what kind of motion has a mass that falls into a tunnel that crosses the Earth continue to follow the misconceptions of common sense and not the physics of Oresme, Buridan, Dante, Galileo and Newton.

Perhaps, Lucifer continues living in the centre of the Earth joking with our rolling stones ...

References

- Albanese A., Neves M.C.D., Vicentini Missoni M. (1997). “Models in Science and in Education: a critical review of research on student’s ideas about the Earth and its place in the Universe”. *Science & Education*, 6, pp. 573-590.
- Alighieri D. (2003). *The Inferno* (translation Longfellow H.W.). New York: Barnes & Noble Classics.
- Galilei G. (1897). *I Due Massimi Sistemi del Mondo*, in Favaro A., (a cura di) *Le Opere di Galileo Galilei*. vol. VII. Firenze: G. Barbera.
- Germano E.T., Neves M.C.D. (2016). *O Ensino de Física Usando o Simulador Algodoo: possibilidades e reflexões*, in Frasson A.C. et al. (eds.), *Reflexões em Ensino de Ciência e Tecnologia: Abrindo horizontes*. Ponta Grossa: Editora da UTFPR, pp. 145-160.
- Gheller A. (2021). *Dante700: Galileo e la topografia infernale* [online]. URL: <<https://ilbolive.unipd.it/it/news/dante700-galileo-topografia-infernale>> [access date: 24/10/2021].
- Grant E. (1964). “Motion in the Void and the Principle of Inertia in the Middle Ages”. *Isis*, 55 (3), pp. 265-292.
- Lévy-Leblond J-M. (2009). *A velocidade da sombra nos limites da ciência*. Rio de Janeiro: DIFEL.
- Martins R.A. (1986). “Galileo e o Princípio da Relatividade”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 9, pp. 69-86.
- Neves M.C.D., Argüello C.A. (1986). *Astronomia de Régua e Compasso: de Kepler a Ptolomeu*. Campinas: Papirus.
- Neves M.C.D. (1998). “A História da Ciência no Ensino de Física”. *Ciência & Educação*, 5 (1), pp. 73-81.
- Neves M.C.D. (1999). “História da Ciência: Dante e Galileo descem ao Inferno da Física”. *Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa: Questões Epistemológicas*, 9, pp. 75-88.
- Neves M.C.D., Germano E.T., Neves A.C.D., Silva J.A.P. (2014). “Por uma Blogosfera educativa: formalidade e informalidade no ensino de Física sob uma nova perspectiva de filmes e animações *hands-on*”. *Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada*, 1 (1), maio/junho de 2014, pp. 38-53.
- Silva J.A.P., Neves M.C.D. (2015). *O Codex Cigoli-Galileo: Ciência, Arte e Religião num enigma copernicano*. Maringá, EDUEM.
- Souza P.T.C.V (2014). *Inferno: em busca de uma nova topografia* [conference paper online]. URL: <www.researchgate.net/publication/270747792> [access date: 24/10/2021].
- Souza P.T.C.V. (2016). *As novas topografias do Inferno: de Dante a Blade Runner* [Dissertação de Mestrado]. Instituto de Artes, UNICAMP, Campinas.
- Vicentini Missoni M. (1983). *Conoscenza scientifica e conoscenza comune*, in Pontecorvo C. (a cura di), Vicentini Missoni M. et al., *Conoscenza scientifica e insegnamento*. Roma: Loescher.

Dante, scienza e tecnologia

Claudio Santori - Accademia Petrarca di Lettere, Arti e Scienze di Arezzo -
cl.santori44@gmail.com

Abstract: Research of science and technology in *Divina Commedia*

Keywords: Alighieri Dante, Science, Literature.

«Tin tin sonando con sì dolce nota» – Dante e l'orologeria

Siamo abituati per l'impostazione fornita dalla scuola a considerare Dante soltanto un poeta, anzi, il sommo poeta. Vero, ma non sufficiente: Dante è anche lo scienziato in possesso di tutte le cognizioni di geometria e matematica all'epoca disponibili, indispensabili per indagare il cielo e penetrarne i segreti. Come tutti gli intellettuali della sua epoca, Dante si era formato attraverso l'approfondimento delle Arti Liberali. Non manca di sottolineare nel *Convivio* che non è consentito privilegiare una di queste arti, per esempio la musica, e trascurare le altre, sotto pena di perdere lo status di "filosofo" e di stazionare nella bassa sfera di quelli che gli antichi greci avrebbero definito *bànauoi*, ossia artigiani e mestieranti, non necessariamente volgari, ma protesi all'utile:

9. E sì come l'amistà per diletto fatta, o per utilidade, non è vera amistà ma per accidente, sì come l'Etica ne dimostra, così la filosofia per diletto o per utilidade non è vera filosofia ma per accidente. Onde non si dee dicere vero filosofo colui che è amico di sapienza per utilidade, sì come sono li legisti, [li] medici e quasi tutti li religiosi, che non per sapere studiano ma per acquistare moneta o dignitade. La filosofia è vera e perfetta che è generata per onestade solamente (*Il Convivio*, Trattato Terzo, cap. XI, par. 9).

Ebbene, se non m'inganno grossolanamente, nei versi famosi del *Purgatorio*: «questi fu tal ne la sua vita nova / virtualmente, che ogni abito destro / avrebbe fatto in lui mirabil prova» (*Purgatorio* XXX, vv. 115-117), Dante rivendica con orgoglio la piena e completa padronanza delle sette arti liberali e ne ha voluto fare la dichiarazione, nemmeno troppo criptica, in particolare per quanto riguarda l'aritmetica e la geometria.

La *Commedia* termina con la più celebre delle similitudini dantesche: «Qual è il geometra che tutto s'affige / per misurar lo cerchio e non ritrova, / pensando, il principio ond'elli indige, / tal era io [...]» (*Paradiso* XXXIII, vv. 58-63). È il problema della cosiddetta quadratura del cerchio: data una circonferenza di raggio r , trovare un rettangolo o un quadrato che abbia il perimetro di uguale lunghezza. Problema che in verità non esiste in sé ed era già stato brillantemente risolto dagli antichi Greci, per esempio da Dinostrato, fin dal V secolo, ed era perfettamente noto anche a Platone. Oggi si apprende

dal programma di aritmetica della scuola elementare che una circonferenza di raggio r misura $2\pi r$: basta pertanto prendere un rettangolo dai lati 1 e $\pi r - 1$ ed abbiamo la coincidenza della lunghezza del perimetro e della circonferenza. Evidentemente, Dante aveva ragione di ritenere insolubile il problema nella maniera classica considerata elegante e perfetta dai Greci antichi, cioè con riga e compasso, come si suol dire: di fatto il problema con tale procedura è effettivamente insolubile, ma la dimostrazione si è avuta addirittura nel 1882 ad opera del matematico Lindemann (D'Amore 1994, anche per le osservazioni che seguono)!

Dante aveva ragione di credere che l'esatto rapporto di π , corrispondente a $22/7$ (3,14285714285), fosse stato individuato da Brisone, da lui chiamato Brisso e citato nel *Paradiso* insieme con Parmenide e Melisso: «E di ciò sono al mondo aperte prove / Parmenide, Melisso e Brisso e molti / li quali andavano e non sapean dove» (*Paradiso* XIII, v. 125): non può essere per altro motivo che Dante non esita a mettere Brisone, illustre sconosciuto per i più, accanto a Parmenide e Melisso, filosofi a tutti ben noti! Il rapporto di $22/7$, sia detto *en passant*, coincide con uno dei valori indicati da Archimede per π : $3 + 10/71$ (= 0,14084507042) e $+ 1/7$ (= 0,14285714285). Dante conosceva i calcoli di Archimede attraverso Boezio¹ e pertanto dava per scontato il rapporto $22/7$ suggerito da quest'ultimo per π . A tutto ciò mi pare di poter aggiungere, se presuntuosamente non mi inganno, un contributo personale: mi sono convinto che Dante ha adombrato il rapporto di π , che lo attribuisse o no a Brisone, nella famosa terzina in cui fissa in 22 le miglia che «la valle volge». Essa si trova infatti in *Inferno* XXIX, comincia al verso 7 e termina al verso 9: «Tu non hai fatto sì a l'altre bolge: / pensa, se tu annoverar le credi, / che miglia ventidue la valle volge». Una pura coincidenza? E una pura coincidenza anche la scelta di collocare tutto ciò nel canto XXIX? Forse. Ma c'è qualcosa di più. Mi son preso la briga di contare le lettere di cui si compone il verso 9: non credo che i dantisti, in altre faccende affaccendati, l'abbiano mai fatto! Ebbene, le lettere di quel verso sono esattamente 29! Un'altra pura coincidenza? La terza? Forse sì, forse no! Quanto basta, comunque, perché nessuno sorrida e mi commiseri se avanzo l'ipotesi che Dante, da buon enigmista, abbia inteso fornire al lettore un indizio che gli desse in qualche modo la prova dell'aver imboccato la strada giusta: 29, ossia 22 più 7! Una sottolineatura dell'intuizione che 22 e 7 non sono numeri scelti a caso, ma un'inserzione criptica, esoterica, da iniziati, di un grande *mystery* scientifico nel poema cui «ha posto mano e cielo e terra»!

Dante conosce il cielo attraverso la dottrina di Tolomeo, che ha profondamente assimilato: non certo a caso conclude tutte e tre le cantiche, e quindi la *Commedia* stessa, con la parola «stelle» e i riferimenti astronomici che vi inserisce ad ogni piè sospinto sono addirittura un centinaio! È certo che Dante è astronomo perché è interessato al cielo come investigatore dei moti dei pianeti e delle stelle con i relativi calcoli che ciò comporta: tutte cose che si fanno a tavolino; ma è anche astrofilo perché ama passare ore a scrutare il cielo nelle notti di sereno:

Quale per li seren tranquilli e puri
discorre ad ora ad or subito foco

¹ È molto probabile che Dante avesse anche una conoscenza diretta di Archimede tramite la traduzione di Guglielmo di Moerbeke (1215-1286), una copia della quale si trova nella Biblioteca Vaticana.

movendo gli occhi che stavan sicuri,
e pare stella che tramuti loco,
se non che dalla parte onde s'accende
nulla sen perde ed esso dura poco. (*Paradiso* XV, vv. 13-18).

Ha scritto infatti il Momigliano: «Il *Purgatorio* e il *Paradiso* sono due grandi spie delle ore che Dante deve aver passato in contemplazione del cielo».

I riferimenti astronomici vanno crescendo di numero e di qualità dall'*Inferno*, dove sono relativamente pochi e legati principalmente all'esigenza di precisare il giorno e l'ora, al *Purgatorio* (dove sono molti di più), al *Paradiso* (dove se ne registra il massimo numero, e principalmente legati ad una precisa visione dottrinale e teologica). La crescita nel numero e nella qualità dei riferimenti astronomici va di pari passo con i riferimenti musicali: nell'*Inferno* non c'è musica, solo urla bestiali, bestemmie e rumori («Quivi sospiri, pianti e alti guai / risonavan per l'aere senza stelle»); nel *Purgatorio* c'è musica principalmente monodica; nel *Paradiso* c'è un tripudio di musica polifonica: l'astronomia e la musica procedono in Dante di pari passo.

Nell'*Inferno* e nel *Purgatorio* i riferimenti astronomici servono a fornire l'ora e a rendere con il massimo realismo l'orientamento del viandante. Due esempi saranno sufficienti a comprendere quanto Dante tenesse conto della realtà astronomica. Prendiamo in considerazione un noto passo del *Purgatorio*: «Lo sol che dietro fiammeggiava roggio, / rotto m'era dinanzi alla figura, / che aveva in me dei suoi raggi l'appoggio» (*Purgatorio* III, vv. 16-18): il Sole è rosso, come avviene nelle prime ore del mattino e Dante lo ha dietro le spalle, per cui vede l'ombra sua davanti a sé. Ma poco dopo, avvicinandosi al mezzogiorno, poiché il *Purgatorio* è nell'emisfero australe, ed egli è rivolto a levante, vede il Sole non più dietro, ma alla sua sinistra:

A seder ci ponemmo ivi ambedui
volti a levante onde eravam saliti
che suole a riguardar giovare altrui.
Li occhi prima drizzai ai bassi liti;
poscia li alzai al sole, e ammirava
che da sinistra n'eravam feriti».

Quando poi Dante, verso il tramonto, si trova a camminare verso ovest nel versante nord del monte, non manca di osservare che il sole ora gli è davanti (*Purgatorio* XV, vv. 1-9):

Quanto fra l'ultimar de l'ora terza
e il principio del dì par de la spera
che sempre a guisa di fanciullo scherza,
tanto pareva già inver la sera
essere al sol del suo corso rimaso:
Vespero là, e qui mezza notte era.
E i raggi ne ferian per mezzo il naso,
perché per noi girato era sì il monte
che già dritti andavamo inver l'ocaso.

Più avanti, dopo l'alba, il Sole gli torna coerentemente dietro le spalle, come dopo l'alba precedente: «Su mi levai e tutti eran già pieni / de l'alto di i giron del sacro monte / e andavam col sol novo alle reni» (*Purgatorio* XIX, vv. 37-39).

Dante ha chiaro il concetto di sfera terrestre e di sfera celeste, nonché il concetto di longitudine e di latitudine, e se ne avvale trasformandolo in uno dei passi più densi di poesia della *Commedia*, nel canto XXVI dell'*Inferno*. Ulisse, che si è spinto nell'emisfero australe, di notte vede le stelle dell'altro polo, il polo sud, mentre non vede più il nostro polo che è celato sotto la superficie del mare «Tutte le stelle già dell'altro polo / vedea la notte, e il nostro tanto basso / che non surgeva fuor dal marin suolo.» (*Inferno* XXVI, vv. 127-129). E quasi sicuramente – benché i dantisti ortodossi lo neghino – Dante conosceva le quattro stelle, appunto la cosiddetta “Croce del Sud”, che in qualche modo connotano il Polo Sud: «I' mi volsi a man destra e puosi mente / a l'altro polo e vidi quattro stelle / non viste mai fuor ch'a la prima gente» (*Purgatorio* I, vv. 22-27)!

Uno dei momenti maggiormente esaltanti del ricorso di Dante all'astronomia per veicolare la sua poetica più profonda è l'*incipit* del X canto del *Paradiso*. L'amore di Dio per il mondo è tale che ha voluto lo Zodiaco, ossia l'eclittica, inclinato rispetto al cerchio dell'equatore:² circostanza che ha permesso il succedersi delle stagioni, senza la quale sarebbe stata impossibile sulla Terra ogni forma di vita. E inclinata, insiste Dante, non troppo o troppo poco, ma esattamente quanto è necessario, né più né meno!

Dante, maestro di astronomia, è al corrente anche della precessione degli equinozi, la grande scoperta dell'astronomo greco Ipparco di Nicea. Conosce Eratostene e sa che il cerchio delle stelle fisse si muove insensibilmente e conferma il calcolo corrente all'epoca sua, sin dai tempi di Tolomeo, in circa un grado ogni cento anni (in realtà, ogni 71,6 anni). In effetti, è l'asse terrestre che compie una circonferenza completa in direzione di Vega in 25.786 anni, ma non cambia nulla! È meraviglioso come Dante riesca a trasformare oggettivi dati scientifici nella purissima poesia dello smarrimento che ci coglie quando pensiamo all'arco della nostra vita e ai tempi geologici e astronomici, quando pensiamo alle nostre distanze e alle distanze stellari che si misurano in anni luce. Solo nell'eternità di Dio, in quell'«Amor che muove il sole e l'altre stelle» la mente trova riposo e conforto.

In *Paradiso* XXVII, vv. 142-143, si parla dell'errore del calendario giuliano, pari a circa un centesimo di giorno ogni anno: errore piccolo ma che accumulandosi avrebbe portato gennaio fuori dall'inverno: «Ma prima che gennaio tutto si sverni / per la centesima ch'è laggù negletta». Dante attribuiva 12 minuti in meno, ossia un centesimo di giorno, all'anno astronomico rispetto all'anno calcolato dagli astronomi di Cesare in 365 giorni e 6 ore. Questa centesima parte, «negletta», cioè non calcolata, aveva fatto sì che nel 1300 la differenza fra l'anno civile e quello astronomico fosse di alcuni giorni.

Dante giunge a Dio contemperando le certezze del tomismo col dettato agostiniano, in quella linea che gli veniva da lontano, dalla speculazione pitagorica e platonica assimilata attraverso Boezio e, appunto, Sant'Agostino e San Bonaventura. E la musica torna ad intrecciarsi in un viluppo indissolubile con l'astronomia. Non è certo un caso che la

² In realtà è l'asse terrestre ad essere inclinato sul piano dell'orbita, ma la sostanza dell'osservazione non cambia.

musica nel *Convivio* (Trattato Secondo, cap. XIII, par. 20 e 21) sia accostata al cielo di Marte, ossia al quinto, con un ragionamento che allude senz'ombra di dubbio alla quinta e all'ottava:

20. E lo cielo di Marte si può comparare a la Musica per due proprietadi: l'una si è la sua più bella relazione, ché, annumerando li cieli mobili, da qualunque si comincia o da l'infimo o dal sommo, esso cielo di Marte è lo quinto, esso è lo mezzo di tutti, cioè de li primi, de li secondi, de li terzi e de li quarti.

21. L'altra si è che esso Marte, [sì come dice Tolomeo nel Quadripartito], dissecca e arde le cose, perché lo suo calore è simile a quello del fuoco; e questo è quello che esso pare affocato di colore, quando più e quando meno, secondo la spessezza e raritate de li vapori che 'l seguono: li quali per lor medesimi molte volte s'accendono, sì come nel primo de la Metaura è diterminato.

Insomma, il sapere matematico come solida base della conoscenza, e la musica come parte privilegiata di tale sapere nell'ambito di una filosofia avente come fine il raggiungimento del "sommo bene", di Dio motore immobile, attraverso il vero e il bello raggiunto mediante la conoscenza delle norme eterne che regolano gli astri e il variare «di lor dove». Per cui il mistero supremo della visione della Trinità è esemplificato con il nodo della quadratura del cerchio ed è questo il messaggio estremo del poema che lo ha fatto «per molt'anni macro», che ha mostrato «ciò che potea la lingua nostra»: il poema delle stelle, cui «ha posto mano e cielo e terra».

Ma c'è di più: Dante apprezza profondamente anche la tecnologia, quando si mostra interessato, e direi quasi incantato, di fronte ai congegni meccanici che al suo tempo erano ormai comuni nei conventi per rammentare ai monaci gli orari delle orazioni, e che egli chiama propriamente una volta «oriuolo» e un'altra «orologio». Tanto ne è rimasto colpito che vi si sofferma con precisione di particolari per due volte. In *Paradiso X*, vv. 130-145, Dante assiste alla danza e al canto della «gloriosa rota», al termine della presentazione da parte di san Tommaso dei 12 dottori: gli spiriti luminosi si muovono quasi tirandosi e spingendosi l'un l'altro, proprio come nel meccanismo dell'orologio le ruote si tirano e si spingono l'una con l'altra facendo suonare il campanello.

È un momento di altissima poesia di luce, canto e movimento, che la similitudine dell'orologio rende indimenticabile proprio per l'efficacia con cui la solita fonte onomatopeica classica (in questo caso il virgiliano «*tinnitusque cie et Matris quate cymbala circum*») si rinnova con inaudita freschezza:

Indi, come orologio che ne chiami
ne l'ora che la sposa di Dio surge
a mattinar lo sposo perché l'ami,
che l'una parte e l'altra tira e urge,
tin tin sonando con sì dolce nota,
che 'l ben disposto spirto d'amor turge;
così vid'io la gloriosa rota
muoversi e render voce a voce in temprà
e in dolcezza ch'esser non pò nota
se non colà dove gioir s'insempra.

Naturalmente, come spiega Giuseppe Boffito seguendo i commentatori più avveduti, la tempra è il «congegno intimo per cui tutte le parti o ruote dell’orologio, nel loro incastro, sollecitate da un peso, tiravano e spingevano mettendo capo alla manifestazione del suono» (Boffito 1938).

Dante ci torna sopra in *Paradiso* XXIV, vv. 13-18, fornendo una più precisa e minuziosa descrizione:

E come cerchi in tempra d’orïuoli
si giran sì, che ‘l primo a chi pon mente
quïeto pare, e l’ultimo che voli;
così quelle carole, differente-
mente danzando, de la sua ricchezza
mi facieno stimar, veloci e lente.

È evidente che qui il congegno cui Dante si riferisce non è più, come nel passo precedente, lo svegliatore monastico, ma il vero e proprio orologio messo in moto dalla caduta di un peso: Dante non poté certo vederlo a Firenze dove fu installato a Palazzo Vecchio nel 1354, ma certamente dovette vedere quello che fu installato, primo in Italia, a Sant’Eustorgio a Milano nel 1306. E dico vedere poiché, sebbene non si abbia notizia di un soggiorno di Dante a Milano dopo il 1306, la descrizione è così precisa da non poter essere che frutto di autopsia!

Particolarmente interessante è il riferimento al primo cerchio che si muove così lentamente da sembrare fermo («quïeto pare»), in contrapposizione all’ultimo che “sembra volare”, come risulta evidente nel modello che Fausto Casi presenta e descrive in questo stesso volume! Mi sembra di intravedere nel cerchio che «quïeto pare» anche un riferimento al cerchio delle stelle fisse che, come sappiamo, «più tardo in cielo è torto», tanto che una vita umana non è sufficiente a rivelarlo!

A questo punto assume un particolare valore un altro passo: «Questi ordini di sù tutti s’ammirano, / e di giù vincon sì, che verso Dio / tutti tirati sono e tutti tirano». (*Purgatorio* XXVIII, vv. 127-129). È ancora l’orologio a fornire al poeta «un vivo simbolo, parlante e sonante, della sua propria, fondamentale concezione cosmica» (Boffito 1938): l’universo come un immenso e perfettissimo orologio “temprato” da Dio! Come le ruote dentate di un orologio, la prima, Dio motore immobile, muove le intelligenze celesti, che muovono i cieli i quali a loro volta muovono tutte le cose materiali («quanto [...] per loco si gira»). Come, per fare un solo eloquente esempio, il cielo della Luna agisce sulle acque del mare causando le maree («E come ‘l volger del ciel de la luna / cuopre e discuopre i liti senza posa, / così fa di Fiorenza la Fortuna» (*Paradiso* XVI, vv. 82-83): un movimento immutabile ed eterno, in contrapposizione ai beni terreni che sono caduchi e soggetti al capriccio della fortuna!

Come sempre il riferimento scientifico, in questo caso alla meccanica dell’orologio, ricorre sempre ogni qual volta si presenti un momento di alta riflessione poetica o esistenziale! Come accade – e non poteva essere altrimenti – addirittura nel finale stesso del poema dove, ancora una volta, nel momento supremo vagheggiato fin dalla «selva oscura», sono ancora le ruote dentate dell’orologio a simboleggiare l’eterno amore di Dio

che, come scrive Ermenegildo Pistelli, «governa e regola così i moti delle sfere celesti, come quelli più ampi e più rapidi dell'anima umana»:

 siccome rota ch'ugualmente è mossa
 l'Amor che move 'l sole e l'altre stelle.

Bibliografia

- Boffito G. (1938). “Dove e quando poté Dante vedere gli orologi meccanici che descrive? (Par. X, 139; XXIV, 13; XXXIII, 144)”. *Pubblicazioni dell'Osservatorio del Collegio alle Querce (Firenze)*, S. 4°, 66; estratto dal *Giornale dantesco*, XXXIX, N.S. *Annuario dantesco*, IX.
- Casi F. (2021). *L'orologeria al tempo di Dante ed i suoi sviluppi*. Arezzo: Museo dei Mezzi di Comunicazione.
- D'Amore B. (1994). “La matematica nella *Divina Commedia*”. *Alma Mater Studiorum*, VII (1), pp. 49-86.

Storia e sviluppi degli orologi meccanici a pesi descritti da Dante Alighieri – Il catalogo

Fausto Casi - MUMEC Museo dei Mezzi di Comunicazione - faustocasi@tiscali.it

Abstract: “Dante700, Tin Tin Sonando con sì dolce nota” is a Dante’s verse and the title of an exhibition that marked the MUMEC 2021 exhibition programme.

Keywords: Dante Alighieri, Historical clocks, Historical-scientific museums.

La mia posizione di Curatore Scientifico del MUMEC – Museo dei Mezzi di Comunicazione del Comune di Arezzo – ha spesso, nel passato, suggerito numerose esperienze dimostrative, all’interno della struttura museale, che hanno fatto la storia delle attività con i titoli più vari, tutti consoni a manifestazioni di importanti celebrazioni di scienziati e personaggi, correlati sempre ad eventi scientifici o in relazione ai sistemi di comunicazione dell’umanità. Facciamo riferimento a Leonardo da Vinci, Galileo Galilei, Antonio Meucci, Guglielmo Marconi, fratelli Lumière, come anche ai fatti bellici della 1a e 2a guerra mondiale, fino alle moderne scoperte dei “cellulari” che raggruppano e sintetizzano le scoperte tecnologiche precedenti.

Fra le ultime celebrazioni:

- 2019 – Leonardo da Vinci (Casi 2019);
- 2020 – Federico Fellini (Casi 2020).

Ci siamo impegnati, per l’anno 2021, sul tema delle celebrazioni dei 700 anni dalla morte di Dante Alighieri, scegliendo, con non poca difficoltà, un tema consono agli interessi del personaggio, vissuto tra XIII e XIV secolo, che potesse essere anche legato a tematiche di competenza scientifica o tecnologica da individuare all’interno del MUMEC stesso.

Occasionalmente, ho potuto leggere un saggio a cura del grande storico Giuseppe Boffito (1869-1944), stampato da Olschki, Firenze nel 1938, dal titolo: Dove e quando poté Dante vedere gli orologi meccanici che descrive? Par. X, 139; XXIV, 13; XXXIII, 144 (Boffito 1938); incuriosito da questa domanda ho approfondito le indicazioni dell’Autore con una ricerca che ben si prestava ai miei interessi collezionistici essendomi curato da quarant’anni, tra gli altri filoni collezionistici, anche di storia dell’orologeria antica. Modelli meccanici primordiali, modelli a pesi, primi testimoni di questa storia sulle invenzioni dell’uomo.



Fig. 1. Modello dello svegliatore monastico. A sinistra si vede il peso per la suoneria che, tramite trazione della corda, mette in moto il meccanismo; il quadrante mobile, con la sua rotazione, porta il comando all'indice orario il cui spostamento libera la discesa del peso per la suoneria. (Collezioni Fausto Casi)

Sono proprio questi arcaici modelli meccanici per la misura del tempo che Dante Alighieri descrive ripetutamente in versi del Paradiso nella *Divina Commedia*, diventati quindi oggetto del nostro studio. Le fasi realizzative prevedevano due campi:

- uno letterale e umanistico sull'individuazione e interpretazione nella *Divina Commedia* dei versi interessati alla descrizione della macchina orologistica, approfondito, con l'entusiasmo che lo distingue, dall'amico e vice presidente dell'Accademia Petrarca di Lettere, Arti e Scienze di Arezzo, prof. Claudio Santori;

- uno scientifico e tecnico che descrivesse la meccanica di questi “svegliatori monastici”, ma soprattutto che potesse dimostrare, con pezzi funzionanti di modelli di questa epoca, la stessa emozione che Dante stesso provò nella descrizione di questa meravigliosa opera dell’uomo.

Da indagini archivistiche, vengono così evidenziati circa 25 orologi meccanici a peso che, dalle “Collezione Fausto Casi di Arezzo” sono stati messi a disposizione del MUMEC e dell’Accademia Petrarca, per creare, a poche centinaia di metri, due punti dimostrativi offerti nella città di Arezzo, sia per gli aretini, scuole comprese, che per i visitatori di passaggio. Le due mostre celebrative sono state accompagnate da conferenze e presentazioni sia in presenza che in “piattaforma” (seguendo le indicazioni del Dpcm in atto), realizzate comunque tutte a quattro mani (Fausto Casi e Claudio Santori), secondo il programma stabilito dalle due istituzioni culturali. Queste proposte culturali, attinenti alle “celebrazioni del 700 anni dalla morte di Dante Alighieri”, hanno sicuramente destato interesse nel visitatore, protagonista “ricercatore” di un nuovo percorso culturale, con materiali storici proposti del tutto inediti. Il progetto portato avanti, su “Dante e l’orologeria monastica”, è stato approvato da Regione Toscana e inserito sulle manifestazioni territoriali toscane con il diritto di valersi, nelle promozioni, del marchio “Dante o’ toscano – celebrazioni 700”. Oltre a questo prestigioso riconoscimento, è inoltre stata approvata l’adesione da parte dei Centri per l’UNESCO di Arezzo e di Firenze per l’attinenza dell’argomento finalizzato anche agli scopi universali UNESCO, sul tema della “memoria”.

Il catalogo della mostra, descritta nel corso del congresso SISFA 2021, vuole essere un ulteriore compendio alle due esposizioni; una guida alla lettura delle mostre, che rimarrà comunque nella storia delle attività dell’Accademia Petrarca e del Museo dei Mezzi di Comunicazione del Comune di Arezzo.

Da notare le due “appendici” storiche proposte in questa occasione:

- la prima, per definire meglio il senso della misura del tempo, mediante la clessidra (orologio a sabbia) usata nel convento dei Frati Francescani della Verna di Arezzo (Casi 2010, pp. 84-113), presa come esempio di utilizzo dei mezzi di misura usati tradizionalmente nei gruppi religiosi per scandire la vita monastica, con particolare riferimento all’uso dell’orologio riferito alle letture del “libro delle preghiere”;
- la seconda, per approfondire la storia dell’orologeria a pesi nella cultura antica giapponese (Shirai 2003).

Un’esposizione, quella progettata dal Museo dei Mezzi di Comunicazione, che ha spinto curiosi, storici ed esperti ad approfondire la grande tematica dantesca, indagata nel corso dell’anno nelle più svariate forme, con un’attenzione particolare alla storia dell’orologeria antica, tematica di certo interesse per il vasto pubblico.

Bibliografia

- Boffito G. (1938). “Dove e quando poté Dante vedere gli orologi meccanici che descrive? (Par. X, 139; XXIV, 13; XXXIII, 144)”. *Pubblicazioni dell'Osservatorio del Collegio alle Querce (Firenze)*, S. 4°, 66; estratto dal *Giornale dantesco*, XXXIX, N.S. *Annuario dantesco*, IX.
- Casi F. (2010). *Gli Strumenti Scientifici Antichi*, in Gatta S., *Il Museo della Verna e le sue Raccolte*. San Giovanni Valdarno (Arezzo): Ind. Grafiche Valdarnesi, pp. 87-113.
- Casi F. (2019). *Leonardo da Vinci in “De Divina Proportione”*. Arezzo: Museo dei Mezzi di Comunicazione.
- Casi F. (2020). *Centenario della nascita di Federico Fellini 1920-2020*. Arezzo: Museo dei Mezzi di Comunicazione.
- Shirai Y. (2003). *L'orologio del Samurai* [online]. URL: <<https://www.orologiko.it/pdf/entusiasta/JapanAdobe.pdf>> [data di accesso: 29/03/2022].

Filippo Angelitti: un astronomo dantista

Manuela Coniglio - INAF Osservatorio Astronomico di Palermo -
manuela.coniglio@inaf.it

Donatella Randazzo - INAF Osservatorio Astronomico di Palermo -
donatella.randazzo@inaf.it

Ileana Chinnici - INAF Osservatorio Astronomico di Palermo -
ileana.chinnici@inaf.it

Abstract: During the reorganization of the historical archives of the Astronomical Observatory of Palermo, a large number of documents emerged relating to the astronomer Filippo Angelitti (1856-1931), director of the Specola from 1898 until his death in 1931. His collection consists of over forty folders, to which a vast administrative correspondence is added of incoming letters, ordered by Angelitti himself in monthly or annual issues, and outgoing letters, transcribed in copy letters and in registers. Besides the quantity of papers left by the astronomer, what is striking is their content: alongside scientific and Observatory management papers, there are documents of literary research on Dante Alighieri: twelve folders devoted to this subject reveal the scientific-literary vocation of Angelitti's interests. In fact, he dealt largely with Dante's astronomy, giving his own important contribution both to the dating of the journey faced by the Supreme Poet in the *Commedia*, and in establishing the authorship of the work *Quaestio de aqua et terra* which, also through his research, was finally attributed to Dante. Angelitti, a very active member of the "Italian Dante Society", entered the heart of the debates of the time, becoming one of the most authoritative voices on the subject thanks to his scrupulous analyses, now testified by the numerous documents kept at the Palermo Astronomical Observatory.

Keywords: Filippo Angelitti, Dante's astronomy, *Quaestio de aqua et terra*, Dante's journey.

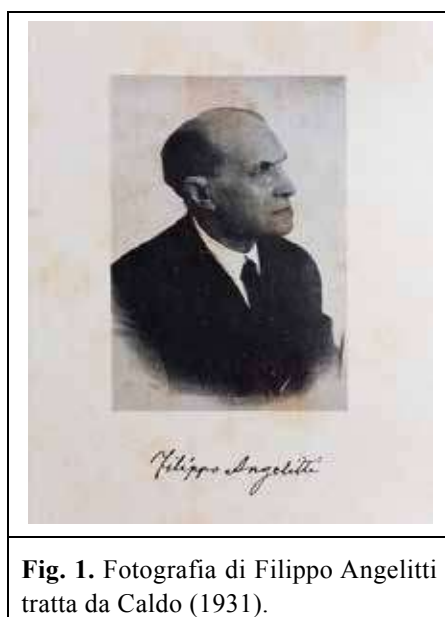
1. Introduzione

L'Archivio Storico dell'Osservatorio Astronomico di Palermo, grazie al progetto *Specola 2000*, è stato oggetto di un importante lavoro di riordino dal quale è emerso un nutrito corpus di documenti legati a Filippo Angelitti, direttore dal 1898 al 1931. Le carte dell'astronomo sono confluite in un fondo che ne porta il nome e che è costituito da quarantuno faldoni, testimonianza delle sue molteplici attività ed interessi. Ulteriore materiale prodotto da Angelitti si trova, inoltre, nella serie archivistica della "Corrispondenza ufficiale", sia in entrata che nei copialettere di quella in uscita. Tale mole

documentaria abbraccia un vasto arco temporale, dovuto alla lunga direzione di Angelitti, e riguarda argomenti eterogenei che inaspettatamente arricchiscono l'Archivio Storico dell'Osservatorio di Palermo anche con contenuti di stampo umanistico. Per comprenderne le ragioni sarà necessario definire, se pur sinteticamente, un breve profilo biografico del produttore di tali carte.

2. Cenni biografici

Filippo Angelitti nacque ad Aielli, in Abruzzo, nel 1856. Determinante nella sua istruzione fu la frequentazione del Convitto Nazionale de L'Aquila, dove si formò nelle discipline classiche. In seguito, durante gli studi che lo portarono a conseguire la laurea con lode in Matematica (1878) e in Ingegneria (1880) presso Napoli, fece il suo ingresso nell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte in qualità di calcolatore (1878), per poi divenire assistente. Negli anni successivi vinse vari concorsi per l'insegnamento di materie scientifiche, tra i quali quello del 1898 per la cattedra di Astronomia a Palermo, dove si classificò secondo ma, avendo il primo in graduatoria rinunciato all'incarico, il posto fu assegnato ad Angelitti. Contestualmente egli acquisì anche la carica di direttore dell'Osservatorio Astronomico di Palermo che conservò per ben 33 anni, sino alla morte avvenuta proprio a Palermo il 25 gennaio 1931.



3. L'astronomia dantesca nelle carte di Angelitti

La sua produzione fu segnata da una pluralità di interessi: sia nei confronti delle discipline scientifiche, che più precipuamente costituivano il suo ambito professionale, sia

verso le discipline classiche, passione che coltivava durante il tempo libero. Le sue attività scientifiche proseguirono con una certa regolarità fino al 1911, anno tragicamente importante nella vita di Angelitti: come testimoniato dal suo stretto collaboratore Lorenzo Caldo (1931, p. 5), egli fu colpito infatti da gravi problemi alla vista, subì la perdita di un occhio e conseguentemente non poté più dedicarsi assiduamente all’astronomia pratica. La passione letteraria che coltivava già dai tempi di Napoli si rivelò, allora, un “porto sicuro” nel quale trovare conforto.

In particolare, Angelitti si accostò con grande interesse all’approfondimento delle questioni astronomico-letterarie della produzione dantesca, ambito nel quale poteva armonicamente conciliare rigorose conoscenze scientifiche con solidi studi umanistici. I risultati delle sue ricerche sono ampiamente testimoniati dai documenti custoditi presso l’Archivio Storico dell’Osservatorio di Palermo, dove è possibile sfogliare le sue carte manoscritte e dattiloscritte, contenenti appunti, approfondimenti, studi, memorie, recensioni e calcoli astronomici, e consultare stesure preliminari di opere e articoli, bozze di stampa e trascrizioni di testi originali.

Delle quarantuno cartelle che costituiscono il Fondo Angelitti, dodici sono occupate da materiale relativo all’astronomia dantesca. I temi più ricorrenti riguardano due questioni vivacemente dibattute tra i maggiori dantisti dell’epoca: la datazione del viaggio della *Divina Commedia* e la paternità della *Quaestio de aqua et terra* (Fig. 2a).

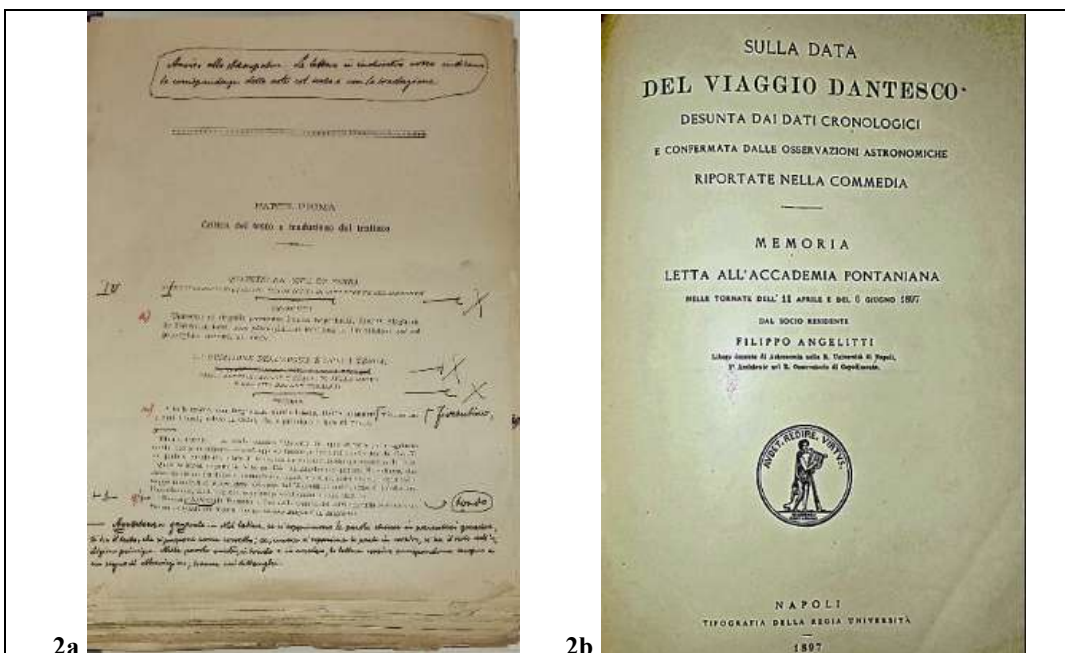


Fig. 2a. Appunti e stesure preliminari della memoria di Filippo Angelitti *La “Quaestio de aqua et terra” di Dante Alighieri ridotta alla più probabile lezione*. Fogli sciolti, senza data. Archivio Storico dell’Osservatorio Astronomico di Palermo, Cart. 121, fasc. 3.

Fig. 2b. Frontespizio della memoria *Sulla data del viaggio dantesco* di Filippo Angelitti (1897).

3. 1. La datazione del viaggio dantesco

La prima pubblicazione angelittiana a carattere astronomico-letterario figura tra gli *Atti dell'Accademia Pontaniana* e risale all'ultimo periodo di permanenza dell'astronomo nella città partenopea (1897). Si tratta, appunto, di un saggio relativo alla data del viaggio dantesco: *Sulla data del viaggio dantesco, desunta dai dati cronologici e confermata dalle osservazioni astronomiche riportate nella commedia: memoria letta all'Accademia Pontaniana nelle tornate dell'11 aprile e del 6 giugno 1897* (Fig. 2b). Di questa memoria si trova riscontro tra il materiale più antico del Fondo Angelitti. Tale argomento, che egli studiò nel corso di tutta la sua attività scientifico-letteraria, vedeva contrapporsi le posizioni di dantisti che sostenevano la validità di date diverse: la tesi maggiormente condivisa ne stabiliva l'anno nel 1300, mentre altre tesi indicavano il 1301. Angelitti si inserì nel dibattito con un approccio scientifico. Nell'analizzare il percorso del Poeta nell'*Inferno*, nel *Purgatorio* e nel *Paradiso*, egli partì dallo studio dei fenomeni astronomici descritti e da questi risalì alla datazione del viaggio. Dai dati ottenuti, suffragati da calcoli e comparazioni scientifiche, e partendo dall'assunto che Dante avesse realmente osservato i fenomeni celesti citati nella *Commedia*, Angelitti concluse che la data esatta fosse da identificare con il 25 marzo 1301, confutando le interpretazioni storiche e letterarie discordanti.

3. 2. La paternità della *Quaestio de aqua et terra*

Il secondo tema più ricorrente nella produzione di Angelitti è relativo alla paternità della *Quaestio de aqua et terra*, da lui trattato per la prima volta, seppur in maniera superficiale, proprio in occasione dell'analisi della data del viaggio dantesco. La *Quaestio* è un'opera in lingua latina, oggi attribuita a Dante Alighieri anche grazie agli studi di Angelitti, che così ne descrisse il contenuto nella sua pubblicazione del 1897:

La quaestio ricerca la forma e la posizione relativa dell'acqua e della terra, confutando l'opinione che la superficie dell'acqua in qualche punto sia più alta di quella della terra emersa; e dimostrando con ragioni fisiche, geometriche e filosofiche che la sfera dell'acqua è concentrica a quella della terra e che le terre emerse nella metà dell'emisfero boreale furono sollevate, nell'atto stesso della creazione, per l'influsso delle stelle comprese tra l'equatore e il circolo di 67 gradi di declinazione boreale (Angelitti 1897, p. 9).

Sulla paternità dell'opera, Angelitti affermava che:

È un'operetta stampata la prima volta a Venezia nel 1508 da un certo Padre Moncetti. Un'altra edizione ne fu fatta a Napoli nel 1576. Successivamente fu riprodotta dal Torri nel 1843, e dal Fraticelli e dal Giuliani, nelle collezioni delle opere minori di Dante. Tutti questi editori sostengono risolutamente che lo scritto sia di Dante (*ibidem*).

Egli, dunque, si inserì in una cerchia di studiosi che già prima di lui attribuiva a Dante la paternità della *Quaestio*, offrendo tuttavia un contributo qualificato, basato su una

ricerca non solo letteraria ma anche scientifica. L'astronomo, consapevole dell'originalità del suo apporto volto a dirimere la delicata questione, scrisse che «la discussione critica delle fonti stesse additate non è stata neanche tentata sotto l'aspetto scientifico, mentre questa appunto costituisce la parte fondamentale nella storia dello sviluppo del problema della forma dell'acqua e della terra» (Angelitti 1915, p. 13).

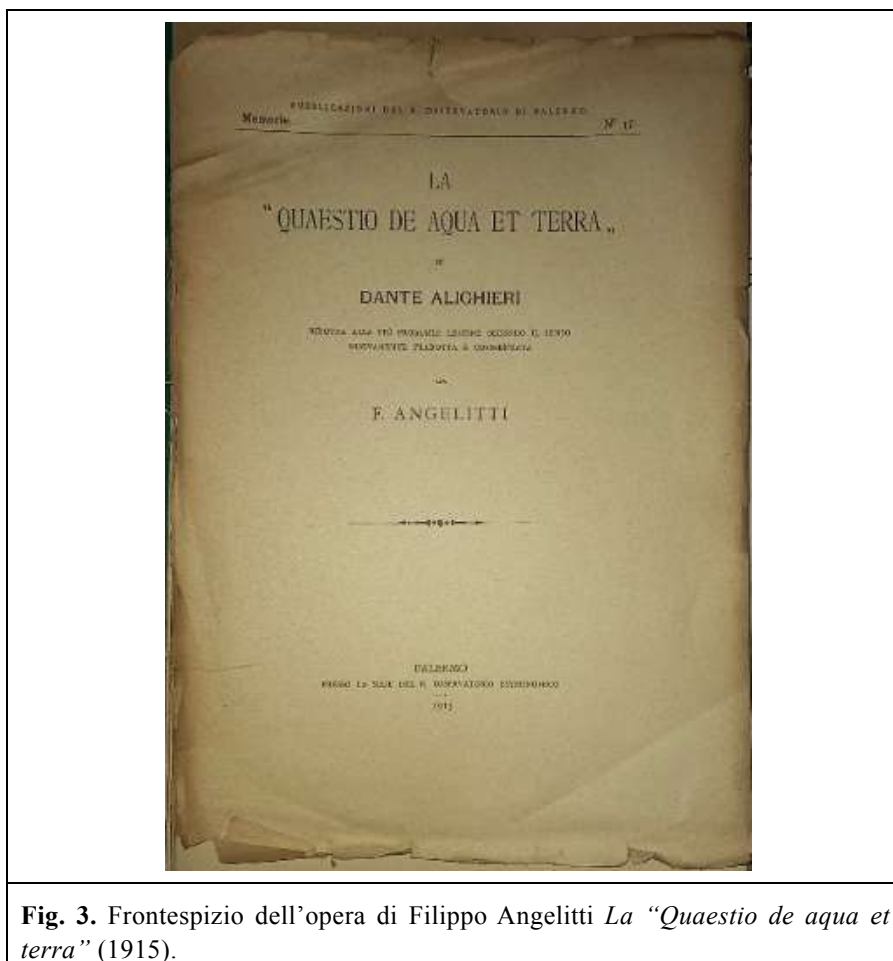


Fig. 3. Frontespizio dell'opera di Filippo Angelitti *La "Quaestio de aqua et terra"* (1915).

La sua analisi si protrasse per circa un ventennio e fu costellata di revisioni e correzioni continue, che lo condussero infine ad approdare alla versione definitiva dei suoi studi, che contribuirono alla decisiva attribuzione della *Quaestio* al Sommo Poeta.

La poderosa opera di critica letteraria di Angelitti confluitò in una pubblicazione del 1915 inserita nelle *Memorie* dell'Osservatorio Astronomico di Palermo dello stesso anno: *La "Quaestio de aqua et terra" di Dante Alighieri ridotta alla più probabile lezione secondo il senso nuovamente tradotta e commentata da F. Angelitti*. Si tratta di oltre 250 pagine di approfondimenti scientifici e letterari, volti a dimostrare la paternità dantesca della *Quaestio* in aperto contrasto con le contrarie tesi di Giuseppe Boffito e di altri dantisti a lui coevi, le cui ragioni furono confutate punto per punto, talvolta anche con una nota di pungente ironia.

4. Conclusioni

Il valore degli studi di Angelitti sulle questioni dantesche era, ed è, ampiamente riconosciuto: oltre ad essere parte attiva nei dibattiti che gravitavano attorno al Poeta e alla sua produzione letteraria, l'astronomo fu socio della "Società Dantesca Italiana" e contribuì con spirito acuto e lucidità scientifica alla *Rassegna critica degli studi danteschi* del *Bullettino* diretto da Michele Barbi. Inoltre, intrattenne intensi carteggi epistolari con i maggiori dantisti dell'epoca, come il già citato Barbi (la cui corrispondenza è conservata presso l'Archivio della Scuola Normale Superiore di Pisa) ed Ernesto Giacomo Parodi (le cui lettere si trovano presso l'Archivio Storico dell'Università di Firenze). I contributi di Angelitti furono altresì accolti nelle pagine delle pubblicazioni di numerose istituzioni culturali, scientifiche e letterarie dell'epoca, tra le quali la *Rivista di Astronomia e Scienze affini*, il *Giornale dantesco* di Firenze, le *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani* e le *Memorie della Società Astronomica Italiana*.

In generale, le pubblicazioni dantesche di Angelitti sono circa una cinquantina e sono state tutte pubblicate, come materiale inedito o come ristampa, nelle *Memorie* dell'Osservatorio Astronomico di Palermo; nell'Archivio Storico dell'Osservatorio di Palermo si trovano circa cento unità archivistiche sullo stesso argomento.

La prolifica attività di questo astronomo-dantista restituisce l'immagine di un uomo che seppe realizzare un felice sincretismo tra scienza e letteratura, discipline alle quali, conciliate dallo studio dell'astronomia dantesca, Angelitti dedicò tutta la vita con serietà e passione.

Bibliografia

- Angelitti F. (1897). *Sulla data del viaggio dantesco, desunta dai dati cronologici e confermata dalle osservazioni astronomiche riportate nella Commedia: memoria letta all'Accademia Pontaniana nelle tornate dell'11 aprile e del 6 giugno 1897*. Napoli: Tipografia della Regia Università.
- Angelitti F. (1915). *La "Quaestio de aqua et terra" di Dante Alighieri ridotta alla più probabile lezione secondo il senso nuovamente tradotta e commentata da F. Angelitti*. Palermo: R. Osservatorio astronomico [i.e. astronomico].
- Angelitti F. (1921). "Dante e l'astronomia", in *Dante e l'Italia: nel VI centenario della morte del Poeta*. Roma: Fondazione M. Besso, pp. 205-258.
- Caldo L. (1931), "Filippo Angelitti: Necrologia dettata da Lorenzo Caldo", *Memorie della Società Astronomica Italiana*, V (3), pp. 315-321.
- Mineo C. (1932). "Commemorazione di Filippo Angelitti letta nella seduta del 16 febbraio 1932", *Atti della R. Accademia di Scienze, Lettere e Belle Arti di Palermo*, XVII (II).

FROM THE LATE 17th TO 19th CENTURY

The Musical Systems by Rameau and Tartini. Creativity and Inconsistency

Claudio Bini - claudio.bini46@gmail.com

Danilo Capecchi - danilo.capecchi@uniroma1.it

Giulia Capecchi - Schola Cantorum Basiliensis - giulia.capecchi95@gmail.com

Guglielmo Lami - SISSA - glami@sissa.it

Abstract: The 18th century saw important developments in musical theory and practice. Music began – more clearly than in the past – to be considered from two different points of view: the physical point of view that could be the object of scientific, physical and mathematical inquiry and the perceptual point of view that was the object of aesthetics. The first point of view framed music in the nascent science of acoustics, a term spread by Sauveur; a theory that concerned not only music but also any kind of sound. The second point of view framed music in the arts and was developed by professional musicians. However, this dichotomy was not a clear-cut. Some musicians (and some philosophers of nature) believed that the two spheres of competence were connected. Particularly interesting in this regard, are the contributions of two of the greatest musicians of the century, the French Philip Rameau and the Italian Giuseppe Tartini, who believed that physics and mathematics could also have something to say on the aesthetic aspect.

Keywords: Musical systems, Tartini, Rameau, Third sound, Sonorous body.

1. Introduction

The interaction music-mathematics has a long history; for the western civilization its origins can be traced back to Pythagoras who proposed a well-defined mathematical theory in music that is still interesting today. The interaction between music and physics is less clear; the physical origin of sound and notes was addressed in some way in all surviving ancient texts of music in which, however, mathematics plays a fundamental role. Important texts dealing with the physics of sound are attributed to the Aristotelian school. Starting from the 16th century, the interaction between physics and music becomes important. In this topic, the studies by Giovanni Battista Benedetti, Vincenzo Galilei and Galileo himself are remarkable.

In the 17th century physical acoustics was born with the fundamental contribution of Marin Mersenne (1488-1648) and Joseph Sauveur (1653-1716) who popularized the term acoustic. In the 18th century, physical acoustics was already a mature science and many mathematicians, philosophers of nature and professional musicians were involved in its development. In that period, music and musical theory had a role different from today,

linked to a millennial tradition. Many educated people knew how to play, and therefore it was not strange that mathematicians tackled musical themes. It was instead rarer for professional musicians to deal with the physical and mathematical aspects of their discipline. However, the period was suitable; the success of experimental physics and the creation of prestigious scientific academies pushed many educated people to frame their knowledge into the new science.

This also happened to two among the greatest musicians of the period: Jean Philippe Rameau (1683-1764) and Giuseppe Tartini (1692-1770).

2. Jean Philippe Rameau

It is not the task of this paper to establish why Jean Philippe Rameau began to think of music as a physical theory. About his scientific and general education little more is known that he first learned to play and then to write, attended the Jesuit college in Godrans, but he was not a good pupil, he intended in vain legal studies. His first important work in theory of music is the *Traité de l'harmonie: Réduite à ses principes naturels* of 1722. Here Rameau conceived music as a purely rational discipline, lamenting the lack of rigor of its theoretical developments, with explicit references to Descartes whose ideas on science were in vogue in French academies as late as the early 1700s. Even if the theoretical basis was still of a metaphysical character, laying on Zarlino's *senario*, an empirical imprint was clear not unrelated to Descartes' approach. Music is the "science" of sound and consonances are valid because the ear considers them as such.

The paradigm shift of French science – with the accentuation of the empirical aspect following England and Holland, thanks above all to the success of Newton's new philosophy of nature – had a deep influence on music theory in general and on Rameau in particular, leading him to seek an alternative physical explanation to the widespread metaphysical suggestions on the pleasantness or unpleasantness of musical intervals. This explanation was first presented in the *Nouveau système de musique théorique* of 1726 after Rameau made himself acquainted with the recent results in acoustics by Mersenne and Sauveur. In the *Nouveau système* Rameau emphasized that the three sounds which played together form the perfect chord, that is the complex sound generated by the frequencies with ratios 1: 3: 5, might be regarded as the product of nature. In the sense that an elastic body ("sonorus corps", in Rameau's language) put into vibration produced exactly sounds whose frequencies were in the ratio 1: 3: 5. This empirical fact appeared as a revelation for Rameau, to the point that he considered it the true principle of harmony (referred to also as the "sonorous principle") (Rameau 1726, p. iii).

Rameau took up the idea of the natural origin of harmony much more extensively in his two works *Génération harmonique, ou Traité de musique théorique et pratique* of 1737 and *Démonstration du principe de l'harmonie* of 1750. In the first work he presented music as a mathematical physical discipline in which sound is the physical object and the relationships between the different sounds are the mathematical object (Rameau 1737, p. 30), emphasizing that the relation physics-mathematics is easier to be caught for music than for other disciplines (Rameau 1737, Epistle, second page).

In the first chapter of the *Génération harmonique* 12 propositions and 7 experiments are presented. Among the propositions, Proposition XII which considers the ear as a sonorous body, communicating its vibrations and the sensation of sound and of harmony to the soul (Rameau 1737, p.7), is particularly interesting as it anticipates Helmholtz for instance. Among the experiments, some are based on auditory sensations and require a trained hearing, others are based on visual observation, as usual in physical experiments. Among the latter, Experience II is interesting. Here two cello strings of different lengths, l_0 and $l_0/3$, and natural frequencies f_0 and $3f_0$, are used. By making the longer string l_0 to vibrate (with frequency f_0), it is noticed that the shorter string $l_0/3$ begins to vibrate and sound (Rameau 1737, p. 8). This is an indication of the presence of harmonics of order 3 in the sound produced by the longer string that make the shorter string of natural frequency $3f_0$ to resonate. Rameau also added that by vibrating the shorter string, the longer string vibrates in its entirety and divides into three equal parts, albeit without emitting a sound (Rameau 1737, p. 9). It is clear here the influence of Sauveur who among the first noticed the presence of nodes and antinodes in a vibrating string. However, Sauveur, in the case of the experiment named by Rameau, would have said that the string of length $3l_0$ actually vibrates (resonates) with the same frequency f_0 of the string of length l_0 . Rameau in substance wrongly assumed the length $3l_0$ of the string as a parameter and then used its invers, that is its natural frequency $f_0/3$ as frequency of vibration. He will recognize this error in the *Démonstration du principe de l'harmonie* of 1750 (p. 20-21), without taking into account the consequences that this fact would have on his musical theory. In the Experience III Rameau used his well-trained ear to observe higher frequencies produced by a string of a viola or a cello. He can hear higher harmonics 2, 3, 4, 5, and also with difficulty higher harmonic 7 (Rameau 1737, p. 10).

Having showed that music has a physical foundation leads Rameau to overturning the situation: physics has a musical empirical foundation. Indeed, music has an empirical (the sonorous body) foundation, it is at the basis of the theory of fractions and proportions, physics is based on fractions and proportions, therefore physics has a physical foundation in music. Was Rameau fully convinced of his idea of the supremacy of music? Probably not, but in depth there was the personal ambition to be part of that scientific world in tumultuous evolution and the need to declare that his field of research was an important part of science. He had several contacts with the members of the Académie des sciences; the most interesting were those with Mairan, Castel, Euler and d'Alembert. The latter was so fascinated by the reading of Rameau's writings on musical theory, which he had met in 1749 as a reviewer of the memoir that Rameau had presented to the Academy, that he rewrote Rameau's memoir with his own interpretation of his theories, *Mémoire où on expose les fondemens d'un système de musique théorique & pratique* of 1752, going so far as to present Rameau in the *Discourse préliminaire de l'Encyclopédie* as the Newton of music, without however accepting the idea of the fundamentality of music over physics.

Many are and were the criticisms advanced by mathematicians, philosophers, and musicians to the theories of Rameau; even though many of his suggestions were actually accepted. Among the most stringent criticisms are those according to which Rameau's position on the natural origin of harmony is arbitrary. It is not true that nature suggests the higher harmonics 3 and 5 only; it also suggests harmonics of higher order: among them

the higher harmonic 7 is quite evident even according to Rameau. Rameau's position of excluding this harmonic is therefore not justifiable only asserting the interval it forms with the fundamental is dissonant. Furthermore, there are sonorous bodies different from the monochord in which the ratio between the higher harmonic does not follow the series of natural numbers (such as for instance vibrating bars).

Rameau's position, which can be criticized from a physical point of view, is however extremely fruitful and allowed him to classify the chords in a simple way, considering some of them as different forms of a fundamental type; moreover, it allows to justify consonances which cannot be directly verified by the sonorous body. For instance, consider the consonant interval with frequency ratio $f_2 / f_1 = 1.5$, that is an interval of fifth, and suppose that it is associated with $f_2 = 393$ (G), $f_1 = 262$ Hz (C). Replacing the highest frequency f_2 with a frequency equal to its half (with a musical language one octave below) $f_0 = 196.5$. The interval $f_1 / f_0 = 4/3$ is called a fourth. This interval, even though not produced by the sonorous body, should be consonant because the interval between the notes f_2 and f_1 was consonant and f_2 is equivalent to f_0 . The fourth, however, is judged by all the musicians less agreeable than the fifth, and sometimes it is also considered a dissonance.

3. Giuseppe Tartini

Giuseppe Tartini, citizen of the republic of Venice, substantially contemporary of Rameau, had a similar education. Addressed to legal studies, he soon devoted himself entirely to music. Like Rameau he owed his scientific training to himself and to sporadic interactions with mathematicians and natural philosophers, among which the most important were Giordano Riccati (1709-1790) and Leonhard Euler (1707-1783), with whom he came into contact thanks to Francesco Algarotti (1712-1764); it must be said that compared to Rameau he found himself in a less fertile cultural climate: Padua against Paris.

Tartini is today mainly famous as a *virtuoso* of the violin, the European master of this instrument. Less known is his work as a music theorist. This fact does not derive from the scarce relevance of his contribution, but rather from sociological reasons. The same ones that led to ignore the contribution of many thinkers of the past, who were then rediscovered and recognized as great. In his time, he had a great admirer in Jean Jacques Rousseau (1712-1778), who in his *Dictionnaire de musique* of 1768 wrote: "The system of M. Tartini, although in my opinion superior, is not generally known, and does not enjoy, at least in France, the same authority as that of M. Rameau" (Rousseau 1768, p. XIII). D'Alembert's position is more nuanced. In his 1762 edition of the *Éléments de musique*, he stated that Tartini wrote in an incomprehensible way for which he could not make an explicit pronouncement. Then with a touch of nationalism, he denied Tartini the priority of the discovery of the third sound, assigning it to his compatriot Jean-Baptiste Romieu (1723-1766) who had communicated it in 1753. Here a positive opinion of a modern historian of music: "Tartini one of the most gifted of theorists and musicians, and who intellectually, at least, was Rameau's superior" (Shirlaw 1917, p. 292).

Tartini's main works on musical theory are the *Trattato di musica secondo la vera scienza dell'armonia* of 1754, *De' principi dell'armonia musicale contenuta nel diatonico*

genere of 1767 and *Risposta di Giuseppe Tartini alla critica del di lui trattato di musica di M. Serre di Ginevra* still from 1767. The correspondence, especially that with Riccati and Euler, is also interesting.

The *Trattato di musica* is a long and complex text in six chapters plus an introduction. The first chapter is of experimental nature. Here Tartini reports Rameau's results, by quoting him, on the presence of higher harmonics in the vibrations of sonorous bodies, particularly those of vibrating strings. Compared to Rameau, he gave greater importance to even higher harmonics, criticizing the fact that they have been substantially ignored by all musicians. The first chapter of the *Trattato di musica* is largely repeated in *De' principi dell'armonia musicale*. Alongside the known phenomena, Tartini added another one named by him third sound, whose discovery he claimed since 1714, but which he made known in print for the first time in the *Trattato di musica* of 1754, after Romieu had announced his discovery in 1753: playing together two different notes on a bichord – but the results are of a general nature – a third note is heard which appears from seemingly nowhere (Tartini 1754, p.13).

The explanation of the phenomenon of the third sound is still partly controversial; a minority thinks that a neurological component is important, the majority points to an essentially mechanical explanation (Bini, Lami 2019). The latter, the only one of which we provide a nod, is the subject of nonlinear dynamics and is substantially simple: if two periodic sounds with fundamental frequencies f_1 and f_2 act as an input to a linear oscillator, the output of the oscillator has the same frequency content of the input; that is, there are still two components with the frequencies f_1 and f_2 and the respective higher harmonics, even though the ratios between their amplitudes change as a result of the filtering effect of the oscillator. If instead the two previous periodic sounds act as an input of non-linear oscillator, the output is much more complex and besides components of frequency f_1 and f_2 (and their higher harmonics) other frequencies appear, now called sounds of combination as their frequencies are defined by a linear combination of the kind $f = |nf_1 \pm mf_2|$, where n and m are integers. Tartini's third sound is a particular combination sound (Lohri 2016). There are two sources of non-linearity always present in music, which play a different role depending on the circumstances, those of the source (extra-aural) and that of the listener's ear (intra-aural). Regarding the source, referring for example to the bichord of a violin, the non-linearity is not so much due to the strings, but to the resonance chamber, to the bridge, etc. Regarding the ear, it is only necessary to reflect that it is a real oscillator with strong characteristic of non-linearity, which transmits the sounds propagated in the air to the brain.

In the *Trattato di musica* Tartini presented various combinations of bichords and for each of them he provided the third sound, in *De' principi dell'armonia musicale* he gave a general rule, which translated into a modern language establishes that given two frequencies f_1 and f_2 the third sound is given by a frequency f , which is the greatest common divisor of the two frequencies and therefore lower than both. An interesting result found by Tartini, first in the *Trattato di musica* and then in the *De' principi dell'armonia musicale*, is that considering bichords tuned to the frequencies respectively of $1/2$; $2/3$; $3/4$; $4/5$; $5/6$, the third sound is always the same, corresponding to the fundamental frequency 1. In this way Tartini somehow reverses Rameau's result. The latter stated that a body vibrates not only with the fundamental frequency but also with its higher harmonics (from unity to diversity),

Tartini stated that the various higher harmonics are connected in a natural way to the fundamental frequency (from diversity to unity) that is heard even if it is not played.

The second chapter of the *Trattato di musica* is of a geometric nature and is motivated by Tartini's particular epistemology. This chapter is particularly complex and was subject to many criticisms (Barbieri 1994) so that Tartini reduced it drastically in *De'principi dell'armonia musicale*. According to Tartini, in order for a musical (and also scientific) theory is validated, there must be physical proofs, mathematical proofs and an agreement with the expert's judgment at the same time (Tartini 1767, preface).

Everything seems to go smoothly and in accordance with the physical and mathematical approach of the times. Actually, this is not the case, in Tartini; differently from what happens in mathematical physics, the geometric and mathematical parts are substantially independent of each other, there is neither a theoretical deduction from physical principles nor a hypothetical deductive approach. The mathematical part leads to the same results as the physical one, but does not confirm it. It is a free fruit of Tartini's imagination who seeks the unity of harmony in geometry, after having found it with physical tests. Moreover, how to place in a mathematical physical epistemology expert's opinion, an aesthetic requirement indeed? This is alien to science, even that of the 18th century.

Tartini is often accused of being a bad mathematician; he himself confessed he only knew geometry and not algebra (it is not clear what he means by algebra). Reading his writings actually shows an author who has an excellent confidence with geometry. What he lacks is the rigor of the professional mathematician, who takes nothing for granted. Instead, he bends geometry to its needs, mixing Platonic mysticism with Archimedean rigor. But he was not the only one who bent mathematics to his needs; almost all the greats did it, including Galileo.

References

- Barbieri P. (1994). *Il sistema armonico di Tartini nelle censure di due celebri fisico matematici: Eulero e Riccati*, in Bombi A., Massaro N.M., *Tartini, il tempo e le opere*. Bologna: Il Mulino, pp. 321-343.
- Bini C., Lami G. (2019). *I suoni di combinazione ed il terzo suono di Tartini: fisica, storia e musica*. Pisa: Il Campano.
- Lohri A. (2016). *Kombinationstöne und Tartinis "terzo suono"*. Mainz: Schott.
- Rameau J.P. (1726). *Nouveau système de musique theorique*. Paris: Ballard.
- Rameau J.P. (1737). *Generation harmonique, ou traité de musique theorique et pratique*. Paris: Prault.
- Rameau J.P. (1750). *Démonstration du principe de l'harmonie, servant de base à tout l'art musical théorique & pratique*. Paris: Durand and Pissot.
- Rousseau J.J. (1768). *Dictionnaire de musique*, vol. 1. Paris: Duchesne.
- Shirlaw M. (1917). *The theory of harmony*. London: Novello.
- Tartini G. (1754). *Trattato di musica secondo la vera scienza dell'armonia*. Padova: Stamperia del Seminario.
- Tartini G. (1767). *De'principi dell'armonia musicale*. Padova: Stamperia del Seminario.

The Combination Tones: from Tartini to Helmholtz

Claudio Bini - claudio.bini46@gmail.com

Danilo Capecchi - danilo.capecchi@uniroma1.it

Giulia Capecchi - Schola Cantorum Basiliensis - giulia.capecchi95@gmail.com

Guglielmo Lami - SISSA - glami@sissa.it

Abstract: Under certain circumstances, when two sounds are simultaneously emitted, new Fourier frequencies can be produced and detected by the human ear. These are called “combination tones”. We review the development of the scientific debate about combination tones, from the discovery due to the violinist Giuseppe Tartini (1692-1770) to the seminal work of Hermann von Helmholtz (1821-1894). We highlight the importance of this debate in the evolution of many aspects of musical thinking and of the scientific thinking.

Keywords: Tartini, Third sound, Combination tones, Acoustics, Music.

1. Tartini’s “third tone”

The life and the experience of Giuseppe Tartini (1692-1770) are among the most interesting in the European musical scenario of the age of enlightenment. Tartini was the most respected and talented violin *virtuoso* of his time, thus earning the nickname of *Maestro delle Nazioni* (master of nations). Furthermore, he was also an estimated composer and teacher. In addition to these purely musical activities, his activity in the context of musical theory and musical acoustics is remarkable. In these fields, Tartini was a great investigator and experimenter, mainly because of an incomparable mastering of the violin and of a very sensitive musical ear. Notably, the reputation of Tartini is related to the discovery of the so-called “Tartini tone” or “Tartini third sound”, independently observed also by the organist Georg Andreas Sorge (1703-1778). This particular acoustic phenomenon occurs when two notes are simultaneously played on a violin, making a “bichord”. In this case, an unexpected “third sound” (usually much deeper than the first two) is audible. This is how Tartini introduce the phenomenon in his celebrated work *De’ principi dell’armonia musicale contenuta nel diaconico genere*:

Incominciando dalla sicurezza del fenomeno, è fisicamente certo che dati due suoni simultanei forti, e prolungati, date due voci simultanee forti, e prolungate, si sente un terzo suono simultaneo, diverso dai due dati suoni, e dalle due date voci (Tartini, 1747, p.5).

Sometimes, only highly sensitive ears can clearly recognize the third sound, which is

actually very weak. Sometimes it can be heard also with other musical instruments. In his works, Tartini catalogues and reports on the pentagram the third sound generated by all the main musical intervals. Let us remind the reader that the concept of “musical interval” is strictly connected to the ratio between the two fundamental frequencies of the notes that compose the bichord. If these frequencies are called f_1 and f_2 (with: $f_2 > f_1$), the ratio will be f_2 / f_1 . The accepted numerical values of this depends on the “tuning system” used for the musical instrument. In this work, we will mostly focus on the so-called “just intonation”, for which Tartini had a strong preference. In this system, the ratios of the fundamental frequencies are always ratios of simple natural numbers. We can distinguish the following main intervals: unison (1/1), major second (9/8), major third (5/4), perfect fourth (4/3), perfect fifth (3/2), major sixth (5/3), major seventh (15/8), perfect octave (2/1). For example, in a perfect fifth we will have two simultaneous sounds such that three wave periods of the highest note exactly correspond to two wave periods of the lowest note. In this particular case, Tartini reports that the third tone coincides with the lowest fundamental of the bichord. Other examples of the third-sounds reported by Tartini are shown in Figure 1.

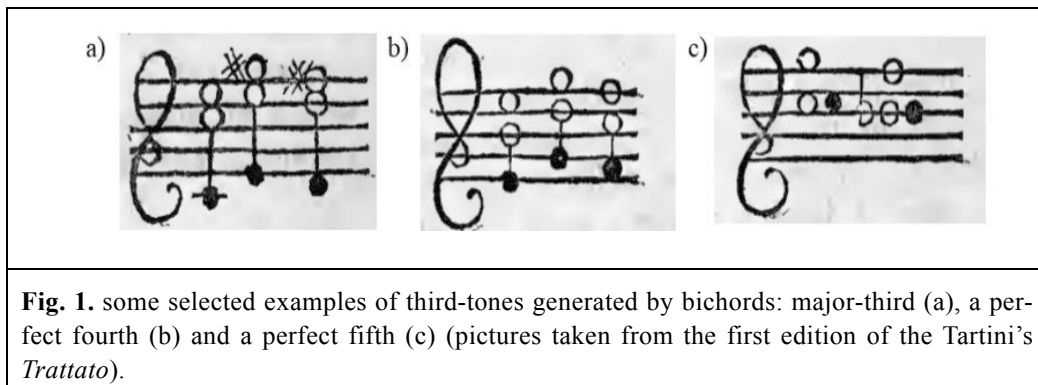


Fig. 1. some selected examples of third-tones generated by bichords: major-third (a), a perfect fourth (b) and a perfect fifth (c) (pictures taken from the first edition of the Tartini’s *Trattato*).

Making some clarifications is important at this stage. With few exceptions, any violinist is, still today, not able to predict exactly the third tone produced by a bichord and even after the performance the situation can be rather unclear: indeed, sometimes the same musicians, using different violins, declare to perceive different third tones. Tartini himself, in a later writing, called *Rule of the third tone* (Tartini 1762), will make several additions to what he had originally stated in his treatise. For example, as regards to the fifth interval, he wrote that the third-tone can be one octave lower than the lowest note (in contrast to what is reported in Figure 1.c). Thus, the third tone turns out to be quite “elusive” and it is not surprising that only the great experimenter genius of Tartini was able to identify him.

2. Development of a scientific debate

In his works, Tartini did not provide any physical explanation for the phenomenon of the third sound. Indeed, he was more interested in philosophical and mathematical specula-

tions on the nature of the circle, whose geometrical properties were considered by him essential for the foundation of a legit musical system (Walker 1978). Moreover, he used the third sound as a key concept in his music theory and in his composing practice, considering it as a sort of “fundamental harmonic”.

Tartini was able to spread his discovery in the European scientific community, thanks to a large network of contacts. As reported by a biographer, Tartini exchanged letters with many mathematicians and physicist, as Giordano Riccati (1709-1790), Francois Jacquier (1711-1788), Jean Antoine Nollet (1700-1770) and, remarkably, Jean Baptiste D’Alembert (1717-1783) and Leonard Euler (1707-1783), among others. As we will see, in the following decades other famous scientists got involved, creating a large scientific debate. After the reading of the *Trattato*, Euler had a significant exchange of letters with Tartini. In these, Euler criticized several aspects of the Tartini musical theory and his use of the third tone. For our purpose, we will only focus on a passage where Euler firstly suggests a physical explanation of the third sound:

[...] e la ragione si è che quando due suoni in una volta urtano l’orecchia, le loro vibrazioni s’incontrano, alquante volte, e riunitesi fano una simile impressione, che se un terzo suono vi fosse le vibrazioni del quale fossero accordate con gl’incontri dei due primi (Malagò 2020, p. 262).

What Euler observed is that, in many cases, the frequency of the third-tone seems to match with the frequency that modulates the sum of two purely sinusoidal waves. As an example, let us consider again the case of a perfect fifth (see Figure 1.c). In this case the ratio of the fundamental frequencies is $f_2 / f_1 = 3/2$. This means that the sum of the two corresponding sinusoidal waves has a period equal to two times the period of the lowest note (that is, three times the period of highest note). Euler thought that the periodic modulation of the sum of the two waves is itself perceived as a musical note, of frequency $\frac{1}{2}f_1 = \frac{1}{3}f_2$. This note is an octave lower of the lowest note of the bichord, and it is indeed the third-sound reported by Tartini in the *Rule of the third tone*. The Euler’s conclusion was:

Tutti gli esempi del S.r Tartini sono congruenti con q.ta conclusione; ed il suono prodotto secondo q.ta regola non differisce dall’osservato dall’Autore che d’una o alcune ottave, la qual differenza non è sostanziale.

Essentially the same theory was exposed few years later by the great Italian scientist Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), in a memoir dated 1759. Lagrange explicitly assimilated the phenomenon of the third sound to that of “beats”, discovered in 1710 by Joseph Sauveur (1653-1716):

[...] Nous venons de voir que la particule d’air qui se trouve dans la rencontre de deux sons reçoit un ébranlement différent de celui qui est produit par chaque son en particulier; donc, si les sons sont de telle nature que leurs vibrations concourent toujours après un certain temps donné, l’impression suivie et régulière de ces ébranlements composés pourra être distinguée des autres impressions particulières, et une oreille assez exercée entendra un troisième son, dont le rapport avec les autres se trouvera en comparant le nombre des vibrations particulières que chacun d’eux

achève entre deux concurrences successives. [...] Il est donc vraisemblable que le troisième son de M. Tartini n'est produit que par une suite de battements (Lagrange 1867, p. 142).

Therefore, both Euler and Lagrange believed that the third-tone was only due to the effects of a simple (linear, in modern language) superposition of sound waves. This opinion was shared also by Thomas Young (1773-1829) in the context of his theory of waves interference:

The greater the difference in the pitch of two sounds, the more rapid the beats, till at last [...] they communicate the idea of a continued sound; and this is the fundamental harmonic described by Tartini (Kipnis 1991, p. 29).

However, other theories were proposed. Young himself suggested that two tones sounding together may produce more than one third sound. The natural philosopher John Gough (1757-1825) firstly proposed that third sounds may be only due to the subjective hearing mechanisms. In 1805, Gehrard Vieth (1763-1836) was the first to introduce the term "combination tone". In 1832, the physician Gustaf Hällström reworked the beat theory, suggesting that the third sound could be given by the difference between the fundamental frequencies, i.e., $f_2 - f_1$. It is not difficult to realize that in the cases in which f_1, f_2 are such that $f_2 / f_1 = (n+1) / n$, the third sound computed with this rule exactly match with the third-sound computed with the Euler/Lagrange rule. Hällström also noticed that Tartini tones could have combined with the original upper harmonics, giving rise to "second order" combination tones, for example: $2f_2 - f_1, 2f_2 - 2f_1, 3f_2 - 2f_1$, etc.

A very in-depth experimental and theoretical analysis was then conducted by Hermann von Helmholtz (1821-1894), who devoted to combination tones a whole chapter of his seminal work *On the sensations of tone*. Helmholtz discovered the "sum tone", a new combination tone given by the sum of the fundamental frequencies, i.e., $f_2 + f_1$. Helmholtz also confirmed the existence of the combination tones of a higher order, which Hällström had talked about. Moreover, he refused beat theory, because of several arguments:

[...] this supposition [beat theory], in the first place does not explain the origin of summational tones, being confined to the differentials; secondly, it may be proved that under certain conditions the combinational tones exist objectively, independently of the ear which would have had to gather the beats into a new tone; and thirdly, this supposition cannot be reconciled with the law confirmed by all the other experiments, that the only tones which the ear hears, correspond to pendular vibrations of the air (Helmholtz 1877, p. 156).

In the first point, he refers to his experiments in which some glass resonators, able to isolate frequencies, demonstrated the objective existence of combination tones outside the human ear. In the second point, he mentioned the impossibility of beat theory to explain any summation tones. Finally, last point is particularly important. Indeed, it shows that Helmholtz was among the firsts to fully appreciate the importance of Fourier analysis for the ear perception. He emphasized what Georg Ohm (1789-1854) firstly proposed with his famous acoustic law, essentially stating that the human ear acts as a "Fourier analyzer".

Helmholtz then argued that the theory of beats (or in general any “linear theory”) could not explain the presence in the spectrum of a bichord of a frequency missing in the spectrum of the two original sounds. This because any linear response can only change the amplitudes of the Fourier components of the incoming signal: it cannot combine different Fourier components, giving rise to new frequencies in the outgoing signal. Ultimately: beat theory is inadequate to explain the phenomenon of combination tones. Thus, Helmholtz developed a new theory, also known as “distortion theory”, based on grounded mathematical argumentations. He detected the cause of the phenomenon in the “non-linear” mechanisms generally taking place in all the elastic bodies subjected to vibrations that are “small but not infinitesimally small”. Because of these, the oscillations produced by the simultaneous incoming of two waves are not equal to the sum of the oscillations produced by the single waves. This explanation is indeed at the basis of the modern interpretation of the phenomenon.

By means of several experiments, Helmholtz also concluded that most of the “strength” of combination tones should be produced inside the ear. He argued that inside the human auditory organ, the anatomical asymmetry of some apparatuses could influence the eardrum motion, giving rise to non-linear mechanisms. Mathematically, these correspond to small deviations from the usual (and linear) Hooke’s law for springs.

Helmholtz’s contributions were crucial, also because his explanations were entirely based on well-known laws of mechanics and, consequently, they deprived of foundation the several theories proposed at that time, which the complexity of combination tones were explained by speculating about some non-physical properties of human ear. In presenting his results to the Berlin Academy of Sciences, in 1856, Helmholtz indeed stated:

I therefore will allow myself to present the Academy with a new explanation that is based entirely on known mechanical laws that make it unnecessary to endow the human ear with any special properties (Hiebert 2014, p. 36).

Helmholtz’s theories were accepted by the vast majority of the scientific community. It became clear that non linearities can in principle give rise to any combination tone of frequency $|n f_1 \pm m f_2|$ (Olson 1969), explaining the difficulty of violinists in finding a well-defined “third-sound”: depending on the instrument and on the execution, different combination tones may be enhanced. Different ideas on the origin of non-linearities have been expressed from Helmholtz to nowadays, being the scientific community still divided between supporters of the *intra-aural* origin (Roederer 2018) and *extra-aural* origin (Lohri 2011). In the XIX century many experiments have been done in order to understand the role of the ear’s physiology (see Caselli, Masetti, Cecchi 2018 for a review).

3. Conclusions

To conclude, we want to point out that combination tones entered in the scientific debate of the XVIII and XIX centuries as a problem of absolutely non-marginal interest. Many great scientists devoted works on this subject. These works have contributed to

the development of different fields, such as musical acoustics, Fourier analysis, physiology of the human ear. As one of the oldest manifestations of non-linear response in physics, one can also argue that the problem of combination tones marks the beginning of non-linear sciences. This field, still very active nowadays, studies the specific characteristics of non-linear physical systems, that are the majority of real physical systems. It's also worth to recall that phenomena totally analogous to combination tones have been detected and well analyzed in non-linear optics, where, about the propagation of light in specific means, people talk about "generation" of sum frequencies or difference frequencies.

References

- Barbieri P. (1994). *Il sistema armonico di Tartini nelle censure di due celebri fisico matematici: Eulero e Riccati*, in Bombi A., Massaro N.M., *Tartini, il tempo e le opere*, Bologna: Il Mulino, pp. 321-344.
- Caselli G., Masetti G., Cecchi G. (2018). "Tartini, the third tone and the cochlea". *pH magazine*, 1, pp. 1-24.
- Helmholtz (von), H. (1877). *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. English translation by A. J. Ellis, fourth ed. New York: Longmans.
- Hiebert E. (2014). *The Helmholtz legacy in physiological acoustics*. Dordrecht: Springer.
- Kipnis N. (1991). *History of the principle of interference of light*. Basel: Springer.
- Lagrange J. (1867). *Recherches sur la nature et la propagation du son*, in *Oeuvres de Lagrange*, vol. 1. Paris: Gauthier-Villars, pp. 39-148.
- Lohri A., Carral S., Chatziioannou V. (2011). "Combination tones in violins". *Archives of acoustic*, 36 (4), pp. 727-740.
- Malagò G. (2020). *Giuseppe Tartini. Lettere e documenti*. Trieste: EUT.
- Olson D. (1969). "Musical combination tones and oscillations of the ear mechanism". *American Journal of Physics*, 37, pp. 730-733.
- Roederer J.G. (2008). *The physics and psychophysics of music: an introduction*, Fourth edition. Dordrecht: Springer.
- Tartini G. (1747). *De' principi dell'armonia musicale contenuta nel diaconico genere*. Padova: Stamperia del Seminario.
- Tartini G. (1754). *Trattato di musica secondo la vera scienza dell'armonia*. Padova: Stamperia del Seminario.
- Walker D.P. (1978). *Studies in musical science in the late renaissance*. London: The Warburg Institute.

Archival sources

- Tartini G. (1762). *Regola del terzo suono*. London, British Library, Music Collections, Add MS 32150.

Viviani. Prospettive di uno scienziato

Erika Bercigli - Università degli Studi di Bologna - erikabercigli840@gmail.com

Abstract: Inside history of science, a historiography that highlighted the life and work of trail-blazers of this field has often been chosen by academics, due to their desire to make an appealing history for new generations.

Even though several brilliant minds such as Galileo are still handing down as effortless geniuses, this process had left other “minor figures” who are still forgotten by history, even though they were responsible for hand down to posterity the legacy of their teachers. This is the case of Florentine scientist Vincenzo Viviani. Born during the apex of the Scientific Revolution, Viviani is widely known by science historians as the last direct pupil of Galileo Galilei and as his biographer who helped create the myth of his teacher. We still know little about his scientific work and the contributions Viviani had left, even though we know some of his life, thanks to the work that Paduan historian Antonio Favaro had done in 1913.

This article aims to show, from a scientific point of view, a hidden side of Viviani as a scientist, his relationships with his colleagues and his long-time patrons, the Medici family, and the contributions he had left in the field of physics and astronomy.

Keywords: Vincenzo Viviani, Astronomy, Medici Family, Physics, Accademia del Cimento.

1. Vincenzo Viviani: una vita all’ombra di Galileo

Quando parliamo di sapere scientifico, uno dei primi nomi che vengono in mente è quello di Galileo Galilei, considerato come il padre della moderna scienza. Nonostante i nuovi studi effettuati dagli storici della scienza stiano cercando di riportare anche il lato umano dello scienziato pisano, Galileo rimane, per molti, una figura mitica che rappresenta la scienza laica contro lo strapotere della Chiesa. Questa mitizzazione della sua figura e la trasmissione ai posteri del suo pensiero e delle sue teorie scientifiche furono frutto di un’opera letteraria del 1654, *Racconto Istorico della vita di Galileo*, scritto dal protagonista della nostra indagine: Vincenzo Viviani (1622-1703).

Riguardo alla sua vita, lo storico Antonio Favaro ne ricostruì, nel lontano 1913, un’esauriente ed esaustiva biografia che ha tramandato la sua figura al mondo accademico; ma allora, come mai un matematico dalla mente così brillante che Galileo voleva che diventasse uno scienziato importante, è rimasto relegato, anche a livello scientifico, nell’ambito delle figure minori della storia della scienza?

1.1. Prospettive storiografiche

L'esclusione dalla storiografia scientifica e il suo conseguente relegamento a figura minore è da ricercarsi nella trasmissione biografica e scientifica della sua storia. Poco dopo la morte dello scienziato fiorentino avvenuta a Firenze il 22 settembre 1703, iniziarono a nascere delle opere, in particolare delle cronache e delle elegie, che tramandarono la figura di Viviani a livello storico. Infatti, dai racconti scritti dai suoi primi cronisti e anche dall'autobiografia che Viviani lasciò al suo dottore Tommaso Perelli (BNCF 1697), emerge un ritratto alquanto variegato sulla figura dello scienziato fiorentino la cui vita privata, spesso, si mescolò con quella scientifica. Da persona affabile e modesta, ad indagatore scrupoloso e meticoloso, quasi ai limiti del perfezionismo, anche nel suo lavoro di ingegnere dei fiumi, un uomo che cercò sempre di distinguersi all'interno della cerchia degli scienziati galileiani.

Questa dualità emerge anche nelle lettere dell'imponente epistolario di Viviani, conservato all'interno del fondo galileiano presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze. Principalmente, Viviani intrattenne un lungo e prolifico rapporto di amicizia e di rispetto con il casato mediceo, diventando protetto di Ferdinando II sin dalla giovane età quando il Granduca esaminò il suo talento naturale verso la matematica a Livorno (Tocci 1708). È da ritenere che l'interesse dei Medici verso la scienza non fosse solamente una passione che andava di pari passo con le mode di corte, ma piuttosto che questo facesse parte di una manovra politica atta a migliorare, attraverso il mecenatismo scientifico, le condizioni socio-economiche del Granducato di Toscana. Ciò s'intravede anche nel grande flusso di scienziati europei che, attratti dalle novità di Galileo, decisero di andare a Firenze; alcuni, ad esempio Niels Steensen (1638-1686), decisero di trasferirsi stabilmente per lavorare come scienziati dei Medici.

Nei suoi anni a corte, Viviani si dimostrò uno scienziato attento alle novità, mostrando una certa dose di curiosità anche se, per tutta la sua vita, decise di non staccarsi dalla linea di studio iniziata con il suo maestro Galileo. Inoltre, lo scienziato fece spesso da intermediario tra la corte e i suoi colleghi, alcuni dei quali però non gradivano questa sua eccessiva modestia, vista come una cortigianeria finalizzata, secondo l'interpretazione di molti storici, verso un tornaconto personale; ciò può essere, in parte, ritrovato all'interno della corrispondenza avuta con l'amico Bruto della Molar, nobile romano e cortigiano di casa Medici.

Ferdinando II tenne il matematico fiorentino in grande considerazione non soltanto come membro influente della corte, ma anche come scienziato, anche se solamente nel 1666 gli conferì il titolo di matematico di corte. Un sentimento simile non si ritrovò però in Cosimo III né nel figlio, il Gran Principe Ferdinando, di cui Viviani fu precettore; il giovane allievo mostrò infatti una certa insofferenza verso la "vecchia" scienza galileiana preferendone le novità portate dal giovane e promettente matematico tedesco, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Questo favoreggiamento si ritrovò fortemente nella famosa disputa matematica del 4 aprile 1692, occorsa tra Viviani e Leibniz, la quale, grazie all'innovazione portata da quest'ultimo nel risolvere il problema attorno alle vele (Roero 1999), decretò che la scienza galileiana era ormai superata. Sebbene Viviani avesse accettato la disfatta a livello personale, non comprendendo le novità, a

livello pubblico avvertì questa sconfitta come un tradimento, soprattutto da parte dei suoi mecenati che aveva servito per una vita. Questo rapporto tra la scienza galileiana rappresentata da Viviani e la famiglia Medici fu ricucito solo *post mortem* dall'allievo dello scienziato, il granduca Gian Gastone de' Medici, che nel 1737 ordinò la costruzione del monumento funebre a Galileo e a Viviani nella Basilica di Santa Croce, sancendo così un ritorno degli studi fisici ed astronomici, svincolandoli dalla pressante influenza della Chiesa.

Ma Viviani, com'era come scienziato? Che rapporto aveva con i suoi colleghi? Dal suo epistolario, ne ricaviamo un ritratto abbastanza singolare che ci permette di vedere da vicino sia il suo rapporto con alcuni suoi colleghi scienziati sia i suoi contributi in campo fisico ed astronomico.

2. Viviani tra fisica e astronomia

Formatosi principalmente come matematico dedito allo studio della geometria degli antichi, Viviani cercò sempre di ampliare i suoi orizzonti di studio anche in altri campi come la fisica e l'astronomia dove collaborò con tantissime menti brillanti del periodo come Giovanni Alfonso Borelli e Giovanni Domenico Cassini di cui diventò amico.

Tuttavia, a causa di una mancanza di tempo materiale dovuta al suo lavoro come ingegnere dei fiumi (Maglioni 2001) e da una salute cagionevole che lo costrinse a lunghi periodi di riposo, moltissimi dei suoi lavori vennero abbandonati e, ad oggi, costituiscono l'imponente fondo scientifico di Viviani conservato alla Biblioteca Nazionale centrale di Firenze. I suoi appunti, studi e pensieri inediti sono numerosissimi; pertanto, nel corso del presente studio ne sono stati selezionati solo alcuni, soprattutto quelli inerenti ai lavori fisici ed astronomici, per cercare di ridare un'idea della varietà e della curiosità che animò Viviani nei suoi studi.

In campo fisico, i primissimi esperimenti risalgono al periodo della sua collaborazione con Galileo, in qualità di assistente; infatti, in quegli anni, Viviani era diventato amico del figlio del suo maestro, Vincenzo ed insieme avevano deciso di replicare il famoso esperimento del pendolo galileiano per cercare di confutare il lavoro di Galileo provando a trovare un'uniformità sull'oscillazione. Purtroppo, l'esperimento incontrò non pochi problemi e dovette essere abbandonato per poi essere ripreso solamente nel 1649; Viviani riuscì a contattare anche un fabbro di nome Domenico Balestrieri che costruì una struttura in ferro sulla quale si sarebbe realizzato il lavoro che mai fu portato a termine, a causa della morte di Vincenzo Galilei il 16 maggio del 1649.

Poco dopo la morte di Galileo, Viviani iniziò a lavorare con Evangelista Torricelli (1608-1647), collaborando all'esperimento del barometro nel 1644; ma i veri lavori nei quali Viviani poté operare furono legati al periodo dell'Accademia del Cimento, quando lo scienziato fiorentino lavorò a stretto contatto con Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679). Prima della fondazione dell'Accademia nel 1657, Borelli e Viviani si erano messi in contatto epistolare grazie all'intercessione del nipote di Galileo, Cosimo Galilei (1636-1672) nonché protetto di Viviani, durante i suoi studi a Pisa, su espressa richiesta

di Borelli che voleva conoscere Viviani.¹ Saputo dal suo contatto che lo scienziato catanese stava cercando casa a Firenze, Viviani intercedé con il Granduca Ferdinando affinché gli trovasse un alloggio adeguato; da quel momento, Borelli e Viviani divennero amici e, nel contempo, intrattennero una lunga relazione epistolare dalla quale emerge che rimasero sempre in buoni rapporti.

A livello scientifico, i due scienziati collaborarono in più occasioni, soprattutto in due esperimenti: il primo fu la ripresa dell'esperienza sull'oscillazione del pendolo avvenuta il 10 ottobre 1656 e citata in una lettera di Viviani successiva, indirizzata ad un destinatario non bene identificato, ma dal cui incipit si può ritenere possa essere Cosimo Galilei (BNCF 1656). Il secondo, occorso il 12 ottobre del 1656, avvenne presso la Villa Medicea della Petraia dove, utilizzando un cannone, i due scienziati riuscirono a determinare la differenza tra lo scoppio e il lampo ottenendo un valore approssimativo di 350 m/s per la velocità del suono (BNCFb). Purtroppo, gli anni da accademici del Cimento, all'interno del quale Borelli ricoprì il ruolo di segretario generale, e la crescente insofferenza di quest'ultimo per l'ambiente accademico fiorentino, incline a seguire una linea moderata concordata con il Granduca, fecero sì che Borelli desiderasse ardentemente andarsene da Firenze, cosa che fece nel 1661, poco dopo la sua disputa con Viviani riguardo ai loro studi sul quinto libro delle *Coniche* di Apollonio di Perga.

È da ipotizzare che, negli anni da accademico del Cimento, Viviani decidesse di lavorare su un trattato di fisica mai completato dando una definizione abbastanza esauriente di cosa fosse la fisica: «Questo nome di Fisica considerato [di per] se solo, o secondo la sua etimologia, non vuol dir altro che Naturale; ma però qui significa la Scienza delle cose naturali, quella cioè che c'insegna le ragioni, e le cause di tutti gli effetti prodotti dalla Natura» (BNCFa).

Con i suoi colleghi, anche durante gli anni del Cimento, mantenne un rapporto che oscillò tra il formale e l'amicale, diventando un punto di fondamentale importanza anche per i giovani matematici dell'epoca come Leibniz che l'ammirava, anche dopo la famosa disputa del 1692.

In campo astronomico, Viviani mantenne una forte curiosità per le novità che circolavano negli ambienti accademici e si rese protagonista di diverse relazioni scientifiche legate ad osservazioni di fenomeni naturali che annotò minuziosamente, come quella dell'eclissi di Luna del 17 luglio 1674 osservata dal Giardino di Boboli assieme a Leopoldo de' Medici o l'eclissi di Sole avvenuta il 12 maggio 1667 mentre lo scienziato si trovava presso la corte del re di Francia, Luigi XIV.

Uno dei primi coinvolgimenti non tanto come singolo scienziato, ma in quanto membro del Cimento avvenne tra il 1658 e il 1659 quando l'Accademia venne chiamata a giudicare, in qualità di giudice imparziale, la disputa scientifica tra lo scienziato olandese Christiaan Huygens (1629-1695) e il collega e costruttore di cannocchiali italiano Eustachio Divini (1610-1685). Come raccontato nell'articolo ad essa dedicato (Giannini, 2020), gli studiosi del Cimento incontrarono, seppur indirettamente, i colleghi dell'accademia francese di Montmor della quale Huygens era membro dandogli, inoltre, l'esclusiva della scoperta di Saturno e della sua luna, Titano. Divini aveva contestato ad

¹ Cfr. 'Lettera di Cosimo Galilei a Vincenzo Viviani', Ms. Galileiani, Discepoli. Vol.LI, c.83, in: Favaro 1983.

Huygens la validità della sua ipotesi riguardo alla conformazione anulare di Saturno così, attraverso una serie di scambi epistolari, il caso era passato nelle mani del Cimento. Il principe Leopoldo fece mantenere ai suoi accademici la massima riservatezza e segretezza sugli esperimenti che avvenivano nelle sale della biblioteca palatina, dove, addirittura, fu costruito un modello meccanico del pianeta seguendo le indicazioni lasciate nell'opera di Huygens. Oltre a constatare le osservazioni dello scienziato olandese, si appurò anche la validità della strumentazione usata. In particolare, Viviani verificò di persona il lavoro di Huygens perché riuscì, tramite il suo amico di lunga data Carlo Roberto Dati (1619-1676), con il quale ebbe una breve relazione epistolare, ad avere una copia del *Systema Saturnium*, opera del 1659 che Huygens aveva dedicato a Leopoldo de' Medici. Alla fine, gli accademici del Cimento, Viviani incluso, concordarono che lo scienziato olandese aveva ragione; tuttavia, diedero ragione anche a Divini riguardo alla fallacia della strumentazione di Huygens perché questa risultò a loro dire imperfetta nella lavorazione delle lenti del cannocchiale, mentre quella di Divini era molto più avanzata in termini tecnici.

Durante i lavori, l'Accademia del Cimento provò ad instaurare un rapporto di collaborazione con i colleghi francesi di Montmor ma, a causa di una diffidenza di fondo di alcuni accademici come Borelli, questa relazione non poté mai concretizzarsi se non attraverso i singoli membri dell'Accademia, Viviani tra tutti. Egli in particolare rimase nell'orbita francese grazie ai suoi contatti: il bibliotecario del re Melchisédech Thévenot (1620-1692) e l'amico astronomo Giovanni Domenico Cassini (1625-1712). Thévenot e Viviani si conobbero epistolarmente durante i lavori del giudizio sulla disputa tra Huygens e Divini, quando Thévenot fu incaricato di fare da ambasciatore tra gli accademici francesi di Montmor e gli accademici del Cimento, creando una lunga relazione epistolare con Leopoldo de' Medici. Il rapporto intercorso tra Viviani e Thévenot fu di natura formale anche se ci fu uno scambio di libri e di idee di studi da fare, sia in campo fisico sia in campo astronomico. Caso diverso fu il rapporto con Giovanni Domenico Cassini. Cassini e Viviani si conobbero nel 1665 quando entrambi vennero chiamati rispettivamente dallo Stato Pontificio e dal Granducato di Toscana, in qualità di ingegneri dei fiumi per risolvere una contesa tra i due stati riguardante una zona della Val di Chiana. Il periodo di lavoro in Val di Chiana fu prolifico per entrambi perché, oltre a realizzare alcuni studi congiunti, cementò la loro amicizia che proseguì in via epistolare anche quando Cassini andò in Francia come astronomo di corte. Tra i due ci fu una stima reciproca e, spesso, si inviarono dei lavori scambiandosi così idee e pareri sugli studi che stavano compiendo; non è raro trovare, all'interno della loro corrispondenza, la richiesta di libri, come quella delle importanti *Ephemerides Bononienses Mediceorum Syderum* di Cassini del 1668, con l'intento di leggere gli studi dell'amico. Inoltre, Viviani agì da interlocutore tra l'amico scienziato e Leopoldo de' Medici, al quale raccontò, per via epistolare, degli studi e delle osservazioni che Cassini aveva effettuato antecedentemente alla lettera del 1° agosto del 1665 che lo scienziato fiorentino mandò al suo mecenate. All'interno delle lettere che compongono la loro relazione di amicizia, ce ne sono due che risalgono al periodo della senilità di Viviani ossia tra il 1699 e il 1702: in quegli anni, lo scienziato fiorentino si era ritirato dal suo cinquantennale lavoro di

ingegnere dei fiumi cercando di proseguire i suoi studi, anche se la sua salute cagionevole stava degenerando lentamente.

Le poche opere che aveva pubblicato fino a quel momento gli avevano garantito la fama e vari onori, persino dalle corti straniere, in particolare quella francese: infatti, nonostante Viviani avesse declinato l'offerta da parte di Luigi XIV di diventare suo astronomo di corte, ricevette dal monarca una pensione annua con la quale poté ristrutturare il palazzo di famiglia, a patto che rendesse partecipe il monarca dei suoi ultimi lavori.

Il 17 dicembre 1699, Cassini scrisse all'amico a Firenze informandolo che, dopo una lunga sessione, l'Académie des Sciences di cui l'astronomo bolognese faceva parte, aveva deciso di accettare Viviani come accademico straniero. Inizialmente, lo scienziato fiorentino sembrava essere contento della nomina, ma tergiversò nel rispondere all'amico perché non aveva ancora concluso un lavoro matematico per il re; successivamente, nonostante l'età avanzata, parve essere più risoluto perché il 25 marzo 1701 scrisse a Cassini accettando la nomina e concludendo contestualmente l'opera per Luigi XIV, che sarà data alle stampe nel 1702 con il titolo di *De locis solidis secunda divinitio geometrica*.

3. Conclusioni

Gli studi effettuati sia sul materiale inedito sia sulla storiografia di Viviani hanno mostrato che lo scienziato fiorentino è da vedersi come una figura di intermediario tra due generazioni di scienziati: i galileiani di cui fece parte e i newtoniani-leibniziani di cui farà parte il suo collaboratore, Luigi Grandi (1671-1742).

Sebbene Viviani rimanga ancora oggi una figura minore della scena scientifica italiana del Seicento, i suoi appunti e i suoi studi rimasti incompiuti potrebbero, un domani, dare un nuovo impulso verso nuove ricerche e nuovi studi, anche di natura interdisciplinare sia sul suo pensiero sia sui suoi studi fisici ed astronomici.

Bibliografia

- Cotta Stumpo I. (1996). *Ferdinando II de' Medici, granduca di Toscana*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 46, Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Favaro A. (1983). *XXIX. Vincenzo Viviani*, in Favaro A., *Amici e corrispondenti di Galileo Galilei: a cura e con nota introduttiva di Paolo Galluzzi*, vol. 2. Firenze: Ed. Salimbeni, pp. 1009-1163.
- Favaro A. (1992). *Cenni biografici inediti intorno a Vincenzo Viviani*, in Favaro A., *Scampoli galileiani: a cura di Lucia Rossetti e Maria Laura Soppelsa*, vol. 2. Trieste: Lint, pp. 558-562.

- Giannini G. (2020). *An indirect convergence between the Accademia del Cimento and the Montmor Academy: the 'Saturn Dispute'*, in Giannini G., Feingold M. (a cura di), *The institutionalization of science in early Europe*. Leida: Brill Ed., pp. 83-108.
- Guarini Fasano E. (1984). *Cosimo III de' Medici, granduca di Toscana*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 30, Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Maglioni I. (2001). "Vincenzo Viviani e l'Arno. Scienza galileiana e problemi di un fiume e del suo bacino nel XVII secolo". *Archivio Storico Italiano*, 2001/1 n. 587 (a.159), pp. 151-170.
- Magrini G. (2001), *Dieci anni di esperienze a Corte*, in Galluzzi P. (a cura di), *Scienziati a corte. L'arte della sperimentazione nell'Accademia Galileiana del Cimento (1657-1667)*. Catalogo della mostra. Livorno: Sillabe Ed., pp.132-145.
- Robinet A. (1987). "Les rencontres de G.W. Leibniz avec V. Viviani et leurs suites: Florence, novembre-décembre 1689", *Bollettino di storia delle scienze matematiche*, 7 (1), pp. 61-92.
- Roero C. S. (1999). *Viviani rival de Leibniz*, in Festa E., Jullien V., Torrini M. (eds), *Géométrie, atomisme et vide dans l'école de Galilée*. Fontenay-Saint Cloud: ENS, pp. 97-127.
- Tocci P. (1708), *Vita di Vincenzio Viviani detto Erone Geonio*, in Crescimbeni G.M., *Le Vite degli Arcadi Illustri*, tomo 1, cap. VIII. Roma: Stamperia Antonio de' Rossi, pp. 123-139.

Fonti d'archivio

- BNCF 1656. BNCF, GAL. 268, doc.12, c.155r-165r, 'Lettera di Viviani Vincenzo a [non identificato]', post 10 ottobre 1656.
- BNCF 1662. BNCF, GAL. 247, doc. 4, c.25r-26v, 'Osservazioni del pianeta Venere nell'aprile 1662'.
- BNCF 1668. BNCF, GAL.255, doc.41, c.69r, 'Cassini Giovanni Domenico a Viviani Vincenzo', Bologna, 20 marzo 1668.
- BNCF 1674. BNCF, GAL.247, doc.8, c.37r-37v, 'Osservazioni fatte a Boboli dell'eclisse di luna del 17 luglio 1674'.
- BNCF 1697. Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze (BNCF), GAL.155, doc.2, c.5r-23r, 'Viviani Vincenzo a Salviati', Firenze, 5 aprile 1697.
- BNCFa. BNCF, GAL. 242, doc.1, c. 1r, 'Trattato della Fisica Parte Prima'.
- BNCFb. BNCF, GAL. 246, doc.13, c.79r-80v, 'Appunti sulla velocità del suono'.

Giovanni Battista Amici, Astronomer, Optician, Naturalist, and Instrument Maker in Modena from 1809 to 1831

Elena Corradini - Università di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari” - elena.corradini@unimore.it

Abstract: Remembering the career of Giovanni Battista Amici in Modena, his hometown where he stayed until 1831, could be an opportunity for the University of Modena and Reggio Emilia to set up a research group in anticipation of 2023, the year that marks the 160th anniversary of his death in 1863 in Florence. In 2013, to celebrate the 150th anniversary of his death, the author, in collaboration with Alberto Meschiari, organised a workshop for the University of Modena and Reggio Emilia on 10 April, the day of his death, and, from the beginning of 2014, an exhibition entitled “Giovanni Battista Amici, optician, astronomer, naturalist” held in Modena at the Foro Boario. Thanks to the synergies activated through the Network of Italian University Museums (<https://of.unimore.it/ReteMusei>), in 2014 the exhibition was transferred to the Museum of Natural History - La Specola of the University of Florence, to the University of Tuscia in Viterbo and then back to Modena and in Reggio Emilia where a new section was added dedicated to Amici's relations with the Reggio Emilia astronomer Angelo Secchi (1818-1878). For the celebrations of the first centenary of Amici's death in 1963, the University of Modena, through the Rector Giuseppe Galli, conferred three honorary degrees with commemorative gold medals on three illustrious international scientists: in natural sciences to Albert Claude of the Free University of Brussels, Nobel Prize for medicine in 1974; in Physics to Professor Ernst Ruska of the Berlin Polytechnic and to Frits Zernike (1888-1966), professor of theoretical Physics at the University of Groningen, Nobel Prize for Physics.

Keywords: Giovanni Battista Amici, Modena Observatory, Scientific Instruments.

1. Le celebrazioni di Giovanni Battista Amici all'Università di Modena e Reggio Emilia

Ricordare la carriera di Giovanni Battista Amici a Modena, sua città natale dove rimase fino al 1831, potrebbe essere un'occasione perché l'Università di Modena, che il 28 febbraio 1919 ne ha collocato un busto, fra quelli di altri illustri docenti dell'Ateneo sistemati in anni diversi, nell'atrio del settecentesco Palazzo dell'Università ora sede del Rettora-

to, possa attivare un gruppo di ricerca in previsione del 2023, anno in cui ricorrono i 160 anni dalla sua morte, avvenuta nel 1863 a Firenze. Nel capoluogo toscano Amici si era trasferito dal 1831, su invito di Leopoldo II di Asburgo Lorena, granduca di Toscana (1797-1870), per ricoprire l'incarico di direttore della Specola del Museo di Fisica e Storia Naturale, vacante dopo la morte dell'astronomo Louis Pons (1761-1831). Nel 2013, per le celebrazioni dei 150 anni dalla morte, la scrivente, in collaborazione con Alberto Meschiari, per l'Università di Modena e Reggio Emilia ha organizzato il 10 aprile, giorno della morte, il convegno "Microscopi, telescopi e osservazioni naturalistiche di Giovanni Battista Amici" e, a partire dall'inizio del 2014, una mostra dal titolo "Giovanni Battista Amici, ottico, astronomo, naturalista", allestita presso la sede espositiva del Foro Boario, edificio costruito nel 1822 per volontà di Francesco IV d'Austria Este per il mercato bestiame e restaurato nella prima metà degli anni Novanta del Novecento per ospitare la sede del Dipartimento di Economia Marco Biagi. La mostra modenese, divisa in 16 sezioni, nelle quali sono stati esposti microscopi e cannocchiali di Amici, oltre a suoi manoscritti e sue pubblicazioni esistenti nella Biblioteca Estense Universitaria, ha raccontato tutti gli aspetti della carriera dello scienziato modenese. Grazie alle sinergie attivate attraverso la Rete dei Musei Universitari Italiani (<https://of.unimore.it/ReteMusei>) la mostra nel corso del 2014 è stata trasferita presso il Museo di Storia Naturale - La Specola dell'Università di Firenze, il Rettorato e l'Orto Botanico dell'Università della Tuscia a Viterbo e successivamente di nuovo a Modena presso il Palazzo dell'Università sede del Rettorato e a Reggio Emilia presso il Palazzo Dossetti ex caserma Zucchi, dove è stata inserita una nuova sezione sui rapporti di Amici con l'astronomo reggiano Angelo Secchi (1818-1878), che divenne direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano di Roma (Meschiari 1999).

Per la celebrazione del primo centenario della morte di Amici nel 1963, l'Università di Modena, attraverso il rettore Giuseppe Galli, conferì tre lauree *honoris causa* con medaglia d'oro commemorativa a tre illustri scienziati internazionali: in Scienze Naturali al professor Albert Claude dell'Università libera di Bruxelles, premio Nobel per la Medicina nel 1974; in Fisica al professor Ernst Ruska del Politecnico di Berlino e al professor Frits Zernike (1888-1966) dell'Università di Groninga, premio Nobel per la Fisica.

2. Gli esordi della carriera

Una parte significativa della mostra allestita a Modena nel 2014 è stata dedicata alla carriera di Giovanni Battista Amici a Modena, dove nacque il 25 marzo 1786 da Giuseppe Amici Grossi e Maria Dallocca e studiò (Di Pietro 1989, Meschiari 2005) iscrivendosi al corso del 1802-1803 per ingegneri architetti dell'Università di Modena, trasformata poi dal 1804 in Liceo Dipartimentale del Panaro, dove poté studiare, con ottimi risultati, introduzione all'analisi infinitesimale, meccanica, idromeccanica con il matematico Paolo Ruffini (1765-1822) (Bianchi 1824). Ultimati gli studi a Modena, nel 1806 sposò Teresa Tamagnini da cui ebbe tre figli: Vincenzo (1807-1814), Elena (1808-1845) e Valentino (1810-1863) e due anni dopo, nel 1808, terminata la coscrizione, si iscrisse nel gennaio

1808 all'Università di Bologna dove in giugno ottenne il grado accademico di ingegnere architetto.

Il 4 gennaio 1811 fu chiamato a insegnare algebra e geometria nel Liceo Dipartimentale del Panaro, derivato dalla trasformazione dell'Università di Modena durante la Repubblica Italiana, e nel 1813-14 trigonometria: fu anche nominato reggente dello stesso Liceo (Lugli 2015). Dopo la Restaurazione, nell'ambito della nuova organizzazione dell'Università di Modena, gli fu affidato l'insegnamento di geometria, algebra e trigonometria nella Facoltà Filosofica della riorganizzata Università modenese ma nel 1825, con chirografo ducale dell'arciduca Francesco IV d'Austria Este (1779-1846) datato 30 luglio, venne dispensato dall'insegnamento con la conservazione del grado e dello stipendio affinché potesse dedicarsi completamente alla realizzazione dei suoi strumenti e alle sue osservazioni astronomiche. Ebbe l'incarico di professore referente al ministro di Pubblica Economia e Istruzione, il quale si impegnò anche a procurare ad Amici le riviste che ritenesse più interessanti, che sarebbero poi rimaste nella biblioteca dell'Università, come le *Philosophical transactions* della Royal Society di Londra e le *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* di Parigi.

Risalgono al 1809 i suoi primi interessi sulla fusione di leghe metalliche e la frequentazione della bottega dell'armaiolo Mattioli, dove incontrò Giuseppe Zoboli (Biblioteca Estense Universitaria, Fondo Amici Cartella 1182) e Giuseppe Sgarbi, fonditore di metalli abile anche a lavorare al tornio. Il laboratorio di Amici, dove cominciò a effettuare le prime esperienze nella produzione di leghe metalliche e nella lavorazione di specchi piani e sferici, poté essere stabilito nella sua casa di famiglia, ancora esistente in via dei Servi a Modena, occupando spazi della Stamperia Reale Eredi Soliani che vi aveva sede, di proprietà della famiglia fin dalla seconda metà del Settecento (Meschiari 2005).

3. La realizzazione degli strumenti scientifici

Amici all'inizio della carriera fu favorito dai numerosi contatti che aveva il padre, in particolare a Bologna e a Milano, grazie all'incarico di Direttore dell'Ufficio del Censo e Capo della computisteria generale che ricopriva dal 1805, dopo la costituzione del Regno d'Italia. In particolare, presumibilmente tramite la famiglia di Michele Araldi (1740-1813), professore di anatomia e autore anche di studi fisico-matematici (1740-1813), aveva potuto entrare in contatto, oltre che con Ludovico Ciccolini (1767-1854), direttore della specola di Bologna dal 1803 al 1815, per il quale realizzò nel 1810 un telescopio hercheliano, con Luigi Vaccari (1766-1819), Ministro dell'Interno del Regno d'Italia, per il quale realizzò un telescopio analogo a quello costruito per Ciccolini. Invitato a Milano nel 1810, dove rimase dal 30 ottobre alla fine di novembre, portò, tra gli altri, un telescopio riflettore (Proverbio, Tucci 1993). Tramite Vaccari poté conoscere il Consultore di Stato Pietro Moscato (1739-1824) che aveva rapporti con Barnaba Oriani (1752-1832) e Giovanni Angelo De Cesaris (1749-1832), astronomi dell'Osservatorio del Real Istituto di Scienze Lettere e Arti che aveva sede nel palazzo di Brera, dove era custodito il telescopio realizzato da William Herschel (1738-1822). Dopo che Amici ebbe donato un telescopio all'Osservatorio, per promuovere gli studi di astronomia gliene fu commissionato

uno più grande. Come si ricorda nel *Giornale Italiano* di sabato 18 maggio 1811 (n. 158), Amici venne premiato dallo stesso Istituto Reale di Scienze Lettere e Arti per un telescopio catadiottrico a riflessione, il più grande fino a quel momento costruito in Italia, che aveva presentato a Milano per l'Esposizione Nazionale di Milano: gli venne consegnata una medaglia d'oro sul cui rovescio si leggeva "A/Gio Basta/Amici/di Modena/per telescopio/pari all'/Herscheliano". Nello stesso giornale venne anche pubblicato il "Rapporto degli astronomi di Brera sopra il telescopio del sig. Amici" (Meschiari 2006). Nello stesso anno Federigo Zuccari (1783-1817), che aveva perfezionato i suoi studi presso l'Osservatorio di Brera ed era direttore dell'Osservatorio che era presso il monastero di san Gaudioso a Caponapoli, prima che venisse costruito quello di Capodimonte, commissionò ad Amici un telescopio newtoniano (Gatto 1996).

Amici poteva sperimentare i telescopi da lui realizzati effettuando osservazioni astronomiche nella villa, ancora esistente, che la moglie possedeva al di fuori del centro storico di Modena in località Madonnina, sulla via Emilia, nel tratto a ovest della città. Qui ancora oggi una lapide ricorda l'ospitalità offerta il 24 maggio 1815 al duca Francesco IV d'Austria Este, al Rettore Paolo Ruffini (1765-1822) e al corpo accademico dell'Università quando accolsero il Papa Pio VII (1742-1823) che tornava a Roma.

Fra il 1812 e il 1813 Amici costruì numerosi telescopi riflettori, tra cui oltre a quello commissionatogli da Zuccari per l'erigendo Osservatorio di Capodimonte, anche uno per l'Osservatorio di Padova, per il quale realizzò anche un micrometro.

Nel dicembre 1814 Paolo Ruffini presentò alla Società Italiana delle Scienze, che aveva sede a Modena, la prima memoria scientifica "Descrizione di un nuovo micrometro" approvata dall'astronomo di Brera De Cesaris e pubblicata due anni dopo nel tomo XVII delle *Memorie di Fisica e Matematica* della stessa Società (Amici 1818a).

Nel 1812 Amici concepì il microscopio catadiottrico o a riflessione, cioè a specchi, anziché a lenti, come applicazione rovesciata di un telescopio newtoniano: un esemplare, montato su cassetta firmato sul coperchio dello specchio obiettivo "Amici 1814", è conservato a Modena presso le Gallerie Estensi (Meschiari 2020). Un altro esemplare fu acquistato da William Henry Fox Talbot (1800-1877) che ne aveva letto la descrizione nella *Memoria* che Amici aveva pubblicato (1818b). Talbot gli scrisse il 19 marzo 1822 e, trovandosi a Firenze in agosto, passò il 16 settembre per ritirarlo (Meschiari, Dall'Olio 2020): è ora conservato al Royal Museum of Scotland di Edimburgo.

Amici pubblicò nel 1818 le sue *Osservazioni sulla circolazione del succhio della Chara* (Amici 1818c). In una lettera inviata all'astronomo inglese John Frederick Herschel (1792-1871) il 7 dicembre 1826 Amici scrisse di possedere ancora «il microscopio composto eseguito dal celebre Dollond padre [John]», con il quale l'abile fisico Bonaventura Corti (1729-1813), docente all'Università di Modena e direttore del Collegio San Carlo, aveva fatto, su una pianta acquatica, la "tremella", interessanti osservazioni che Amici riuscì a perfezionare esaminando piante terrestri grazie al microscopio da lui realizzato.

Nello stesso anno 1818, il 27 febbraio, Amici (1819) rese noti all'Accademia di Scienze Lettere e Arti di Modena, nella sezione Arti, i suoi perfezionamenti sulla camera lucida che William Hyde Wollaston (1766-1828) aveva inventato nel 1806 e descritto l'anno successivo sul *Philosophical Magazine*. La camera lucida montata su un'asta tele-

scopica inclinabile, che poteva essere fissata al bordo di un tavolo, era più maneggevole della camera oscura, applicando i principi ottici del prisma per disegnare immagini di paesaggi o oggetti con un certo grado di fedeltà. Quella di Amici, fissata a un'asta di ottone anziché a un'asta telescopica, era facilmente applicabile all'oculare di un cannocchiale terrestre o di un microscopio il cui tubo ottico era montato in posizione orizzontale. Amici eliminò il difetto della camera lucida di Wollaston permettendo di vedere dentro il prisma sia il soggetto da ritrarre che la punta della matita, consentendo una fedele rappresentazione dei contorni dell'oggetto osservato e la possibilità di calcolarne la dimensione reale, dividendo quella dell'immagine disegnata per il numero che esprime l'ingrandimento dell'oculare adoperato. Fu apprezzata da incisori, ritrattisti, viaggiatori e paesaggisti, modificando radicalmente il rapporto dei pittori di paesaggio con l'immagine, ma anche da topografi come il colonnello Ferdinando Visconti (1772-1847), direttore del Reale Ufficio Topografico di Napoli (Meschiari 2003, 2003b), in quanto rispondeva all'esigenza di conformità fra rappresentazione del territorio e produzione delle mappe. Amici la utilizzò per disegnare tantissimi personaggi illustri e autorevoli che incontrò e i loro ritratti sono conservati nel Fondo Amici della Biblioteca Estense Universitaria: moltissimi fecero visita al suo laboratorio (Meschiari 2003c, pp. 181-224). Sovrani e membri di case regnanti vi si erano recati fin dal 1817: l'arciduca Massimiliano d'Austria Este (1782-1863), fratello di Francesco IV, una prima volta il 17 maggio 1817 (*Il Messaggiere Modenese* n. 47) e una seconda il 9 agosto con il fratello, l'arciduca Francesco IV e la sorella Maria Teresa (1773-1832), moglie del re di Sardegna Vittorio Emanuele I di Savoia (1759-1824) per «esperimentare un grande telescopio newtoniano corredato del nuovo micrometro» per ordine del re (*Il Messaggiere Modenese*, n. 64). Circa un mese dopo l'arciduca Francesco IV vi accompagnò il principe Klemens von Metternich (1773-1859) nel corso di una visita alla città (*Il Messaggiere Modenese*, n. 71 del 3 settembre) (Meschiari 2001).

Furono moltissimi i professori, gli astronomi, i fisici, i matematici, gli ingegneri, i medici, gli anatomisti, i fisiologi, gli scienziati per i quali Amici realizzò strumenti, come risulta dalle registrazioni da lui effettuate dal 1814 al 1844 sul *Libro dei conti* (Meschiari 2003c, pp. 113-180; Idem 2009) tuttora conservato nel fondo Amici della Biblioteca Estense Universitaria di Modena. Tra gli altri si può ricordare che l'8 settembre 1820 Franz Xavier von Zach (1754-1832) direttore dell'Osservatorio di Seeberg, vicino a Gotha, in Turingia, dopo essere stato il giorno prima all'Osservatorio di Bologna fece visita ad Amici, con cui iniziò una relazione quinquennale di cui pubblicò numerose osservazioni nella sua rivista *Correspondance astronomique, hydrographique et statistique*.

Dei nuovi strumenti che andava costruendo Amici continuava a dare testimonianza nelle *Memorie di Matematica e Fisica* della Società Italiana delle Scienze che aveva sede a Modena: nel tomo XIX del 1821 pubblicò la sua relazione “Sopra un cannocchiale iconantidiptico” (Amici 1821a, pp. 113-120) e “Sulla costruzione di un cannocchiale acromatico senza lenti eseguito con un sol mezzo refringente” (Amici 1821b, pp. 121-137).

Le indagini naturalistiche di importanza storica effettuate da Amici durante la sua permanenza modenese riguardano in particolare il processo della fecondazione: la prima tappa verso la corretta spiegazione avvenne nel 1822 con la scoperta fondamentale del budello pollinico. I disegni che illustrano le sue osservazioni microscopiche sopra le varie

piante furono realizzati da lui utilizzando la sua camera lucida che permetteva di ottenere una fedele rappresentazione dei contorni dell'oggetto osservato (Amici, 1823).

Quasi la metà delle memorie scientifiche di Amici ha per oggetto osservazioni naturalistiche, principalmente botaniche (biologia, istologia, fisiologia, fecondazione, embriologia, fitopatologia), ma anche istologia animale (fibre muscolari). In oltre quarant'anni di osservazioni microscopiche (Meschiari 2014) nel campo della botanica i suoi interessi si concentrarono attorno a quattro grandi temi: circolazione della linfa (protoplasma) nella Chara, morfologia delle Characee, processo di fecondazione delle piante fanerogame, fitopatologia.

Nel 1822 Amici produsse micrometri, cannocchiali, telescopi, camere lucide, perfezionò il microscopio, realizzò uno strumento di navigazione, un settore di riflessione a prismi o quadrante e continuò le sue osservazioni microscopiche su varie piante; l'anno successivo costruì un nuovo micrometro prismatico che montava tra l'obiettivo e l'oculare dei telescopi catadiottrici e diottrici. Risale al 1824 il moderno microscopio acromatico della cui realizzazione Amici fu uno dei protagonisti sul piano internazionale insieme all'ingegnere Alexander Francois Gilles detto Selligie (1784-1845), all'ingegnere e ottico Charles Louis Chevalier (1804-1859) e al fisico e ottico Joseph Jackson Lister (1786-1869) (Meschiari 2017).

4. La creazione dell'Osservatorio nel torrione del Palazzo Ducale di Modena

La realizzazione di un Osservatorio a Modena fu promossa dall'arciduca Massimiliano d'Austria Este che favorì gli studi di astronomia di Giuseppe Bianchi (1791-1866) al quale nel 1818 il marchese Luigi Rangoni (1775-1844), Ministro di Economia e Istruzione, in accordo con il Rettore dell'Università Paolo Ruffini, affidò la cattedra di Astronomia Teorica, istituita apposta per lui, e l'incarico di direttore dell'Osservatorio che avrebbe dovuto essere realizzato a Modena. Bianchi inviò a Rangoni una lista di strumenti fondamentali da acquistare per il futuro Osservatorio modenese, tra i quali in particolare figuravano uno strumento dei passaggi per le ascensioni rette, un cerchio meridiano che avesse almeno tre piedi di diametro per le declinazioni, un cannocchiale acromatico e un telescopio equatoriale per le osservazioni extra meridiane. (Lugli 2007, pp. 12-20). Nello stesso anno 1818 venne commissionato a Georg Friedrich von Reichenbach (1772-1826) il cerchio meridiano, che arrivò a Modena nel 1823, e la realizzazione degli altri strumenti fu richiesta ad Amici che già nel 1820 consegnò il telescopio.

Mancava però una sede per l'Osservatorio: il problema fu risolto solo nel 1826 quando Francesco IV decise di destinare all'Università il torrione orientale del suo seicentesco Palazzo Ducale con un chirografo datato 15 gennaio. Nell'estate dello stesso anno, per rendere stabile la struttura del torrione e collocarvi gli strumenti astronomici, furono avviati i lavori necessari diretti da Gusmano Soli (1747-1822), architetto ducale. All'interno del torrione fu costruito un elevato arco di volta tra i muri esterni del lato orientale e occidentale, che furono collegati fra di loro con catene per creare all'interno un supporto che accogliesse i tre strumenti più grandi realizzati appositamente per l'Osservatorio: sui contrafforti murali al di sopra della volta, dove sono tuttora, furono posizionati, ai due lati il

cerchio meridiano di Reichenbach e lo strumento dei passaggi di Amici con un telescopio di cinque piedi di fuoco e 4 pollici di apertura, che tuttora mantengono la loro collocazione originaria, e in cima all'arco fu collocato il pilastro del telescopio equatoriale con cerchi orario e di declinazione di due piedi di diametro, purtroppo oggi andato perduto.

Terminati i lavori e collocati gli strumenti, la prima osservazione ufficiale avvenne l'anno successivo, il 17 ottobre 1827, come è testimoniato dal Bianchi nel primo volume degli *Atti del Regio Osservatorio Astronomico di Modena*, pubblicati a partire dal 1834 e ne *Il Messaggiere Modenese* del 7 novembre 1827 (n. 89): in questo giornale, insieme con la notizia di una eclissi lunare avvenuta quattro giorni prima, viene infatti ricordata la realizzazione dell'Osservatorio, promossa da Francesco IV, nel torrione di destra del suo Palazzo Ducale, e vengono menzionati i tre importanti strumenti che vi erano stati collocati.

5. Il viaggio in Italia e il primo a Parigi e a Londra

Amici era consapevole che per far conoscere i suoi strumenti non bastavano le memorie scientifiche o la fitta corrispondenza che intratteneva, ma era necessario che ne mostrasse direttamente il corretto impiego, oltre alle innovazioni apportate, confrontandoli anche con altri strumenti: durante la sua permanenza modenese effettuò infatti due viaggi, uno in Italia e uno in Francia e Inghilterra.

Il primo lungo viaggio di Amici in Italia, della durata di quattro mesi, dal 22 settembre 1817 al 22 gennaio 1818, venne effettuato a Firenze, Roma e Napoli con la moglie Teresa che lo descrisse accuratamente nel *Giornale di viaggio da Modena a Firenze e Viaggio da Firenze a Roma* (Amici Grossi, 1996; Meschiari 2003c, pp. 43-72). Già questo primo viaggio fu per Amici un'occasione per acquisire importanti conoscenze e per ricevere significativi apprezzamenti e committenze per i suoi strumenti, in particolare le camere lucide. Degli apprezzamenti ricevuti da Amici a Firenze è testimonianza la corrispondenza con Vincenzo Antinori (1797-1865), succeduto nel 1829 al conte Girolamo de' Bardi (1777-1829) alla direzione del Museo di Storia Naturale della stessa città.

Nella primavera del 1827, assieme alla moglie, al figlio Vincenzo, al conte Forni e al "servitore" Luigi, Amici intraprese il suo primo viaggio a Parigi e Londra e portò con sé il nuovo microscopio catadiottrico montato su cassetta, corredato del tubo acromatico di cui perfezionò negli anni successivi l'obiettivo acromatico, prestando particolare attenzione all'apertura angolare dello stesso e alle interferenze del vetrino copri-oggetto. Portò anche il settore di riflessione, il nuovo micrometro a doppia immagine e uno specchio riflettore. Il viaggio gli permise di incontrare importanti esponenti della comunità scientifica internazionale con cui intrattene una costante corrispondenza.

A Londra, dove arrivarono il 6 giugno 1827, incontrarono, tra gli altri, John Frederick William Herschel (1792-1871) che Amici aveva conosciuto personalmente nell'aprile del 1824, in occasione del suo passaggio a Modena, quando gli aveva consegnato un misuratore di distanza, con l'impegno di inviargli un micrometro da applicare a un telescopio acromatico per misurare le stelle doppie. Amici poté confrontare il suo nuovo microscopio acromatico con quello di Joseph Jackson Lister (1786-1869), il maggior esperto inglese di ottica microscopica: questo strumento ebbe un ruolo di primo piano a livello

internazionale nello studio del processo di fecondazione delle piante (Buffa 1988-89, pp. 98-150; Meschiari 2003c, pp. 73-90).

Dopo il trasferimento a Firenze Amici continuò la sua attività di costruttore di strumenti scientifici in due laboratori, quello organizzato presso la Specola e quello che allestì presso la sua abitazione, il Palazzo Demidoff in via de' Renai, acquistato nel 1840.

I microscopi di Amici furono apprezzatissimi per mezzo secolo e contribuirono a sollecitare la competizione internazionale per la ricerca.

Bibliografia

- Amici G.B. (1818a). “Descrizione di un nuovo micrometro”. *Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze residente in Modena*, XVII, 186, pp. 344-359.
- Amici G.B. (1818b). *De' microscopi catadiottrici*. Modena: Società Tipografica.
- Amici G.B. (1818c). *Osservazioni sulla circolazione del succhio della Chara*. Modena: Società tipografica.
- Amici G.B. (1819). “Sopra le camere lucide”. *Opuscoli scientifici*, III, pp. 25-35.
- Amici G.B. (1821a). “Sopra un cannocchiale iconantidiptico”. *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana delle Scienze residente in Modena*, XIX, pp. 113-120.
- Amici G.B. (1821b). “Sulla costruzione di un cannocchiale acromatico senza lenti eseguito con un sol mezzo refringente”. *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana delle Scienze residente in Modena*, XIX, pp. 121-137.
- Amici G.B. (1823). “Osservazioni microscopiche sopra varie piante”. *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana delle Scienze residente in Modena*, XIX, pp. 234-286.
- Amici Grossi G. (1996). “I diari dei viaggi e altri documenti della vita e dell'attività di Giovan Battista Amici”. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 6, pp. 873-919.
- Bianchi G. (1824). *Elogio del professor Paolo Ruffini residente della Società italiana delle scienze*. Modena: Tipografia Camerale.
- Buffa P. (1988-89). “Viaggi scientifici di Giovan Battista Amici”. *Atti e Memorie dell'Accademia di Scienze Lettere e Arti di Modena*, S. VII, VI, pp. 91-130.
- Celebrazione (1965). *Celebrazione del I° Centenario della morte di Giovan Battista Amici, 1786-1863*. Modena: Società Tipografica Editrice Modenese.
- Corradini E. (2013). *From the geophysical-meteorological Observatory of Modena to the Italian network of observatories*, in *Proceedings of the 12th Conference of UMAC - ICOM International Committee for University Museums and Collections (UMAC) “Encountering Limits: The University Museum”* (Singapore 10st-12th October 2012). *UMAC Journal*, 6, pp. 45-58.
- Corradini E. (2015). *Le collezioni di strumenti scientifici testimonianza dello sviluppo delle attività dell'Osservatorio e del Gabinetto di Metrologia dell'Università di Modena e Reggio Emilia*, in Pratesi G., Ceccolini F., Lotti S., (a cura di), *Atti del XXII Convegno Associazione Nazionale Musei Scientifici “Il patrimonio culturale*

- dei musei scientifici*” (Firenze 14-16 novembre 2012). *Museologia Scientifica Memorie*, 14, pp. 112-119.
- Di Pietro P. (1989). *Gli anni modenese di G.B. Amici*. Bologna: Editrice Compositori.
- Gatto R. (1996). “Il cannocchiale di Amici dell’Osservatorio Astronomico di Capodimonte e la corrispondenza Amici”. *Nuncius*, 2, pp. 631-653.
- Lugli M.U. (2007). *Giuseppe Bianchi: astronomi modenese tra Seicento e Novecento*. Edizioni Artestampa: Modena.
- Lugli M.U. (2015). *Giovanni Battista Amici: astronomi modenese tra Seicento e Novecento*. Edizioni Artestampa: Modena.
- Meschiari A. (1999). *Corrispondenza di Giovanni Battista Amici con Carlo Matteucci e Angelo Secchi*. Firenze: Olschki Editore.
- Meschiari A. (2001). “Registro dei visitatori delle Studio di Giovanni Battista Amici dal giugno 1818 al gennaio 1844 e taccuini”. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, LVI, 3, pp. 445-485.
- Meschiari A. (2003a). *Giovanni Battista Amici, il Reale ufficio topografico di Napoli e la collezione di strumenti scientifici dell’I.G.M.*. Firenze: Istituto Geografico Militare.
- Meschiari A. (2003b). *Giovanni Battista Amici e il reale ufficio topografico di Napoli: corrispondenza con i colonnelli Visconti, De Sauget, Melorio*. Firenze: Olschki Editore.
- Meschiari A. (2003c). *Il libro de’ conti del laboratorio di Giovanni Battista Amici e altri documenti inediti*. Firenze: Edizioni Tassinari.
- Meschiari A. (2005). *Biografia di Giovanni Battista Amici, Modena 1786 - Firenze 1863*. Firenze: Tipografia L’Arcobaleno.
- Meschiari A. (2006). *Giovanni Battista Amici nei giornali dell’epoca*. Firenze: Tipografia L’Arcobaleno.
- Meschiari A. (2009). “Le spese di laboratorio dal Libro de’ conti del laboratorio di Giovanni Amici”. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, LXVI, 6, pp. 847-886.
- Meschiari A. (2014). *Microscopi di Amici nella ricerca scientifica*. Firenze: Edizioni Tassinari.
- Meschiari A. (2017). *Gli strumenti scientifici di Giovanni Battista Amici. Atlante fotografico*. Firenze: Edizioni Tassinari.
- Meschiari A., (2020). *Microscopio catadiottrico montato su cassetta firmato “Amici Modena 1814”*, in Urbini S. (a cura di), *L’impronta del reale. William Henry Fox Talbot. Alle origini della fotografia*. Modena: Franco Cosimo Panini, p. 157, n. 14.
- Meschiari A., Dall’Olio C. (2020). *William Henry Fox Talbot e Giovanni Battista Amici*, in Urbini S. (a cura di), *L’impronta del reale. William Henry Fox Talbot. Alle origini della fotografia*. Modena: Franco Cosimo Panini, pp. 127-131.
- Proverbio E., Tucci P. (1993). “Gian Battista Amici costruttore di telescopi e cannocchiali acromatici”. *Physis, Rivista internazionale di Storia della Scienza*, XXX (1), pp. 145-182.

Francesco Zantedeschi and Macedonio Melloni: A Dispute in the History of Italian Electrostatics

Lucia De Frenza - Seminario di Storia della Scienza - Università degli studi di Bari "Aldo Moro" - lucia.defrenza@uniba.it

Abstract: In 1854 Francesco Zantedeschi (1797-1873) attacked Macedonio Melloni (1798-1854), who had proposed to reformulate classical electrostatics, reinterpreting some experiences with the principles set out by Faraday. Zantedeschi expounded a third explanation of electrostatic induction phenomena. This dispute allows us to grasp the variety of aspects of Italian electrostatics research in the second half of the 19th century.

Keywords: Francesco Zantedeschi, Electrostatics, Macedonio Melloni.

1. Anomalie elettrostatiche

Nel corso dell'Ottocento la discussione sull'azione della forza elettrica mise a confronto il paradigma elettrostatico classico di Coulomb con quello del campo elettrico, che stava emergendo dalle ricerche di Michael Faraday (1791-1867). Quest'ultimo aveva assestato un grave colpo al sistema delle forze newtoniane, dichiarando che l'elettricità e il magnetismo agivano nella materia in forma mediata, non istantanea e secondo direzioni curvilinee e facendo affiorare l'idea di una materia come centro di forze. Le ipotesi di Faraday, al di là del grande favore incontrato dai suoi risultati sperimentali, lasciarono interdetti i contemporanei, che non reagirono con aperte confutazioni, ma assumendo un atteggiamento di vaga cautela. Non si generò, in effetti, negli anni che seguirono la pubblicazione delle serie XI-XIII delle *Experimental Researches in Electricity* un dibattito vero e proprio sulle nuove ipotesi dell'azione per contatto e sui principi fondamentali dell'elettrostatica di Faraday.

Per capire le perplessità che tormentarono i fisici alla metà dell'Ottocento a proposito della natura dell'elettricità e dell'azione delle forze elettriche, occorre far emergere, accanto alle riflessioni dei fisici più noti, anche quelle degli amatori, dei professori di provincia, dei ricercatori che costituirono la platea dell'agone che coinvolse i protagonisti diretti. In questo modo viene a galla il pluralismo di opinioni che caratterizzò il dibattito, il quale s'indirizzò su diverse strade e valutò la possibilità di soluzioni alternative.

Un'idea su cui parecchi fisici discussero in quegli anni fu la nuova interpretazione del fenomeno d'induzione elettrostatica avanzata da Macedonio Melloni (1798-1854). Il fisico di Parma scrisse, nel 1854, che su un corpo sottoposto all'azione di una carica elettrica non si determinava la separazione netta delle elettricità negativa e positiva nel-

le due metà del corpo, come stabiliva il teorema fondamentale di Poisson, ma si aveva una distribuzione delle due elettricità su tutto lo strato superficiale, in modo tale che quella di segno opposto rispetto all'inducente era condensata con maggiore intensità sul lato più vicino e in una condizione "dissimulata" (priva della proprietà di disperdersi, di repellere e di muoversi liberamente); mentre quella dello stesso segno era l'unica rilevabile e distribuita soprattutto sul lato opposto. Melloni cercò in questo modo di unificare la spiegazione del comportamento di due conduttori, uno carico e l'altro neutro, posti uno di fronte all'altro attraverso l'aria, e quella attribuita ai condensatori, in cui le piastre erano divise da un sottile strato isolante. Melloni applicava al primo caso la spiegazione del fenomeno della condensazione elettrica.

Queste idee furono sviluppate da alcuni fisici – in particolare Paolo Volpicelli (1804-1879) – e aprirono una controversia che durò quasi trent'anni. I *supporters* della teoria melloniana utilizzarono le idee di Faraday sull'elettricità come forza non newtoniana per spiegare i propri risultati sperimentali. Servendosi di pendolini elettroscopici appesi alle estremità schermate del corpo indotto oppure piccole sfere conduttrici, rette da un esile manico isolante, che si appoggiavano alla superficie elettrizzata e si caricavano attraverso il contatto, dimostravano che la parte del corpo indotto più vicina a quello carico non presentava alcun segno visibile di elettrizzazione. Conduttori non isolati interposti tra il corpo carico e quello neutro funzionavano da schermi, cioè impedivano la trasmissione elettrica (questo non si verificava con la gravità che attraversava i corpi interposti). L'influsso poteva oltrepassare gli ostacoli solo seguendo linee curve. Quando gli avversari di Melloni si confrontarono con queste argomentazioni, oltre a riconfermare la teoria coulombiana, espressero forti obiezioni anche nei riguardi delle ipotesi di Faraday. Attraverso le risposte alla provocazione melloniana si chiariscono le resistenze che i fisici opponevano ai tentativi di sgretolare il sistema di asserzioni e tecniche stabilito da Coulomb e Poisson.

2. Le obiezioni di Zantedeschi all'ipotesi di Melloni

Francesco Zantedeschi (1797-1873), dal 1849 al 1857 professore di fisica sperimentale all'Università di Padova (Colombini 1989; Tinazzi 1999; Curi 2001; Carletti 2012), fu il primo ad avanzare riserve sulla teoria di Melloni. Sicuramente le problematiche di elettrostatica non furono tra gli interessi principali dello studioso veronese,¹ ma l'atteggiamento da lui dimostrato in questa polemica vale ad illustrare alcune motivazioni che alla metà dell'800 alimentarono l'ostracismo verso i tentativi di ridefinire degli aspetti della teoria elettrica.

La replica di Zantedeschi seguì solo di qualche mese la memoria di Melloni. Essa fu pubblicata il 15 settembre 1854 nell'*Ateneo Italiano* e poi stampata come estratto a Venezia (Zantedeschi 1854b). Lo scritto era diviso in due parti: una iniziale, che sintetizzava i risultati di prove sperimentali sulla natura chimica dell'elettricità presente

¹ La produzione di Zantedeschi conta oltre 250 titoli su svariate materie. La prima nota bio-bibliografica fu pubblicata in occasione del suo pensionamento (*Nascita, studj* 1857); più recentemente Colombini (1989) ne ha fornito un elenco abbastanza ampio.

nell'aria, e un'appendice, pensata sotto la suggestione delle esperienze di Melloni, in cui, richiamando il tema dell'azione induttrice dell'atmosfera sui corpi, veniva discussa la teoria della "dissimulazione". Zantedeschi dichiarava che le osservazioni recentemente proposte dal parmense non consentivano di avvalorare alcuna critica ai principi stabiliti per descrivere il comportamento induttivo dei conduttori. Anzi quegli stessi fatti, se «bene interpretati», anziché invalidare le leggi fondamentali, ne davano conferma. Il discorso di Zantedeschi non confutava i risultati sperimentali presentati dall'altro, ma stabiliva l'inadeguatezza di quella spiegazione sulla base della sua personale visione della natura della forza elettrica. Questa era stata illustrata già nel capitolo sull'elettricità indotta presente nel *Trattato di fisica elementare* (Zantedeschi 1843-46). Seguendo l'ipotesi unitaria e considerando l'attuazione elettrica come un evento generato nell'atmosfera di pressione dei corpi, Zantedeschi definiva, con il linguaggio di Volta, elettricità accidentale la manifestazione elettrica che caratterizzava i corpi sottoposti ad influenza e, specificatamente, indotta la eteronima, accumulata sulla superficie contigua, e attuata – o di pressione – la omologa. Nei casi in cui l'azione induttrice produceva sui corpi isolati una neutralizzazione della carica, per effetto dell'interazione di atmosfere di segno opposto, si diceva che i corpi erano in uno stato apparente, perché non rivelavano la propria tensione alla prova dell'elettrometro. Al contrario lo stato reale o vero era quello in cui il corpo mostrava tanta tensione quanta si era accumulata, secondo la naturale capacità della materia costituente. Tutto questo non era, in verità, nuovo. Zantedeschi faceva emergere soltanto il punto di vista della tradizione voltiana, avallandolo con gli esperimenti noti. L'induzione elettrostatica veniva interpretata facendo leva sul concetto di diminuzione, o al limite di annullamento, della carica indotta per effetto della concomitante azione di atmosfere di pressione contrarie. Questa condizione, per cui i corpi risultavano allo stato neutro, doveva essere attribuita, secondo l'idea di Volta, ad un'accresciuta capacità elettrica, prodotta dalla contiguità. La diminuzione di tensione si manifestava senza che fosse avvenuta una variazione della carica presente sul corpo. Quando, nel 1856, commentò le dichiarazioni fatte da Francesco Regnani sull'ipotesi dell'elettricità dissimulata di Melloni, Zantedeschi affermò ancora di non voler dare al principio se non l'interpretazione suggerita da Beccaria e da Volta: «l'elettricità dissimulata è quella che non dispiega né attrazione, né repulsione, ma è occultata come nell'elettricità vindice» (Zantedeschi 1856, p. 415). Da non trascurare che nel periodo d'insegnamento presso il Seminario di Pavia, dove arrivò nello stesso anno della morte di Volta (1827), Zantedeschi frequentò i suoi sostenitori più fedeli, soprattutto Pietro Configliachi (1777-1844), che ne era stato il successore sulla cattedra di fisica sperimentale.

Nel *Trattato di fisica elementare* gli apparecchi ad induzione, condensatore ed elettroforo, erano spiegati con l'azione prodotta dall'incontro di due atmosfere elettriche di segno opposto. I coibenti armati, cioè quegli apparati, che hanno «l'attitudine [...], a parità di tensione, a contenere più o men grande quantità di elettrico» erano interpretati diversamente (Zantedeschi 1843-46, vol. 3, p. 147). Il loro rendimento era posto in relazione a due fattori: «a dimensioni uguali, dipende dalla natura particolare della lastra coibente che si adopera» e «a pari natura della lastra, la capacità è in ragione inversa della grossezza della lastra e in ragione diretta della estensione superficiale della arma-

tura isolata» (Zantedeschi 1843-46, vol. 3, pp. 147-148). La bottiglia di Leida diventava un condensatore in quanto la lastra di vetro, utilizzata come coibente tra le armature, aveva una resistenza diversa allo spostamento elettrico di quella dell'aria. Se la capacità isolante del vetro o delle resine, non fosse inferiore a quella dell'aria, non si avrebbe nella bottiglia accumulo di carica.

Nell'esposizione sin qui condotta da Zantedeschi, era tralasciata l'ipotesi della "dissimulazione". Si parlava, invece, di un fenomeno di occultamento, o diminuzione di tensione, per spiegare lo scaricamento parziale della bottiglia non prodotto da dispersione attraverso l'aria. In questo caso la tensione sembrava ridursi in conseguenza della diffusione superficiale dell'elettricità nelle parti non armate del coibente, della penetrazione della carica attraverso gli strati non superficiali del vetro e infine della vicinanza di cariche opposte, ossia della dissimulazione. Secondo Zantedeschi, l'azione di occultamento delle tensioni in due conduttori separati dall'aria dipendeva dalla reciproca influenza delle atmosfere di pressione. Passando a trattare le caratteristiche dei coibenti armati, diventava significativo il ruolo del mezzo. Rammentava a questo proposito le esperienze descritte da Carlo Barletti (1735-1800) sulla resistenza del vetro all'induzione, confrontata con quella dell'aria o di altre sostanze gassose. Questo prevedeva che "la virtù inducente" non agisse a distanza:

Questa influenza a distanza è ancora una eredità dei fisici sistematici, che sostengono nelle scuole, che le forze possano agire a distanza, senza l'intermedio della materia comune. Il principio adunque elettro-statico ha il suo fondamento non nell'influenza a distanza del corpo elettrizzato, ma nella condizione elettrica dell'aria circostante. È un'azione di conflitto, ossia di contatto da molecola a molecola (Zantedeschi 1854b, p. 350).

A queste conclusioni Zantedeschi era giunto attraverso la riflessione sulle idee del vicentino Ambrogio Fusinieri (1775-1853). Quest'ultimo pochi anni prima aveva definito l'elettricità come il prodotto di reazioni fisico-chimiche che interessavano la materia a partire dallo stadio di estrema riduzione molecolare. Alla stessa maniera, esclusi dalla realtà fisica i fluidi imponderabili (che erano espressione dell'ignoranza e della superstizione dei maestri di scuola), Zantedeschi nella *Nuova teoria statica e dinamica dei minimi, o molecolare* scritta nel 1850, ma pubblicata due anni dopo, aveva dichiarato che i fenomeni potevano essere ricondotti a due forze fondamentali, quella elastica delle parti attigue e quella attrattiva, responsabile della coesione in gruppi o sistemi di molecole. Se veniva meno l'equilibrio tra le due forze, si scompaginava anche la materia, aumentava il moto delle particelle, si creava la possibilità che potessero generarsi nuove aggregazioni chimiche o fisiche. L'elettricità costituiva l'effetto necessario e prioritario dello squilibrio di forze all'interno della materia; luce e calore erano effetti secondari, perché non esistevano senza fenomeni elettrici (Zantedeschi 1852, pp. 77-78).

Se l'elettricità era prodotta da particelle materiali in condizione di squilibrio di forze, l'influenza di una carica su un corpo neutro doveva allora consistere in un'azione perturbatrice trasmessa nell'elemento interposto, aria o coibente solido, con uguale movimento.

3. L'influenza elettrica nel mezzo

Nell'articolo del 1854, Zantedeschi, dopo aver ribadito la natura chimica dell'elettricità dell'atmosfera, passava a discutere della condizione elettrica dell'aria intorno ai conduttori elettrizzati. Il fisico veronese rifiutava d'interpretare il comportamento della carica atmosferica sia in base agli assunti della teoria classica, sia in base all'ipotesi di Melloni. Non poneva in dubbio il principio fondamentale dell'elettrostatica, grazie al quale si interpretava la scomposizione delle cariche sull'indotto; sosteneva, in aggiunta, che all'aria aperta lo spazio d'azione del corpo elettrizzato era costituito da una sfera di particelle, l'atmosfera elettrica, carica dello stesso segno del corpo elettrizzato. Si delineava, attraverso queste dichiarazioni, un concetto piuttosto ibrido della funzione del mezzo, poiché è evidente che dietro quell'idea vi era l'esigenza di salvare sia la definizione classica di atmosfera elettrica, sia quanto era stato scritto, da Barletti fino a Faraday, sul ruolo del dielettrico nella trasmissione dell'azione induttiva.

Zantedeschi aveva escluso la polarizzazione dell'aria intorno al corpo, perché un elettrometro a foglie d'oro, fatto muovere sullo stesso piano orizzontale che partiva dal centro dell'elemento inducente, ad una certa distanza R da quello mostrava il massimo di divergenza mentre, allontanato, rivelava una tensione decrescente fino ad un certo punto O e poi un aumento fino al limite dell'atmosfera elettrica. La progressiva chiusura delle fogliette a partire da R era conseguenza della dispersione della carica libera dell'elettrometro, mentre l'aumento della tensione, registrata da O, risultava dalla presenza di un'elettricità di tipo diverso, ossia non di natura induttiva ma di carica, o propria, e di segno opposto. La stasi che si verificava in O non era dovuta ad assenza di tensione, bensì all'equilibrio, prodotto da uno spostamento di carica dalle fogliette al bottone dell'elettrometro e dalla sua compensazione con quella indotta. Man mano che ci si avvicinava al limite dell'atmosfera elettrica, sempre maggiore carica era richiamata nel bottone e le fogliette iniziavano a rilevare elettricità di segno opposto. Ne derivava la legge per cui:

La elettricità naturale del conduttore isolato deve essere premuta nella direzione della tensione maggiore alla tensione minore, se la carica del corpo elettrizzato è positiva; e viceversa, l'elettricità naturale del conduttore isolato dev'essere richiamata per l'equilibrio rispettivo nella direzione della tensione negativa minore alla tensione negativa maggiore, ossia nella direzione nella quale l'elettricità in meno o negativa, è crescente (Zantedeschi 1854b, p. 349).

Da questa legge Zantedeschi faceva discendere la causa del movimento della carica sulla superficie del corpo indotto: «Sono esse [le regole di distribuzione dell'elettricità] una conseguenza immediata della mia legge, e non una conseguenza immediata dell'influenza del corpo elettrizzato, come suppongono tutti i fisici, e come ha supposto ancora lo stesso Melloni» (Zantedeschi 1854b, p. 349-350). In altri termini, l'induzione era l'evento che rendeva evidente una condizione dello spazio intorno al corpo e non un effetto dell'influenza.

Zantedeschi si servì di questi concetti per spiegare i dati sperimentali ottenuti valutando lo stato d'elettrizzazione dell'atmosfera. L'elettrometro sollevato a cielo sereno,

per effetto dell'azione della tensione positiva dell'aria, mostrava una carica omonima attuata, mentre l'asta superiore assumeva uno stato di elettrizzazione negativo di tipo indotto. Abbassando l'apparato, le fogliette si chiudevano, per l'equilibrio tra l'elettricità naturale del conduttore e la tensione decrescente dell'atmosfera (livello del piano neutro, come avevano detto Biot, Becquerel, De la Rive, Mohr, ecc.). Infine, spostando ancora l'apparecchio oltre il punto da cui si era presa la prima rilevazione, le fogliette ricominciavano a divergere, questa volta per elettricità di carica.

Per sostenere le obiezioni alla teoria di Melloni, il fisico veronese ideò anche un nuovo elettroscopio ad induzione. Questo, per singolare parallelismo, dimostrava, a suo parere, il contrario di ciò che provava l'apparecchio fatto costruire da Melloni nel 1854 (Zantedeschi 1855). Lo strumento ebbe solo una funzione dimostrativa e non di ricerca.

Le convinzioni di Zantedeschi così esposte non davano alcun appiglio all'idea che potesse esistere una carica priva di tensione, che era il caposaldo della teoria di Melloni.

Zantedeschi discusse di elettrostatica in un'ottica tradizionale. Per formazione era legato alla cultura dell'area lombardo-veneta: i suoi punti di riferimento erano Volta, Beccaria, Barletti, Fusinieri; i contatti con la ricerca d'oltralpe, soprattutto nel periodo veneziano e patavino, erano avvenuti attraverso il canale austriaco, come dimostrano, per esempio, le indagini sul problema della trasmissione simultanea di più messaggi sullo stesso cavo telegrafico, nati dall'invito degli organi direttivi dell'impero a partecipare agli esperimenti condotti nel 1854 da J. Wilhelm Gintl (1804-1883) sulla linea Vienna-Linz (Zantedeschi 1854a). Zantedeschi, prendendo le distanze dalla teoria dei fluidi imponderabili, aveva rimarcato, però, un concetto importante, quello di un'elettricità che apparteneva intrinsecamente alla sostanza materiale.

Per concludere, il dibattito sui fenomeni d'induzione elettrostatica che prese avvio dalle idee di Melloni fece da stimolo in Italia al riesame di alcuni concetti basilari sulla natura dell'elettricità. La ricostruzione effettuata di questo processo "d'innovazione al contrario" illustra la grande varietà della ricerca elettrostatica nella seconda metà dell'800, perché la discussione sulla proposta di Melloni non servì solo ad escludere quest'ipotesi, ma condannò anche i concetti simili, ereditati dal passato, su cui non si era ancora fatto un censimento critico. Lo scopo non è quello di riscattare un passato in qualche modo sommerso, riscrivendo una nuova storia, ma mostrare l'espressione multiforme che ebbe all'epoca il laborioso percorso di costruzione di una disciplina come l'elettrostatica.

Bibliografia

- Carletti C. (2012). "Scienza di provincia. La fisica di Francesco Zantedeschi nell'Italia preunitaria". *Quaderni per la storia dell'Università di Padova*, 45, pp. 139-167.
- Colombini G. (a cura di) (1989). *La fisica a Padova nell'800. Vita e opere di Francesco Zantedeschi*. Padova: Dip. di fisica "G. Galilei".
- Curi E. (a cura di) (2001). *La figura e l'opera di Francesco Zantedeschi. Atti del convegno* (Dolcè-Verona, 24 maggio-15 novembre 1998). Verona: Accademia di agricoltura, scienze e lettere.

- Nascita, studj, posizione sociale e bibliografia delle principali opere e memorie di Francesco Zantedeschi* (1857). Padova: Sicca.
- Tinazzi M. (1999). *Francesco Zantedeschi: manoscritti e lettere veronesi*, in Tucci P. (a cura di), *Atti del XVIII Congresso nazionale SISFA* (Como, 15-16 maggio 1998). Milano: Università degli Studi, pp. 1-15.
- Zantedeschi F. (1843-46). *Trattato di fisica elementare*, 4 voll. Venezia: Tip. Armena di S. Lazzaro.
- Zantedeschi F. (1852). “Nuova teoria statica e dinamica dei minimi, o molecolare”. *Giornale fisico-chimico italiano, ossia raccolta di scritti risguardanti la fisica e la chimica degli italiani*, 7, pp. 76-98.
- Zantedeschi F. (1854a). “Delle correnti elettriche simultanee, che passano in direzioni opposte sul medesimo filo”. *Ateneo Italiano*, 3, pp. 56-60.
- Zantedeschi F. (1854b). “Nuovi esperimenti risguardanti l’origine dell’elettricità atmosferica e dell’induzione elettro-statica nei conduttori solidi isolati”. *Ateneo italiano*, 2, pp. 339-352.
- Zantedeschi F. (1855). “Nuovo elettroscopio per le due elettricità d’influenza”. *Sitzungsberichte der Mathematisch-naturwissenschaftlichen, klasse der K. Akademie der Wissenschaften*, 17, pp. 171-173.
- Zantedeschi F. (1856). “Osservazioni alla lettura del prof. Regnani sul teorema fondamentale dell’induzione elettrostatica e sul raggiamento elettrico”. *Atti dell’I.R. Istituto veneto di lettere, scienze ed arti*, 3, I, pp. 414-415.

PHYSICS IN THE 20th CENTURY

The Milan Institute of Physics During the Fascist Regime

Leonardo Gariboldi - Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica
“Aldo Pontremoli” - leonardo.gariboldi@unimi.it

Abstract: The Institute of Physics of the Royal University of Milan was established by Giovanni Polvani after he was called as professor of Experimental Physics in 1929. In this paper I shall analyse the development of the Institute of Physics and the relation of its members with the Fascist regime and sketch the teaching activities up to the end of World War II.

Keywords: Milan Institute of Physics, Giovanni Polvani, Fascism.

1. The establishment of the Milan Institute of Physics

The Royal University of Milan was established on August 28th 1924. Its establishment was the result of a long process which eventually made use of the decree of reorganization of higher education, the so-called Gentile's reform of universities, issued on September 30th 1923. The university was planned to be formed by the four faculties of medicine, humanities, law, and sciences. A few pre-existing institutions, such as the Scientific-Literary Academy and the Clinical Training Institutes would have become the core of the faculties of humanities and medicine respectively. New institutions were specially founded for the university: the Medical-Surgical Specialization Schools, and the School of Modern Foreign Languages and Literatures. As for the planned Faculty of Sciences, the founding core would have been the Society of Arts and Crafts Encouragement, in particular its chemical school. In this way, the Faculty of Science was planned to be centred on chemistry education in a strict relation with the Lombard industrial milieu. A group of mathematicians would have contributed to the establishment of the Faculty of Sciences.¹ Other scientific institutions could offer a minimum contribution by hosting one course: this was the case of astronomy at the Brera Astronomical Observatory, or that of mineralogy at the Museum of Natural History. Physics was completely absent from the founding plans. An obstacle to the establishment of a new school of physics was the agreement with the University of Pavia concerning the degrees offered by the Faculty of Sciences. In particular, the University of Milan agreed in not offering a degree course in Physics.

Starting from 1924, the course of Experimental Physics was borrowed by the Royal Polytechnic School: the students attended Oreste Murani's classes and didactical laboratory. The course of Complementary Physics (i.e., advanced physics) was taught by

¹ For the sake of brevity, I shall use this shortened unofficial name. The faculty's name changed over time according to its changing composition.

Aldo Pontremoli who was called on this occasion from the University of Rome. Pontremoli founded the Institute of Complementary Physics,² located in via Sacchini in a building which hosts today a school. In 1926 Pontremoli was in charge of the course of Experimental Physics. In the same year, Pontremoli won the first public competition for the chair of Theoretical Physics. His course of Theoretical Physics replaced that of Complementary Physics.

Given the geographical spread of the institutions that hosted the scientific courses, the University planned to move all the components of the Faculty of Sciences. In 1927 the scientific institutions moved to the palace that had been built to house the rectorate and the central offices. The palace was thus named the Sciences Palace. It was not the best solution, because its rooms had been planned to be used as offices and meeting rooms, and not as classrooms or scientific laboratories. The Institute of Complementary Physics had at its disposal about ten rooms on the Northern side of the first floor, and the cellars below which were unused. Pontremoli adapted one room each as library, workshop, classroom, and office, and the other ones as laboratories.

On May 25th 1928, Aldo Pontremoli disappeared onboard the “Italia” airship during the polar expedition led by Umberto Nobile. The Faculty of Sciences had already appointed as alternates Enzo Pugno Vanoni for the course of Experimental Physics, and Bruno Finzi for the course of Theoretical Physics. In 1929, following the fruitless searches for any survivors, Pontremoli was officially recognised dead. The Faculty of Sciences succeeded in changing his chair of Theoretical Physics into that of Experimental Physics and called Giovanni Polvani³ from the University of Pisa. On this occasion, the Institute of Complementary Physics changed its name into Institute of Physics.

Polvani found a scientific institute which had to be radically transformed.⁴ The equipment of the didactic laboratory was somehow insufficient for a course of Experimental Physics. At the same time, the equipment of the research laboratories was of high quality and concerned spectroscopy, metrology, X dosimetry, and radiology. The worst point, in Polvani’s mind, was the total lack of students given the agreement which prevented the University of Milan to offer a degree course in Physics.

Polvani’s plan to start a new Institute of Physics was focussed on the following points: a new degree course in Physics; new assistants; other professors; a new building (Belloni 1988). We shall see how Polvani was able to organise a degree course in Applied Physics in a first time, and in Physics in the mid ’30s. The immediate effect was the everyday presence of students and undergraduates in the life of the Institute of Physics. As assistants, given the complete lack of Physics graduates in Milan, Polvani called from Pisa Giuseppe Bolla and Amedeo Giacomini. Bolla made important researches in Raman spectroscopy, while Giacomini studied microwaves and ultrasounds. Some of the new graduates joined them, such as Olga Bertoli. In 1938 the group of assistants changed since Giuseppe Bolla was a winner of the public competition in Experimental Physics and went to the University of Palermo, whereas Amedeo Giacomini

² On the birth of the Institute of Physics see: (Gariboldi 2007).

³ On Giovanni Polvani see: (Salvetti 1970), (Gariboldi 2015).

⁴ On Polvani and the Institute of Physics see: (Belloni 1988).

became the director of the C.N.R. Institute of Electroacoustics in Rome. A second group of assistants was thus formed by Antonino Mura from Pisa, and newly graduates such as Giuseppe Cocconi, Vanna Tongiorgi, Corrado Mazzon, Giovanni Fioretti, Vittorio Somenzi, and Carlo Salvetti. They constituted the first team of cosmic ray physicists in Milan with researches carried on not only in town but also at high altitude on the Alps with cloud chambers and counters. Cocconi left Milan to Catania when he won the 1941 public competition in Experimental Physics, Tongiorgi followed him, and Fioretti died during the war in 1942. As new professors, Polvani was able to create two new chairs in the Faculty of Sciences: Giovanni Gentile was the new professor of Theoretical Physics from 1936 up to his death in 1942, and Giuseppe Bolla who came back to Milan in 1941 as professor of Superior Physics. Gentile continued to carry on researches in quantum mechanics; one of his main results obtained in Milan was the formulation of the intermediate statistics, i.e. relative to quantum states with a number of occupation between one (fermion statistics) and infinity (boson statistics). Only in the mid '60s Polvani will be able to inaugurate the new building hosting the Institute of Physics. In the mid '30s the rooms were crowded; the situation started already to worsen with Gentile's arrival to Milan.

2. The University and the Regime

As we have seen the University of Milan was established in 1924, that is two years after the beginning of the first Fascist government. The Fascist government evolved into a dictatorship with a series of legislative acts in 1925-26. This closeness of dates was entirely contingent, but both the university and the regime tried to take advantage of it.⁵ The regime did not fail to highlight its great success of having founded a big university, while the university on its side showed how its establishment had taken place in the Fascist era.

Many events, such as the public adhesion in support of the conquest of Ethiopia or the donation of gold to the fatherland, can be considered normal routine at the time. The students, like the students of the other Italian universities, participated to activities such as the national fascist games or were members of the university militia, which in Milan was named after the Duce's brother, Arnaldo Mussolini. The rhetoric of student indoctrination was part of the normal functioning of the university, although with dubious effects. The teachings of military culture added to it. A course of Application of Physics to the Art of War was planned to be taught by Pontremoli, but it was never started. The professors of the Faculty of Sciences all adapted to the situation. They followed the dressing code (such as wearing the black shirt on certain occasions). They swore allegiance in 1931 (only Filippo Marinetti, professor of philosophy, refused to swear). They all joined the Fascist National Party since it was mandatory from 1933 for all professors, lecturers, candidates for a professorship.

⁵ On the impact of Fascism on the Institute of Physics see (Gariboldi 2020).

The main example, in my opinion, of mutual opportunistic exploitation of the university and the regime was the awarding of an honorary degree in Physics and Mathematics to Pietro Badoglio in 1937. In the minutes of the meeting of the Faculty of Sciences we can read the motivation behind the awarding of the honorary degree:

Heroic soldier of the Libyan enterprise and of the War of Liberation [the First World War], architect of recovery and victory, strenuous leader of the conquering army of the Ethiopian Empire, he was a master in the organization of the weapons and devices that modern science and technology place at service of armies. He promoted and excited studies and researches in every field of Physical and Mathematical Sciences for the greatest military power of the Nation, with a work that rejoins the glorious polytechnic traditions of the great captains of the Italic peoples (Centro APICE, Historical Archive of the University of Milan, series 1.4.4, u.a. 3: Minutes of the meetings of the Council of the Faculty of Sciences, November 29th 1937: 63; translation by the author).

Three marshals of Italy (the highest honorary rank in the Royal Italian Army at the time), Emilio De Bono, Rodolfo Graziani, and Pietro Badoglio, were to visit Milan in November 1937. The university saw their visit as an opportunity to show off by conferring honorary degrees in Humanities on De Bono, in Law on Graziani, and in Physics and Mathematics on Badoglio. At the same time, the degree conferred on Badoglio, who had been appointed president of the C.N.R. a short time earlier, was useful to the regime. Badoglio appeared in the university yearbooks until 1943 as a member of the Faculty of Sciences, as an honorary graduated in Physics and Mathematics.

The situation worsened in the late '30s with the political rapprochement with Germany, the enactment of racial laws, and in the '40s with the entry into World War II, the constitution of the Italian Social Republic and the German occupation. As a consequence of the racial laws, nine professors and other people were expelled from the university. Three professors were of the Faculty of Sciences (Bruno Finzi Contini, Guido Ascoli, Luigi Szegoe) and a fourth one, who taught Physiology to the students of the Faculty of Sciences, was of the Faculty of Medicine (Carlo Foà). The Jewish students were not expelled, but were separated from the Aryan students during the exams.

Polvani practiced a public adhesion to the regime while deep down he was anti-fascist. He suffered a few public attacks, such when he was accused to waste public money by practicing Jewish Physics (he had actually made built a Wilson chamber). During the war he did everything he could to save lives and material possessions of the Institute of Physics. In a 1949 report of his activities he wrote:

Speaking of the war, we like to remember how, despite the complete lack of assistants and with the extremely few subordinate personnel, prof. Polvani was able, assisted, with a truly fraternal understanding and concern, by the Rector De Francesco, to save, in spite of the Germans and Italians enslaved to the Germans, all the material of the Institute and to recover a large part of that of the Institute of Physics of Pisa, stolen by the German SS. In the Republican period, a Greek, dr. Loverdo, wanted by the SS and then made to flee to Switzerland, was welcomed in the Institute; the assistants were all reluctant to the calls of the Republic of Salò; many students be-

longed to the partisan groups (Centro APICE, Historical Archive of the University of Milan, series 7, b, 7, Sciences: Report of the activity of the Institute of Physics of the University of Milan since its foundation up today and on its today situation, February 2nd 1949: 10-11; translation by the author).

The surviving documentation allows us to trace some of these activities, in particular the saving of the books and instruments of Milan and Pisa. As a matter of fact, neither Polvani nor any other member of the Institute of Physics was in the least involved in the purge processes that took place in the summer immediately after the end of the war. In the autumn, 55 students were recognized as dead on the field of honour (i.e.: members of the Royal Army) or for freedom (partisans or other victims of the regime). One of them, Jacopo Dentici, was a second year student of Physics. He died in Gusen II, a dependency of Mauthausen, on March 1st 1945.

3. The Physics Course

In 1930 Polvani was able to activate two new degree courses: in Applied Physics and in Mathematics and Applied Physics. The adjective “Applied” was used to circumvent the agreement with the University of Pavia. In fact, there were only two courses in physics (Experimental Physics and Theoretical Physics, both taught by Polvani) and a two-year physics laboratory. The students had to take twelve exams chosen from twenty-four courses.

In 1935, while he was the Dean of the Faculty of Sciences, Polvani was able to impose his will of offering the two new degree courses in Physics and in Mathematics and Physics. In the previous five years it had been observed that the number of students of Applied Physics was very small (let’s not forget that most of the students in Milan studied chemistry) so that the new degree course was not supposed to pose a danger to the University of Pavia, which feared losing many students.

With the degree course in Physics, the students had to take twelve exams of fundamental courses and other two at their choice among six complementary courses (Organic Chemistry; Technical Physics; Electrical Engineering; Astronomy; Mineralogy; Calculus of Probability). The courses in physics were now four (Experimental Physics; Exercitations of Experimental Physics; Theoretical Physics; Superior Physics), with a two-year physics laboratory.

The study plan was as follows:

1st year: Mathematical Analysis (I); Analytical Geometry with Elements of Projective Geometry; Experimental Physics (I); General and Inorganic Chemistry with Elements of Organic Chemistry; Chemical Preparations.

2nd year: Mathematical Analysis (II); Experimental Physics (II); Exercitations of Experimental Physics (I); Rational Mechanics with Elements of Graphic Statics; Physical Chemistry.

3rd year: Superior Analysis; Theoretical Physics; Mathematical Physics; Exercitations of Experimental Physics (II).

4th year: Superior Physics; Exercitations of Experimental Physics (III); two choice courses.

The teachers belonging to the Institute of Physics were: Giovanni Polvani (Experimental Physics 1931-45; Superior Physics 1938-40; Theoretical Physics 1931-36), Giovanna Mayr (Experimental Physics 1931-45), Giuseppe Bolla (Superior Physics 1935-38, 1942-45; Earth Physics 1942-45), Amedeo Giacomini (Electric Measurements ?-1938), Giovanni Gentile (Theoretical Physics 1936-42; Calculus of Probability 1937-42), Giuseppe Cocconi (Superior Physics 1940-42), Carlo Borghi (Theoretical Physics 1943-45; Calculus of Probability 1943-45).

In total there were sixty students for the degree course in Physics in 1935-45. From the analytical data, the effect of the war on the number of male students can be observed. The female/male ratio was on average 32% of the total number of students with peaks of 50%. The number of graduates was a few unites per year with a total number of 37 graduates (26 males, 11 females) with a peak of 7 male graduates in 1944-45 who were late due to their military war service. Some noteworthy graduates were: Olga Bertoli, the first female student graduated in physics in Milan and later an assistant in Polvani's team; Giuseppe Cocconi, Corrado Mazzon, and Vanna Tongiorgi who worked in the first team of cosmic ray physics in Milan; don Carlo Borghi, who replaced Gentile during the war after his death; Carlo Salvetti and Giorgio Salvini who were active soon after the war.

References

- Belloni L. (1988). "Giovanni Polvani e l'Istituto di Milano". *Il Nuovo Saggiatore*, 4, pp. 35-49.
- Gariboldi L. (2007). "La nascita e i primi sviluppi degli studi di fisica". *Annali di storia delle università italiane*, 1, pp. 261-276.
- Gariboldi L. (2015). *Polvani Giovanni*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 84. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Gariboldi L. (2020). "L'impatto del Fascismo sull'Istituto di Fisica di Milano: Il caso della borsa di studio Aldo Pontremoli". *Quaderni di Storia della Fisica*, 23 (1), pp. 117-138.
- Salvetti C. (1970). "Commemorazione del M. E. Giovanni Polvani". *Rendiconti dell'Istituto Lombardo*, 104, pp. 115-124.

Aurorae Borealis and Cosmic Rays: From Vannevar Bush's Differential Analyzer to Digital Simulation

Benedetta Campanile - Seminario di Storia della Scienza, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" - benedetta.campanile@uniba.it

Abstract: Independent research, like studies on aurorae borealis and cosmic rays, found their point of union in the use of the first analog computer invented by Vannevar Bush in 1931, the *differential analyzer*. In fact, this computer met the rising need of solving complex computation required by new cosmological hypotheses. The *analyzer* was used by Manuel Vallarta and Georges Lemaître to numerically solve the complex system of differential equations describing the trajectories of cosmic rays. The approximated calculations provided a new image of the cosmos and demonstrated the power of the computer. After World War II, scientific research required different performances that the new digital computers could offer, as the MANIAC I, built under the direction of Nicholas Metropolis. The new frontier of computation offered a new perspective of simulation.

Keywords: Aurore boreali, Computer analogici, Computer digitali, Metodo Monte Carlo, Raggi cosmici.

1. Introduzione

La ricerca sui raggi cosmici ha intercettato nel tempo diverse metodologie di misurazione: dall'osservazione diretta, alla fotografia, alla modellizzazione matematica e ai computer analogici. Infine, la simulazione con i computer digitali si è rivelata la tecnica più espressiva per studiare i fenomeni osservabili ma non riproducibili nella realtà come gli oggetti della fisica nucleare e dell'astronomia.

2. Le aurore boreali: dall'osservazione alla misurazione

L'osservazione del misterioso e "meraviglioso" evento atmosferico delle aurore boreali si trasformò in vero interesse scientifico nel 1700. Il primo testo interamente dedicato alle aurore fu edito in Francia dall'astronomo Jean-Jacques de Mairan (1678-1771), *Traité physique et historique de l'Aurore Boréale* (Mairan 1731). Ma solo nel Novecento iniziarono le misurazioni per comprenderne l'origine e le caratteristiche. Spinto, infatti, dal crescente interesse per i fenomeni elettrici dell'atmosfera, nel 1902, lo scienziato norvegese Kristian Birkeland (1867-1917) organizzò due spedizioni nelle regioni polari con lo scopo di registrare dati (Birkeland 1908). L'opinione di Birkeland era che

le aurore fossero dovute ai raggi corpuscolari emessi dal Sole nei periodi di massima attività delle macchie solari. Egli riprodusse un'aurora in laboratorio grazie a un apparato, detto "Terrella", posto in una camera a vuoto, che simulava l'attrazione magnetica di raggi catodici diretti verso una sfera magnetizzata e rese in parte visibili le loro traiettorie (Lilensten *et al.* 2013, pp. 1-2). La sperimentazione non spiegò l'origine delle aurore, ma confermò il movimento dei corpuscoli elettrici dal Sole verso la Terra e fornì a Birkeland gli elementi per formulare un'ipotesi sull'origine del cosmo che assumeva «the existence of a universal directing source of electro-magnetic origin in addition to the force of gravitation» (Birkeland 1908, p. 86).

La grande quantità di dati delle spedizioni attirò l'interesse del matematico norvegese Carl Størmer (1874-1957), che cercò di costruire un modello matematico coerente con il fenomeno (Størmer 1947, p. 161). Nel 1911, ispirato probabilmente dalla prima rete di postazioni di rilevamento istituita dai meteorologi, raccolse misurazioni fotografiche da più stazioni nell'area della Norvegia meridionale e con oltre 12.000 foto descrisse le traiettorie con un sistema non lineare di equazioni differenziali e coordinate polari. Dimostrò che il raggio di curvatura di qualunque percorso delle particelle era proporzionale al quadrato della sua distanza dal centro della sfera. Ma queste equazioni di moto non avevano soluzioni analitiche e richiedevano all'incirca 30.000 ore di calcolo manuale (Egeland, Burke 2013, pp. 29-107). Lo scienziato usò l'integrazione di Vêrlet, detta poi metodo di Størmer, per ottenere iterativamente i valori sotto forma di tabella numerica.

3. I raggi cosmici: messaggeri dell'origine del cosmo?

Nel 1922, l'anno prima di ricevere il premio Nobel, il fisico Robert Andrew Millikan (1868-1953), giunto a Pasadena come direttore del Norman Bridge Laboratory nel California Institute of Technology, intraprese lo studio di un'altra misteriosa radiazione che bombardava la Terra ed era stata appena scoperta, nel 1912, sia dall'austriaco Victor Hess (1883-1964) sia dall'italiano Domenico Pacini (1878-1934). Millikan utilizzò l'esperienza, acquisita nel servizio meteorologico durante la Prima guerra mondiale, per misurare la radiazione con strumenti di registrazione costruiti appositamente e inviati in atmosfera con palloni areostatici. Con queste registrazioni giunse alla convinzione che i raggi provenivano dallo spazio e li chiamò "raggi cosmici" (Millikan, Cameron 1928, p. 401), (Fig. 1). L'interesse dei fisici per questo tema aumentò e si rivolse alla comprensione della natura della radiazione. Diverse spedizioni furono condotte tra il 1931 e il 1933 da Arthur Compton (1892-1962), che sosteneva la natura corpuscolare dei raggi in opposizione a quella ondulatoria di Millikan (De Maria, Russo 1989, pp. 211-269). Il «New York Times» portò in prima pagina la controversia nata tra i due scienziati e creò interesse intorno alla nuova teoria cosmologica di Millikan (Laurence 1932). Quest'ultimo ipotizzava un universo in eterna formazione grazie a nuovi atomi continuamente creati da Dio per contrastare l'entropia. L'ipotesi non riscosse molto favore, ma richiamò l'attenzione su cosa poteva effettivamente raccontare la radiazione cosmica sull'origine del Cosmo.

Nel '29 Walther Bothe (1891-1957) e Werner Kolhörster (1887-1946) pubblicarono “Die Natur der Höhenstrahlung”, un articolo in cui dimostravano con il metodo delle coincidenze che i raggi cosmici non erano una radiazione neutra, come sosteneva Millikan, ma erano particelle cariche influenzate dal campo magnetico. Nel '32, Arthur Compton e i suoi collaboratori misurarono gli effetti geomagnetici provocati dal cambiamento di latitudine e longitudine e dalla variazione dell'intensità dei raggi cosmici con l'altezza. Compton chiuse la controversia dimostrando che i raggi cosmici erano particelle cariche positive (Campanile 2016, p. 89, nota 97).

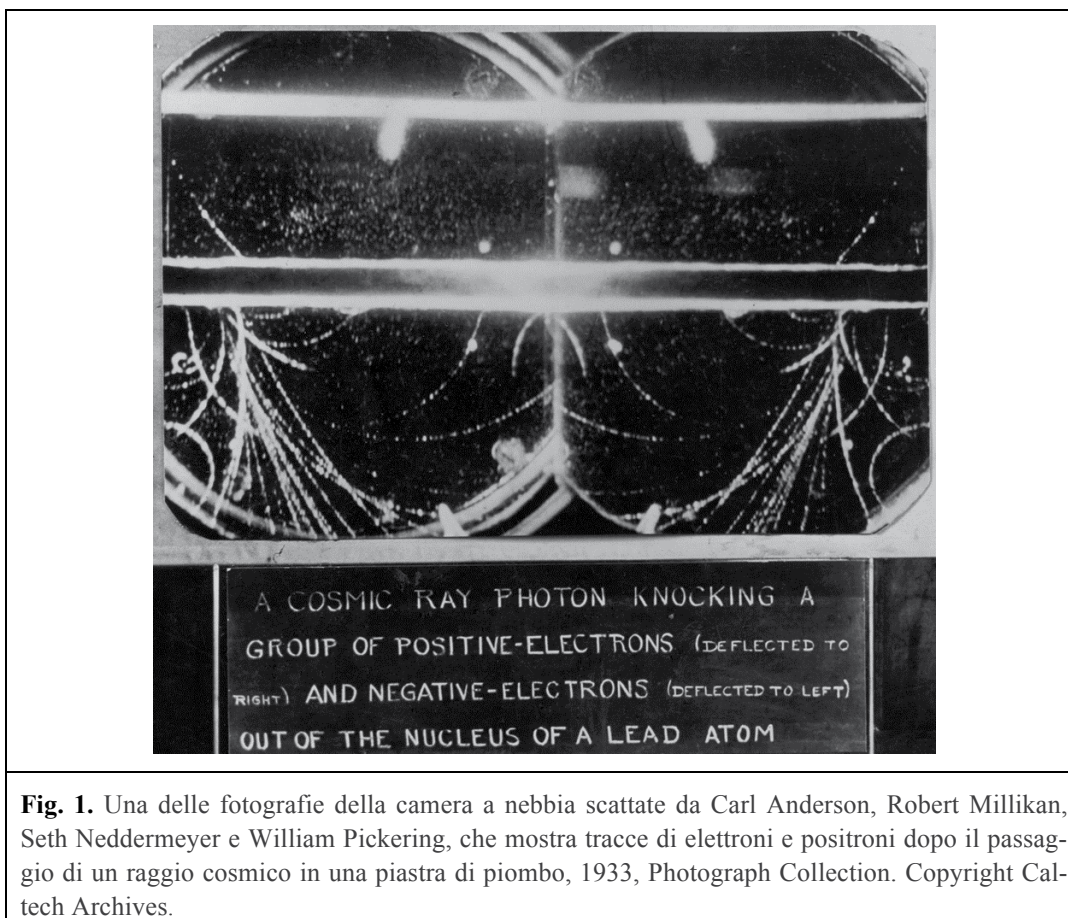


Fig. 1. Una delle fotografie della camera a nebbia scattate da Carl Anderson, Robert Millikan, Seth Neddermeyer e William Pickering, che mostra tracce di elettroni e positroni dopo il passaggio di un raggio cosmico in una piastra di piombo, 1933, Photograph Collection. Copyright Caltech Archives.

Nel '38 l'austriaca Marietta Blau (1894-1970) confermò visivamente la natura corpuscolare dei raggi cosmici, ipotizzata anche da Bruno Rossi (1905-1993). Infatti, riuscì a catturare nelle sue emulsioni fotografiche, esposte ai raggi solari a 2300 metri di altezza, l'interazione tra una particella dei raggi e un atomo pesante dell'emulsione, bromo o argento, detta *stella di disintegrazione* (Strohmaier, Rosner 2007, pp. 44-45).

Questi risultati erano stati possibili grazie all'invenzione, nel 1930, del circuito alle coincidenze di Bruno Rossi. Lo scienziato italiano, partendo da un contatore Geiger, aveva costruito un circuito basato sul metodo scoperto da Walther Bothe (1891-1957) nel 1926 (Bonolis 2011). Questo strumento cambiò sia la ricerca sui raggi cosmici sia

la tecnologia di computazione. In quest'ultimo ambito, infatti, il principio di funzionamento delle coincidenze servì a creare la prima porta logica elettronica, la porta AND inventata da Walther Bothe nel 1924 e brevettata insieme a Werner Kolhörster e Bruno Rossi nel 1929. Quest'ultima fu trasformata in un elemento di memorizzazione, il circuito digitale o *Flip-Flop*.

La scoperta di Rossi rivelò che l'interazione della radiazione cosmica con la materia produceva sciami di particelle cioè gruppi di particelle secondarie ionizzanti. La formazione e il loro percorso verso la Terra divenne il nuovo oggetto di ricerche.

4. I raggi cosmici e l'ipotesi dell'atomo primordiale di Georges Lemaître

Tra il 1927 e il 1931, il cosmologo belga e sacerdote cattolico Georges Lemaître (1894-1966) ipotizzò che i raggi cosmici fossero parte dei residui della creazione del sistema solare. Esperto nella soluzione numerica delle equazioni differenziali della relatività, egli si concentrò su un modello matematico dell'universo in cui il raggio cresceva in funzione del tempo. Formulò la sua ipotesi dell'atomo primordiale nel 1931. Il concetto di fondo era che i nuclei atomici fossero prodotti da disintegrazioni del quanto primordiale (Lemaître 1931). Dal 1931 al 1934 Lemaître espose le sue tesi in vari contesti scientifici (Lambert 2016). Qui l'idea di approfondire lo studio dei raggi cosmici dal punto di vista astronomico trovò proseliti nell'astronomo svizzero Fritz Zwicky (1898-1974), che auspicò potessero chiarire molti misteri dell'astronomia (Lodge 1936, p. 116).

Tornato al Massachusetts Institute of Technology (MIT), dove aveva studiato per il dottorato, Lemaître avviò studi sui raggi cosmici con il suo ex maestro, il fisico messicano Manuel Sandoval Vallarta (1899-1977), per avere conferme alla tesi cosmologica.

Lo scopo era tracciare le traiettorie dei raggi cosmici. I due decisero di usare la notazione che Størmer aveva creato per le aurore boreali. Le equazioni, però, non avevano soluzioni analitiche e quelle numeriche erano troppo laboriose da calcolare a mano. Così Vallarta, su consiglio del suo insegnante e collega Vannevar Bush (1890-1974), inventore nel 1931 del primo computer analogico funzionante, l'Analizzatore differenziale, accettò di eseguire quei laboriosi calcoli sul computer di Bush. L'Analizzatore, infatti, poteva essere impostato per risolvere in tempi ragionevoli e con buona approssimazione un sistema di equazioni differenziali. Si trattò di una collaborazione inedita tra dipartimenti diversi del MIT, che suscitò anche qualche risentimento nei confronti di Bush, ma per la prima volta fece dialogare discipline diverse – fisica, astronomia, matematica e ingegneria – e coniugò l'approccio teorico, la tesi di Lemaître, a quello applicativo ingegneristico, come era prerogativa della ricerca al MIT.

La soluzione del sistema di equazioni di Lemaître-Vallarta richiese molto lavoro di progettazione per adattare l'Analizzatore, perché «it is an exceedingly involved affair, and happens to be of such nature that it is hard to get all of the various terms properly represented» (Boston, MIT Department of Distinctive Collections, Institute Archives, *VBP*, MC 78, January 6, 1933). Dopo aver provato una dozzina di schemi di funzionamento su carta, l'analizzatore fu modificato da un collaboratore di Bush, Samuel Cald-

well, che *ingegnosamente* impostò le connessioni della macchina secondo le condizioni iniziali in ciascuno dei componenti (Owens 1986, p. 77, fig. 8). Con l'ausilio del computer i due calcolarono prima la forma delle traiettorie dei raggi cosmici nel campo magnetico terrestre (Lemaître, Vallarta 1933, p. 91) e, poi, le traiettorie consentite tra quelle al di fuori del cono di Størmer, il cosiddetto effetto ombra, che mostrarono l'ottima approssimazione del computer (Lemaître, Vallarta 1936, p. 499). Un altro dei calcoli eseguiti con l'analizzatore fu l'effetto di asimmetria. Dopo vari tentativi, nella primavera del 1935 il problema fu risolto con un approccio nuovo, facendo partire le traiettorie da un punto prescelto sull'equatore e regolando poi la pendenza iniziale in modo che la traiettoria non si intersecasse e non cadesse vicino all'orbita periodica, che era già nota. Furono calcolate circa 25 traiettorie con una buona approssimazione riducendo al minimo la propagazione dell'errore. I due studiosi usarono il formalismo di Størmer, ma applicarono anche il teorema di Liouville, come Enrico Fermi (1901-1954) e Bruno Rossi avevano suggerito nel 1933 (Lemaître *et al.* 1935, p. 435, nota 2). Per questo ottennero risultati più accurati del matematico norvegese. Inoltre, nel '37, i due studiosi spiegarono gli effetti di latitudine e azimut scoperti da Jacob Clay (1882-1955) e Compton e dimostrarono che i raggi cosmici potevano essere solo particelle cariche, confermando l'ipotesi di Compton.

I limiti dell'analizzatore, però, impedirono di risolvere il problema *dei 3 corpi*. Bush pensò di risolvere il problema tecnicamente, progettando un nuovo analizzatore, elettronico, con servomeccanismi per modificare automaticamente, cioè senza intervento umano e quindi senza errori, la configurazione della macchina. L'opportunità di finanziare il nuovo costoso progetto si presentò grazie all'interessamento di Warren Weaver (1894-1978), il nuovo direttore della Divisione di scienze naturali della Fondazione Rockefeller, che doveva valutare la richiesta di acquisto di un analizzatore di Bush inoltrata alla Fondazione dall'astrofisico norvegese Svein von Rosseland (1894-1985) nel 1932. Quest'ultimo, Rockefeller Fellow presso il Mount Wilson Observatory a Pasadena e Visiting Professor all'Harvard College Observatory, intendeva acquisire un analizzatore per il nuovo Istituto di Fisica Teorica dell'Università di Oslo (Randers, Schwarzschild 1964). Le conseguenze della *Depressione* economica bloccarono il finanziamento al MIT fino alla primavera del '35, mentre Rosseland poté avviare la costruzione del suo analizzatore nel '33 e la completò nel '38. Come Bush aveva auspicato, il giovane astrofisico introdusse nuovi miglioramenti al computer: un sistema più semplice e veloce per impostare le condizioni di input e creò 12 unità di integrazione. L'analizzatore di Oslo era il più grande del mondo ed era affidabile ed efficiente (Rosseland 1939).

A Oslo Rosseland parlò dei risultati di Lemaître e Vallarta a Størmer, che rispose su *The Physical Review*, nel 1934, con una dura critica per alcuni errori dei due studiosi, ma non diede adeguata importanza all'applicazione del Teorema di Liouville, che aveva portato a risultati diversi dai suoi. Produsse anche, dal 1934 al 1936, una serie di articoli sulla teoria dei raggi cosmici, senza mai specificare se avesse usato l'analizzatore per i suoi calcoli. Sicuramente nel '36, all'*International Congress of Mathematicians*, Størmer esibì orgoglioso il progetto dell'analizzatore norvegese, portò i suoi nuovi risultati su diverse forme di aurora e discusse delle nuove scoperte sui raggi cosmici, sot-

tolineando che i suoi metodi matematici avevano campi di applicazione sempre più ampi. Auspicò, quindi, nuovi studi teorici sulle equazioni differenziali per avviare l'integrazione tra matematica pura e applicata (Hollings, Siegmund-Schultze 2020, p. 162).

Nel '40 Rosseland fuggì negli Stati Uniti in quanto ebreo e nascose la macchina, dopo averla divisa in pezzi, affinché i tedeschi non la trovassero. Al suo ritorno nel '46, la rimise in funzione e la aggiornò con soluzioni più efficienti. Ma la macchina non rispondeva più alle esigenze delle nuove ricerche scientifiche che guardavano a un nuovo tipo di computer, i computer digitali (Campanile 2016, p. 120).

5. Bombe, raggi cosmici e computer digitali: la virtualizzazione dell'esperimento

L'esistenza del primo computer digitale presso la University of Pennsylvania, l'*Electronic Numerical Integrator and Computer* fu rivelata nel '46 (ENIAC, 1942-1945). Progettato per calcolare tavole di tiro più precise e per i complessi calcoli termonucleari della bomba ad idrogeno, l'ENIAC fu testato con i primi programmi a codice memorizzato - tecnica introdotta dal matematico ungherese John von Neumann (1903-1957) - modellati sui problemi dei raggi cosmici. Per la prima volta un esperimento era simulato nell'ambiente virtuale creato in un computer (Galison 1996, p. 120).

L'ENIAC era più flessibile, veloce e preciso di un analizzatore, perché concepito come un computer *general-purpose*, cioè capace di trattare qualsiasi problema senza cambiare la sua configurazione. Per fare questo, il fisico John William Mauchly (1907-1980) e gli altri due ideatori - l'ingegnere John Presper Eckert (1919-1995) e il matematico Herman Goldstine (1913-2004) - attingendo all'esperienza con i contatori Geiger, avevano usato porte logiche fatte di valvole termoioniche come *flip-flop* per rappresentare i bit. Il computer aveva guadagnato in velocità e precisione, risolvendo il problema della gestione dell'errore su un gran numero di operazioni ripetitive.

Per testare il computer, Mauchly cercava un esperimento con il quale prevedere il comportamento delle particelle di un'esplosione nucleare (Metropolis 1987, p. 125). Il problema era analogo a quello che descriveva i percorsi e le interazioni dei raggi cosmici quando attraversano un materiale. La previsione delle interazioni richiedeva un metodo statistico per gestire le interazioni casuali. Il matematico Stanislaw M. Ulam (1909-1984) osservò subito che questa situazione poteva essere rappresentata dalla funzione distribuzione di probabilità e che i calcoli ripetitivi potevano essere eseguiti da un computer digitale numerose volte senza perdere in precisione. Fu scelto un metodo statistico di campionamento già noto ma poco usato per mancanza di strumenti di calcolo affidabili. Ne avevano parlato Georges-Louis Leclerc, Conte di Buffon, nel 1777, e Pierre Simon Laplace nel 1786, ma John von Neumann lo ribattezzò Monte Carlo, in riferimento al famoso Casinò del Principato, per rendere l'idea dell'assoluta casualità nell'uscita dei numeri come nelle carte da gioco. Con il Monte Carlo era possibile simulare il progredire nel tempo di una serie di neutroni virtuali che rappresentavano i membri di una popolazione rilasciata dal neutrone iniziatore dell'esplosione della bomba. Migliaia di eventi casuali di interazioni potevano quindi essere seguiti ripetutamente grazie ad una funzione di generazione di numeri casuali.

Lo scienziato esplicitò l'idea di implementare il metodo statistico nell'ENIAC per la prima volta nella lettera al fisico Robert Richtmyer, l'11 marzo 1947. Fornì un dettagliato piano di simulazione del comportamento dei neutroni in diversi materiali e propose un modello sferico che semplificava la computazione perché aveva bisogno solo di un'informazione iniziale: la distanza del primo neutrone dal centro, il suo angolo di moto relativo al raggio, la sua velocità e il tempo trascorso. I valori successivi erano forniti da una funzione che generava numeri casuali che poteva essere elaborata all'interno del computer stesso senza dover accedere alla lettura esterna di altre schede perforate che avrebbe rallentato l'esecuzione. La prima simulazione su ENIAC fu eseguita a Los Alamos ad aprile del '48 (Haigh, Priestley, Rope 2014, pp. 42 e 45) e subito dopo Ulam relazionò all'*Atomic Energy Commission* riguardo l'applicabilità del Metodo Monte Carlo per ulteriori studi sugli sciami di raggi cosmici.

Von Neumann modellò il funzionamento del computer secondo quella che ora è nota come *architettura di von Neumann*, in modo da ridurre il processo di calcolo a una serie di semplici operazioni di base nell'unità aritmetica e descrisse i predicati come scelte tra percorsi alternativi. Questa descrizione fu resa per la prima volta graficamente mediante "diagrammi di flusso". I diagrammi furono disegnati da Klara Dan von Neumann (1911-1963), seconda moglie dello scienziato, alla quale la narrazione storica ha attribuito per diverso tempo solo la loro traduzione in istruzioni nel linguaggio di programmazione FORTRAN (Haigh, Priestley, Rope 2014, p. 46).

Le modifiche strutturali dell'ENIAC, necessarie a migliorare il funzionamento del Monte Carlo, furono inserite in un nuovo progetto, il *Mathematical and Numerical Integrator and Computer* (MANIAC), creato a Los Alamos sotto la guida di Nicholas Metropolis (1915-1999). A marzo del 1952 il MANIAC poteva risolvere problemi non lineari. Il Metodo Monte Carlo fu perfezionato per affrontare indagini più specifiche come il comportamento dei singoli elementi degli sciami estesi in atmosfera.

6. Conclusione

Lemaître fu tra i primi in Europa ad acquistare un computer digitale e a imparare a programmarlo. Egli aveva fondato all'Università di Lovanio una scuola di studiosi interessati alla ricerca sui raggi cosmici e dotò il laboratorio di ricerche numeriche di un Burroughs E-101. Poté finalmente realizzare l'analisi matematica del problema dei 3 corpi nel 1963. Ma a questo punto la carriera di Lemaître si chiudeva e la sua eredità passava ad André Deprit (1926-2006). Lemaître morì nel 1966 ma riuscì a vedere confermata, nel luglio 1965, la sua teoria cosmologica del big bang (Kragh 2018, pp. 1334-1335). Le sue tesi sui raggi cosmici avevano tracciato un solco nelle ricerche astronomiche. A Pasadena, infatti, sin dal 1934, Walter Baade (1893-1960) e Zwicky, avevano coniato il termine «super-novae» (Baade, Zwicky 1934, p. 254) e avevano avanzato l'ipotesi che le «super-novae emettono raggi cosmici» (Baade, Zwicky 1934, p. 263).

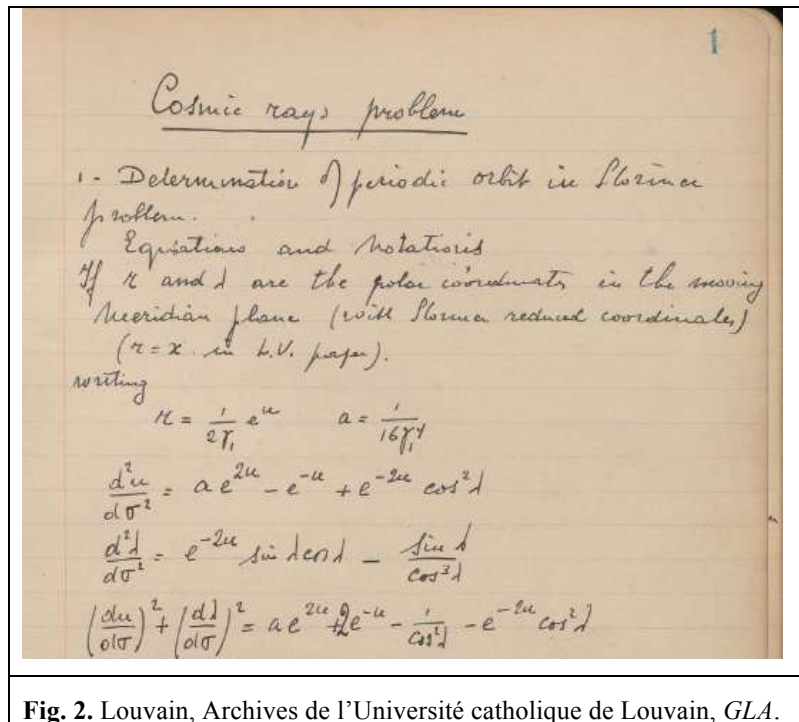


Fig. 2. Louvain, Archives de l'Université catholique de Louvain, GLA.

Bibliografia

- Baade W., Zwicky F. (1934). "On Super-Novae". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 20, pp. 254-259.
- Baade W., Zwicky F. (1934). "Cosmic Rays from Super-Novae". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 20, pp. 259-263.
- Birkeland K. (1908). *The Norwegian aurora polaris expedition, 1902-1903*, vol. I, first section. Christiania: H. Aschehoug & Co.
- 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.
- Campanile B. (2016). *Vannevar Bush: da ingegnere a tecnologo. La nascita della Società dell'Informazione*. Roma: Aracne.
- De Maria M., Russo A. (1989). "Cosmic Ray Romancing: The Discovery of the Latitude Effect and the Compton-Millikan Controversy". *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 19(2), pp. 211-266.
- Egeland A., Burke W.J. (2013). *Carl Størmer: auroral pioneer*. Berlin: Springer-Verlag.
- Galison P.L. (1996). *Computer Simulation and Trading Zone*, in Galison P., Stump D.J. (eds.), *The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*. Palo Alto (CA): Stanford University Press, pp. 118-157.

- Haigh T., Priestley M., Rope C. (2014). “Los Alamos Bets on ENIAC: Nuclear Monte Carlo Simulations, 1947-1948”. *IEEE Annals of the History of Computing*, 36(3), pp. 42-63.
- Hollings C.D., Siegmund-Schultze R. (2020). *Meeting under the Integral Sign?: The Oslo Congress of Mathematicians on the Eve of the Second World War*. Providence, Rhode Island: American Mathematical Society.
- Kragh H. (2018). “Georges Lemaître, Pioneer of Modern Theoretical Cosmology”. *Foundations of Physics*, 48(10), pp. 1333-1348.
- Lambert D. (2016). *Einstein e Lemaître: due amici, due cosmologie ...* [online]. URL: <disf.org/einstein-cosmologia-lemaître> [data di accesso: 22/10/2021].
- Laurence W.L. (1932). “Millikan Retorts Hotly to Compton in Cosmic Ray Clash”. *New York times*, 31-12-1932, p. 1.
- Lemaître G., Vallarta M.S. (1933). “On Compton’s Latitude effect of cosmic radiation”. *The Physical Review*, 43(2), pp. 87-91.
- Lemaître G., Vallarta M.S. (1936). “On the allowed cone of cosmic radiation”. *The Physical Review*, 50(6), pp. 493-504.
- Lemaître G., Vallarta M.S., Bouckaert L. (1935). “On the North-South Asymmetry of Cosmic Radiation”. *The Physical Review*, 47(6), pp. 434-436.
- Lemaître G.E. (1931). “The beginning of the World from the point of view of Quantum Theory”. *Nature*, 127, p. 706.
- Lilensten J., Provan G., Grimald S., Brekke A., Flückiger E., Vanlommel P., Wedlund C.S., Barthe’le’my M., Garnier P. (2013). “The Planeterrella experiment: from individual initiative to networking”. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3(A07), pp. 1-9.
- Lodge J.E. (1936). “Cosmic Rays Trapped in Mountain-Top Laboratory”. *Popular science*, November, pp. 13-15; 115-116.
- Mairan, Jean-Jacques D’Ortous de (1731). *Traité physique et historique de l’aurore boréale*, Suite des Mémoires de l’Académie royale des sciences, 1731. Paris: Imprimerie royale 1754.
- Metropolis N. (1987). “The beginning of the Monte Carlo Method”. *Los Alamos Science* (special issue), pp. 125-130.
- Millikan R.A., Cameron G.H. (1928). “Direct Evidence of Atom Building”. *Science*, 67, pp. 401-402.
- Owens Larry (1986). “Vannevar Bush and the Differential Analyzer: The text and context of an early computer”. *Technology and culture*, 27, pp. 93-95.
- Randers G., Schwarzschild M. (1964). “Professor Svein Rosseland”. *Astrophisica Norvegica*, 9(1), pp. 7-10.
- Rosseland S. (von) (1939). “Mechanische Integration von Differentialgleichungen”. *Die Naturwissenschaften*, 27(44), pp. 729-735.
- Strohmaier B., Rosner R. (2007). *Marietta Blau: Stars of Disintegration*, (english ed. Paul F. Dvorak). Riverside, (CA): Ariadne.
- Størmer C. (1947). “Polar aurora in southern Norway”. *The Observatory*, 67, pp. 161-172.

Fonti d'archivio

Boston, Massachusetts Institute of Technology, Department of Distinctive Collections, Institute Archives, *Vannevar Bush Papers, 1921-1975*, MC 78, Box 1, Folder E5, V. Bush to W. Weaver, January 6, 1933.

Louvain, Archives de l'Université catholique de Louvain, *Georges Lemaître Archives*, Notes, équations et grilles de calculs, "Cosmic rays problem", Orbites périodiques, [online] URL: <[ar-chives.uclouvain.be/ark%3A/33176/dli000000bwfT#?c=0&m=0&s=0&cv=0&xywh=-105%2C-278%2C2094%2C2948](https://archives.uclouvain.be/ark%3A/33176/dli000000bwfT#?c=0&m=0&s=0&cv=0&xywh=-105%2C-278%2C2094%2C2948)> [data di accesso: 20/10/2021].

Some Aspects of the Reception of Enrico Fermi in the Soviet Union

Giulia Carini - Fritz-Haber-Institut, Berlin - carini@fhi-berlin.mpg.de
Stefano Furlan - Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin - sfurlan@mpiwg-berlin.mpg.de

Abstract: The untimely death of Enrico Fermi in 1954 cut him short in the middle of his activity and at the height of his fame, not only in the West: if he was known worldwide for his results, there are however some interesting and neglected aspects of the reception of his figure as a scientist beyond the Iron Curtain. A great promoter of the knowledge of the life and work of Fermi in the Soviet Union was, predictably, his student who emigrated there in 1950, Bruno Pontecorvo, who personally edited the Russian translation of Fermi's *Collected Papers*. Far from being a mere homage, that was also an opportunity for methodological reflections; an aspect that curiously recurs in some parallels between Fermi and Yakov B. Zel'dovich, as underscored by the latter's colleagues and collaborators.

Keywords: Fermi, Pontecorvo, Zel'dovich, Collected Papers, Translations in Science.

1. Prolegomena

Chicago, November 28, 1954: Enrico Fermi passes away at the age of 53, at the height not just of his fame but still of his activity as well. The news echoes at every longitude, soon reaching the distant Soviet Union, where his student Bruno Pontecorvo emigrated four years earlier, causing great uproar. This is the triggering event of what we will address in the present paper, which is an attempt to open a further window on Pontecorvo's activities in Russia: the attention around his figure still seems to be centered, mostly, around questionable "spy stories" and/or some chronological but substantially a-historic presentation of his contributions to physics (e.g., Close 2015), while the actual genesis of such results, his interactions with great local scientists, the circulation of ideas in that context and so on remain largely unexplored. In the previous congress, we already tried to offer a couple of glimpses of this kind, respectively dedicated to a part of the prehistory of the notion of neutrino oscillations (Carini 2021), and to the Dubna *milieu*, with some fascinating resonances and analogies between Pontecorvo and Nikolay N. Bogoliubov and his work on superconductivity (Carini *et al.* 2021). This little self-quotation is only meant to say that what we are going to illustrate here has to be inserted within this wider framework, even if its level is less strictly "technical" than the other two papers. The subject, in appearance, is very

simple: we will be talking about Pontecorvo's involvement (obvious and natural, in some ways) in editorial operations related to the work and life of his illustrious master. As we hope to show, however, this episode lends itself to considerations decidedly less trivial and which deserve attention, not only in the case in question, but also more in general because of some aspects that are rarely perceived or emphasized in the history of recent physics. In fact, "reception", as can be seen in the title, is a rather unusual term in such contexts: we speak at most of the reception of a theory, when it is perhaps not supported yet by experimental results, but what sense could it make to speak of the reception of a physicist, as if we were dealing with a writer, a philosopher, an artist? What we wish to underline, actually, does not have any particularly "subversive" intention: to make the point clear from the outset, let us say that Fermi, as we will have the opportunity to specify, had, especially in his last years but not only, a sort of aura around himself and his way of practicing physics; an aura that, *de facto*, transcended the single technical results associated with his name, and at the same time was not limited to the more or less reliable or sensationalistic accounts of his achievements as the "new Columbus" or "new Prometheus". If the diffusion of his strictly scientific results beyond geographical and political boundaries is something that, to a large extent, can be taken for granted, the interesting aspect to be underlined here is how there were traits of that "expanded version" of his persona which resonated in distant lands and contexts, even decades after his death. In any case, to close this short preamble, we can point out that, after all, there already exists a collection of studies dedicated to the reception of Einstein's figure in the Soviet Union (Vucinich 2001).

This being said, here are a few essential background facts, some of which we have already mentioned: they are well known, but for convenience we will recall them, emphasizing some points differently from usual. Born in 1913, the young Pontecorvo joined in 1931 the group of the *ragazzi di via Panisperna*, where he was affectionately called "the puppy", and soon he got involved in their research on neutrons. Fermi's approach to physics, of course, impressed him in a decisive way: Pontecorvo too, without a doubt, could have expressed himself as Emilio Segrè did one day in Stockholm, referring to Fermi the lines with which Dante addressed Virgil, that is to his *auctor*, i.e. (mindful of etymology, we could say) the one who made him grow: "Tu se' lo mio maestro e il mio autore; / Tu se' solo colui da cui io tolsi / Lo bello stilo che mi ha fatto onore" (Segrè 1959).¹ In 1936 Pontecorvo went to Paris, where he met the second decisive figure who became for him a model and a teacher, the politically outspoken Frédéric Joliot-Curie, about whom he would say that he "possessed in the highest degree what the Italians call *spregiudicatezza* – the ability to recognize as possible even the most strange and [seemingly] impossible facts" (Biquard 1966, p. 132). It was in this context that, due to Joliot-Curie's example but also to the atmosphere created by news of the Spanish Civil War, Pontecorvo got interested – truly in the original sense of "getting involved" – in political ideas (something that, up to that point, he had perceived as utterly alien to his scientific commitment, along the lines of

¹ *Inferno*, I, 85-87; in Longfellow's classic version: "Thou art my master, and my author thou, / Thou art alone the one from whom I took / The beautiful style that has done honor to me".

Fermi's example and mindset). It may be significant, in order to have a taste of those times, to recall the following words by Albert Camus, born in the same year as Pontecorvo (Camus 1957):

Ces hommes, nés au début de la Première Guerre mondiale, qui ont eu vingt ans au moment où s'installaient à la fois le pouvoir hitlérien et les premiers procès révolutionnaires, qui ont été confrontés ensuite, pour parfaire leur éducation, à la guerre d'Espagne, à la Seconde Guerre mondiale, à l'univers concentrationnaire, à l'Europe de la torture et des prisons...

Let us emphasize in particular that “pour parfaire leur éducation”, to complete and perfect their education, which to a certain extent applies well to the case we are talking about. Later, after the Nazi occupation of Paris in 1940, Pontecorvo went to the US, and after that, by then launched in his career, he moved to Canada and to England, before making the drastic decision that saw him cross the Iron Curtain in the summer of 1950. Given his expertise in the nuclear field, a second “case Fuchs” was feared, resulting in the hubbub of the media; playing with the name of the two physicists, Carlo Emilio Gadda even adapted for the occasion La Fontaine's story of the fox and the crow (Carini *et al.* 2021).

In Chicago, Fermi, for his part, was enjoying an enormous prestige; many young people who would later distinguish themselves in their field, and many others as well, even literary figures such as George Steiner and Philip Roth, knew about him and went on a sort of pilgrimage to listen to his lectures and seminars. In short, he was certainly not on the road to decline and unproductivity, as some cheap *cliché* about the life of physicists would have it. Segrè (1995, p. 56) compared Fermi to a steamroller that advances with regularity even when the slope starts to become hard: and this fits well with a phrase of Valentine Telegdi, who in turn gravitated around the Chicago environment: “It is easy to be a child prodigy, but much harder to be an adult prodigy” (Cabibbo *et al.* 2006, p. 67) – as Fermi appeared at that point. As a matter of fact, setting aside low-level mythologizations or comparisons with laymen, perhaps we cannot say that Fermi had the young Heisenberg's meteoric rise – but, besides not being so far behind and possessing other qualities, he continued to grow (not only in terms of fame) and in some ways improve with the regularity evoked by Segrè's image, or, if we want, like the proverbial good wine. In that impressive atmosphere, the high and arguably exaggerated praises of Jay Orear (another “observer participator” of the Chicago years), who considered Fermi “the master scientist” at the level of human history (Orear 2004), should not sound too surprising. Apart from this kind of devotion and little shrines, it is now easier to understand why, when Fermi died in the middle of all that, his collaborators and students did their best to pay homage to his memory and his legacy.

2. The *Collected Papers* and their fortune

Fermi's *Collected Papers*, to whose edition various people contributed (E. Amaldi, H.L. Anderson, E. Persico, F. Rasetti, C.S. Smith, A. Wattenberg, although sometimes the bibliographical indications explicitly mention only Segrè, the editor-in-chief), were published in two volumes between 1962 and 1965 by University of Chicago Press in collaboration with the Accademia dei Lincei (Fermi 1962-1965), and are a direct and evident manifestation of the kind of commitment on the side of his friends and collaborators that we have just underlined. In Fermi's archives in Chicago there is some correspondence which reveals that, already between December 1954 (i.e. less than a month after Fermi's death) and April 1955, they were starting to discuss the project. Apart from the timing, such an operation, nowadays, could even seem obvious; but, although not entirely devoid of precedents, it constituted an important novelty, destined to become, first of all at the editorial level, a milestone, even if not always imitated.

The format is simple and compact: it is not just a matter of gathering and arranging chronologically the scientific articles, which, left to themselves decades later, might not be the easiest, most profitable or enjoyable reading (on the other hand, these are volumes that are often used as reference works), but of enriching them with comments on the circumstances in which they were written, the expectations that were accompanying them, the way the questions were set out, or simple curiosities and anecdotes. Segrè, who would later say (Segrè 1993, p. 268) that he felt an "obligation" which led him to take responsibility for that operation (not unlike Maxwell had done for Cavendish's papers or Marie Curie for her husband's), also wrote the general introduction in an attempt to give an overall view of the scientist and his work. This was obviously first-hand material, as we have said, coming from collaborators or even long-time friends (fact which, of course, can also have negative implications from the point of view of the historian, unless this same material is treated as a valuable source to be subjected to critical scrutiny). It was a model that set the standard: just to give a significant example, when a little more than twenty years later Heisenberg (born in the same year as Fermi) passed away, the editors of his *Gesammelte Werke* (Heisenberg 1984) were explicitly inspired by Fermi's *Collected Papers*, as Helmut Rechenberg repeatedly declared,² even if the dissimilar circumstances and the time elapsed in the meanwhile meant that the commentary work was of a different nature. Other comparable and later examples that we can mention are the *Selected Papers* of Tsung-Dao Lee (1986), just to mention another of Fermi's students, or the *Collected Works* of Wigner (1993). What is perhaps more significant, however, is to note the differences with other *Collected Papers* published in the same years as Fermi's: those of Landau (which appeared when he was still alive, albeit after the tragic accident) or Kapitza (who was also still alive), except for the meritorious operation of translating the papers from Russian, are not different from the model that had been followed forty years earlier for those of Gibbs, for instance, simply gathering together the various writings (Kapitza 1964) (Landau 1965). What Fermi's *Collected Papers* had in addition did not go unnoticed: significant in this regard seems to be a review of Robert Wilson,

² We wish to thank Luisa Bonolis for this information.

appeared after the release of the first volume, in which he wrote: “The book is considerably more than just a convenient collection of papers which after all exist separately in the literature” (Wilson 1963, p. 143). He also emphasized, in reference to the comments that accompany Fermi’s papers, how much he got “fascinated by these remarks” (Wilson 1963, p. 144).

Now, what we are interested in is the Russian edition of the *Collected Papers*, published between 1971 and 1972, in the editing of which Pontecorvo was involved, as expected; not only that, but he was the general editor, with some help as “editor-compiler” from another physicist, V.N. Pokrovsky (Fermi 1971-1972). It should be noted, in fact, that this is a Russian edition: while Landau and Kapitza were honored by initiatives in some respects much less edited, that were realized directly in English and not in their homeland, for Fermi we even have, instead, a translated version. Pontecorvo himself wrote an introductory note on Fermi’s life and work, “or rather” – as he put it – “to better say, his work, since it was also his life” (Pontecorvo 1993, p. 3). The material of this note also found expression in a small work of 1971 (Pontecorvo 1971) and, significantly expanded, in another book published in 1972 (Pontecorvo 1972) and translated into Italian by Edizioni Studio Tesi in 1993 (it came out shortly after Pontecorvo’s own death) with the title *Enrico Fermi: Ricordi di allievi e amici* (Pontecorvo 1993). Moreover, in editing the *Collected Papers* he added, after the various papers by Fermi, some lines of comment, in addition to those already present in the English version. The way in which Wilson greeted the appearance of the *Collected Papers* in the Western world is mirrored by the way in which, in a review, Gurevich and Smorodinsky (1974) welcomed the Russian edition of the two volumes. Reading this review helps us to better understand the decision to make a translation, despite the fact that it was already an “international” work, so to speak. First of all, it must be kept in mind that the articles collected in the *Collected Papers* had been left in the original languages: Italian, German, English; translating everything and homogenizing it in a single language was not so weird. A translation into Russian sanctioned, even in that cultural context, the rank of “classic” attributed to Fermi, as is clear from the words of Gurevich and Smorodinsky: a classic next to figures such as Poincaré, Einstein, Bohr – and classics, of course, get translated. Not only that, but its educational-pedagogical usefulness is explicitly underlined, not just for young scientists; and, obviously, English was not the main language of education in that part of the world. The novelty of the format is then recognized and praised, as is the work done by Pontecorvo. It is interesting to note how Gurevich and Smorodinsky also comment on the salient traits of the theoretical-experimental versatility and productivity manifested by Fermi’s life-work, which certainly did not get extinguished after a blaze: they even compare him to a sort of King Midas who turns what he touches into gold. All aspects that we will find again soon.³

³ It remains to be investigated how a scientific figure in several respects not interested in politics, such as Enrico Fermi, could be perceived in a highly politicized society like the Soviet one: simply as a representative of “scientific objectivity”, despite the *milieux* he had lived in, or as a (perhaps even desirable) model of non-interference between spheres of activity?

It can well be said that, in this way, besides contributing to the diffusion of that editorial model, Pontecorvo did not limit himself to paying tribute to the memory of his master, as one would do with a memoir (which, in any case, he actually wrote on the occasion of the first anniversary of Fermi's death: Pontecorvo 1955), but carefully went over the various phases of his life-work. Bearing in mind that Pontecorvo himself, by unanimous consent of his Soviet colleagues and others, had proved to be excellent in both experimental and theoretical work (and in their conjugation, of course), a rare quality that he shared with his master, it does not seem vain to conjecture that, while meditating on the figure and the overall work of Fermi and on his lessons ("lo bello stilo che mi ha fatto onore", to return to quote from Dante), Pontecorvo took the opportunity to reflect on his own path as a physicist, as well as on his own balance between theoretical and experimental activity. Thus, this episode seems interesting to us, more in general, as an example of a space for reflection that, *within* physics and at the hands of its own practitioners, configures itself not with the aim of industriousness and direct results, so to speak, but with that of reconsidering past possibilities and, at the very least, becoming more aware of the practices – theoretical or experimental – that have been undertaken. There is also a psychological side to all this: John Wheeler (1980, p. 102) loved to recall the speech that Thomas Mann gave on the occasion of Sigmund Freud's eightieth birthday, where, *inter alia*, he underlined the importance of personal models that get internalized and are continuously kept active and alive, in order to constitute a pole of dialogical confrontation. It is not too far-fetched to suggest that, like Einstein and Bohr for Wheeler, the two models who continued to shape Pontecorvo's scientific *persona*, so to speak, were Fermi and Joliot-Curie; after all, he also kept a portrait of Fermi in his study.

Finally, there is a further event that we wish to emphasize regarding the promotion and diffusion of knowledge about the figure of Fermi in the Soviet Union; although it is also linked to Pontecorvo, it actually predates the *Collected Papers*. Following the watershed decision taken by the "puppy", by then no longer a puppy, in 1950, the old group of via Panisperna did not react very well, also due to the unfortunate timing, since they were in fact involved with the United States in a matter of claiming patents for their work of the '30s (Turchetti 2006). There was no lack of harsh comments: it would be enough to recall what can be read in Segrè's autobiography (Segrè 1993) or in *Atoms in the Family* by Laura Fermi (1954). It is precisely the latter book that we would like to mention. As is known, it got published immediately after Enrico's death; within a few years (1959) it was translated and published in Russian. We point out that, in spite of the political and cultural climate, that the pages where, towards the end of the book, rather harsh judgments are expressed about the choice to emigrate to the Soviet Union were translated literally and without resorting to censorship or omissions, as we were able to verify also with native speakers. Perhaps we may take that as a sign of Pontecorvo's honesty and – we may say – even devotion.

After having outlined this aspect of Pontecorvo's activities, from a historical and human point of view as well, we would like to conclude by mentioning a curious case that can be taken as an attestation of the resonance of Fermi's figure in the Soviet Union. The person we are now interested in is the famous, but at the same time not so

well known, Yakov B. Zel'dovich, or rather a volume of reminiscences in his honor, which appeared in English translation in 2004 with the rather flat title of *Reminiscences*, while the original one would sound (more in line with the character) like “Familiar/unfamiliar Zel'dovich” (Sunyaev 2004). If in an impromptu exercise one were to ask someone what Zel'dovich and Fermi had in common, the answers would most likely be limited to rather superficial juxtapositions, such as “both worked on nuclear projects”. We can imagine a *connoisseur*, equipped with some little more information, who would venture, if pressed, to underline how both of them were largely self-taught and then deployed this personal “style” in a variety of areas of physics, always going straight to the point without too much mathematical lucubration. In any case, it would not be the most spontaneous of comparisons, one would say. However, one thing that may strike the attentive reader who peruses the aforementioned book of recollections – offered by Zel'dovich's collaborators, students, acquaintances and family members – is how the comparison with Fermi returns repeatedly, from independent and different sources. As suggested by our hypothetical *connoisseur*, such a comparison tends to make leverage on the peculiar style of doing physics of the two great scientists, in particular on their ability to grasp the essential core of a problem and to have developed a concrete physical intuition, so to speak, to which the use (not too subtle, but effective) of mathematical or numerical approximations was subordinated. Not separated from all this, there was also the ability of interweaving or balancing in an efficient way theoretical speculation and its experimental, or better testable, implications. It may seem a rather generic parallelism, once it is admitted we are speaking of two physicists who were so well-distinguished in the areas they worked on, but certainly this desire to evoke the shadow of Fermi, even in the absence of any direct link with Zel'dovich, testifies to how his figure was very much alive, even decades after his death, in the imagination of physicists in the distant lands of Russia; and undoubtedly an important role in all this was played by the mediation of Pontecorvo.

References

- Biquard P. (1966). *Frédéric Joliot-Curie*. Greenwich, Conn.: Fawcett.
- Cabibbo N., Freund P.G., Gell-Mann M., Goldberger M.L., Nambu Y., Oehme R., Okun L., Winston R. (2006). “Valentine Louis Telegdi”. *Physics Today*, 59, pp. 66-67.
- Camus A. (1957). *Nobel Banquet Speech* [online]. URL: <<https://www.nobelprize.org/prizes/literature/1957/camus/25232-albert-camus-banquet-speech-1957/>> [access date: 31/10/2021].
- Carini G. (2021). *The Ancestors of Two-Component Neutrino Theories*, in Bevilacqua F., Gambaro I. (eds.), *Proceedings of the 40th SISFA Annual Conference* (September 8-10, 2020). Pisa: Pisa University Press, pp. 141-146.
- Carini G., Furlan S., Gaudenzi R. (2021). *Tales from Dubna's Oakwood: Bogoliubov, Pontecorvo, and the JINR Seminars*, in Bevilacqua F., Gambaro I. (eds.), *Proceedings of the 40th SISFA Annual Conference* (September 8-10, 2020). Pisa: Pisa University Press, pp. 155-162.

- Close F. (2015). *Half-Life: The Divided Life of Bruno Pontecorvo, Physicist or Spy*. New York: Basic Books.
- Fermi E. (1962-5). *Collected Papers*, 2 Volumes. Chicago: University of Chicago Press.
- Fermi E. (1971-2). Научные труды, В 2-х т. Moscow: Наука.
- Fermi L. (1954). *Atoms in the Family*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gurevich I.I., Smorodinsky Ya.A. (1974). “Научные труды Энрико Ферми”. *Успехи физических наук*, 114 (10), pp. 385-387.
- Heisenberg W. (1984). *Gesammelte Werke. Band I*. München, Zürich: Piper.
- Kapitza P.L. (1964). *Collected Papers of P.L. Kapitza*, vol. 1. Oxford: Pergamon.
- Landau L.D. (1965). *Collected Papers of L.D. Landau*. Oxford: Pergamon.
- Lee T.D. (1986). *Selected Papers*, vol 1. Boston: Birkhäuser.
- Orear J. (2004). *Enrico Fermi: The Master Scientist*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Pontecorvo B. (1955). “Энрико Ферми (1901-1954) (К годовщине смерти)”. *Успехи физических наук*, 57 (11), pp. 349-359.
- Pontecorvo B. (1971). Энрико Ферми. Moscow: Знание.
- Pontecorvo B. (with Pokrovsky V.N.) (1972). Энрико Ферми в воспоминаниях учеников и друзей. Moscow: Наука.
- Pontecorvo B. (with Pokrovsky V.N.) (1993). *Enrico Fermi: Ricordi di allievi e amici*. Roma: Edizioni Studio Tesi.
- Segrè E. (1959). *Nobel Lecture* [online]. URL: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/segre-lecture.pdf>> [access date: 31/10/2021].
- Segrè E. (1995/1970). *Enrico Fermi, Physicist*. Chicago: University of Chicago Press.
- Segrè E. (1993). *A Mind Always in Motion*. Berkeley: University of California Press.
- Sunyaev R.A. (ed.) (2004). *Zeldovich: Reminiscences*. Boca Raton: CRC Press.
- Turchetti S. (2006). “‘For Slow Neutrons, Slow Pay’. Enrico Fermi’s Patent and the U.S. Atomic Energy Program, 1938-1953”. *Isis*, 97 (1), pp. 1-27.
- Wheeler, J.A. (1980). *Albert Einstein March 14, 1879 - April 18, 1955*, in *NAS Biographical Memoirs*, vol. 51. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Wigner E.P. (1993). *The Collected Works of Eugene Paul Wigner. Part A*. Berlin: Springer.
- Wilson R.R. (1963). “The Collected Papers of Enrico Fermi, Volume 1, Italy 1921-1938” (review). *Nuclear Science and Engineering*, 16 (1), pp. 143-144.
- Vucinich A.S. (ed.) (2001). *Einstein and Soviet Ideology*. Stanford: Stanford University Press.

Archival Sources

Chicago, Enrico Fermi Collection, Box 12, Folder 25.

A Look Inside Feynman's Approach to Gravitation

Marco Di Mauro - Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Salerno -
madimauro@unisa.it

Salvatore Esposito - INFN, Sezione di Napoli - sesposit@na.infn.it

Adele Naddeo - INFN, Sezione di Napoli - anaddeo@na.infn.it

Abstract: We discuss part of Richard Feynman's work in classical and quantum gravity, first presented at the Chapel Hill Conference in 1957. Being concerned with the relation of gravitation with the rest of physics, Feynman embraced a field-theoretical and non-geometric approach to general relativity where, after the recognition that the gravitational interaction must be mediated by quanta of a massless spin-2 field, Einstein's equations follow from the general properties of Lorentzian quantum field theory and self-consistency requirements. Quantum effects are then included by considering diagrams with closed graviton loops in the computation of physical processes. These ideas were fully developed in the famous Caltech lectures on gravitation, delivered in 1962-63, where also the more conventional formulation is discussed, and in a handful of published papers, devoted to the quantization of gravity, where some field-theoretical tools which were soon found to be of general interest, namely ghosts and the tree theorem, were introduced. Also, an original introduction to general relativity, which complements the one given in the Caltech lectures, appeared in a set of unpublished lectures which Feynman delivered at the Hughes Aircraft Company in 1966-67, devoted primarily to astrophysics and cosmology. In addition, we draw a comparison between Feynman's approach and other previous and subsequent work, and we include some comments on his ideas about the quantum foundations of the fundamental interactions.

Keywords: Quantum field theory, Quantum gravity, Tree theorem.

1. Introduction

Feynman's main task in his search for a quantum theory of gravitation was undoubtedly to understand the relation of gravitation to the rest of physics: "My subject is the quantum theory of gravitation. My interest is primarily in the relation of one part of nature to another" (Feynman 1963, p. 697). Feynman attacked gravity in the early 1950s, likely just after taming quantum electrodynamics, as mentioned by Bryce S. DeWitt (DeWitt-Morette, Rickles 2011, p. 25) in a letter to Agnew Bahnsen written in November 1955, and recalled by Murray Gell-Mann (1989) in a paper written for a *Physics Today* special issue devoted to Feynman's legacy. A key source for retracing his approach to gravitation is the 1957 Chapel Hill *Conference on The Role of Gravitation in Physics* (DeWitt-Morette, Rickles

2011). Here, besides the traditional field of cosmology, three main research lines in gravitational physics, to be pursued in subsequent years, were delineated (Bergmann 1957): classical gravity, quantum gravity, and the classical and quantum theory of measurement (as a link between the previous two topics). Indeed, the first written records of Feynman's musings on gravity date back to that conference, which is therefore assumed as a starting point for our reconstruction. We then retrace his subsequent contributions to the research in quantum gravity until the late sixties (for a detailed account see (Di Mauro *et al.* 2021)), where he stopped working on the subject.

Feynman's ultimate goal required building a quantum field theory of gravitation. This task brought to his attention a bunch of new issues which required an answer, in particular the onset of divergent integrals and the lack of unitarity, when going beyond tree level approximation. By 1961, Feynman had begun tackling these problems, as stated in a letter he wrote to Viktor F. Weisskopf in that year:

As you know, I am studying the problem of quantization of Einstein's General Relativity. I am still working out the details of handling divergent integrals which arise in problems in which some virtual momentum must be integrated over (Feynman 1961, p. 1).

as well as reported by William R. Frazer (1961) in a short summary of the La Jolla conference.¹ His results were summarized in a talk given in 1962 at a conference in Warsaw,² whose written version was later published as a regular paper in *Acta Physica Polonica* (Feynman 1963), and detailed in two papers published much later, in the *Festschrift* for John A. Wheeler's 60th birthday (Klauder 1972). Further primary sources are the famous *Caltech Lectures on Gravitation* (Feynman *et al.* 1996), delivered in 1962-63 and aimed to advanced graduate students and postdocs, and also some unpublished material, consisting in a set of lectures delivered in 1966-67 at the Hughes Aircraft Company and devoted to astronomy, astrophysics and cosmology (Feynman 1966-67). Here the emphasis is on applications, but a treatment of general relativity that offers to the reader several original points is included.

In this contribution we focus on two main topics: the formulation of quantum gravity as a quantum field theory of a massless spin-2 field, the graviton, which is the content of Section 2, and the unitarity and renormalization issues arising beyond tree level approximation, presented in Section 3. Our conclusions end the paper.

2. Gravity as a field theory

According to Feynman (1967-68, p. 35), gravity is not basically different from any other fundamental interaction, which are ultimately quantum-mechanical: "I shall call

¹ The *International Conference on the Theory of Weak and Strong Interactions* was held in June 14-16, 1961 at the University of California, San Diego, in La Jolla.

² The *International Conference on General Relativity and Gravitation* was held in Jabłonna and Warsaw in July 25-31, 1962, with L. Infeld as the chairman of the Local Organizing Committee.

conservative forces, those forces which can be deduced from quantum mechanics in the classical limit. As you know, Q. M. is the underpinning of Nature”. Hence, it has to be described by a Lorentzian quantum field theory. Classical general relativity should then emerge from such a quantum field theory, rather than from geometric arguments. This was a novel perspective, which was shared also by other particle physicists interested in gravity, as we shall see. Feynman delineated this approach at Chapel Hill, and gave a complete treatment of it in the lectures on gravitation (Feynman *et al.* 1996). The main steps are the following. First, collect some key empirical facts about gravity: it is long range (i.e. it falls off as $1/r^2$), proportional to the energy, and such that the attraction between moving objects is stronger than that between static objects. Thus, the principles of relativistic quantum field theory single out as mediator a massless spin-2 quantum, described by a symmetric tensor field $h_{\mu\nu}$, leading to a force that is always attractive (Feynman 1966-67). The second step is the analysis of the amplitude for graviton exchange. The source term must be a symmetric tensor $T_{\mu\nu}$, which is the energy-momentum tensor of gravitating matter, since its leading component in the Newtonian limit, T_{44} , should describe energy density. Finally, energy conservation has to be guaranteed, which gives the constraint $\partial^\mu T_{\mu\nu} = 0$. With this information, one can easily construct the linear theory of the associated field $h_{\mu\nu}$. By considering all terms compatible with the symmetries and with at most second derivatives of the fields, the following Lagrangian density is obtained:

$$L = a\partial^\sigma h^{\mu\nu}\partial_\sigma h_{\mu\nu} + b\partial_\nu h^{\mu\nu}\partial_\sigma h_\nu^\sigma + c\partial_\nu h^{\mu\nu}\partial_\mu h_\sigma^\sigma + d\partial_\mu h_\nu^\nu\partial^\mu h_\sigma^\sigma - \lambda h_{\mu\nu}T^{\mu\nu} ; \quad (1)$$

then the constraint $\partial^\mu T_{\mu\nu} = 0$ allows to fix the following values for the parameters as $a = 1/2, b = -1, c = 1, d = -1/2$. Unfortunately, the linear theory is plagued by a consistency problem, because the graviton carries energy itself and this acts as a source of gravity as well. This contribution has to be added to the Lagrangian, and this gives rise to new, nonlinear, terms of higher and higher order in h . A long iterative procedure leads finally to the Einstein-Hilbert action and to the Einstein field equations (Feynman *et al.* 1996):

$$S = \frac{-1}{2\lambda^2} \int d\tau R \sqrt{-g}, \quad \sqrt{-g} \left(R^{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} R \right) = \lambda^2 T^{\mu\nu} \quad (2)$$

where $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + 2\lambda h_{\mu\nu}$.

Feynman was intrigued by the double nature of gravity, which has both a geometric and a field interpretation, and in his lectures on gravitation (Feynman *et al.* 1996) he recognized how an explanation may be provided by gauge invariance. Indeed a viable procedure may be set up in order to obtain the invariance of the equations of physics under space dependent variable displacements. This points to a more general Lagrangian, obtained by adding new terms, which contain a gravity field. A new picture of gravity thus emerges, as the field corresponding to a gauge invariance with respect to displacement transformations. This consideration may be useful to simplify computations but, in Feynman’s opinion, it is not essential:

The fact is that a spin-two field has this geometrical interpretation; this is not something readily explainable - it is just marvelous. The geometric interpretation is not really necessary or essential to physics. It might be that the whole coincidence might be understood as representing some kind of gauge invariance (Feynman *et al.* 1996, p. 113).

Finally, he recognized that the universal nature of gravitation affects all rulers in the same way, thus making the underlying flat space *de facto* undetectable.

It has to be pointed out that Feynman's field theoretical approach to gravitation was anticipated by Suraj K. Gupta (1954) and Robert H. Kraichnan (1955), who however only sketched the procedure without completing it. After Feynman, more elegant and general treatments were developed by Stanley Deser (1970) and Steven Weinberg (1965). In particular, relying on the principles of relativistic quantum field theory, Weinberg showed that the theory of a spin-2 field is consistent only if this field is universally coupled to energy-momentum tensor of matter, thus in fact deriving the principle of equivalence.

3. Going to higher orders: loops, non unitarity and renormalization

Once the general theory is formulated, the next step is to compute physical processes by perturbation theory. When going to higher orders, one needs to include loop diagrams, which give quantum corrections. In this way a potential theory of quantum gravity can be obtained. As mentioned in the introduction, the details were given by Feynman at the Warsaw conference in 1962 (Feynman 1963). Here Feynman considered full general relativity coupled with scalar fields, and started performing perturbative calculations:

[...] please appreciate that the plan of the attack is a succession of increasingly complex physical problems; if I could do one, then I was finished, and I went to a harder one imagining the experimenters were getting into more and more complicated situations (Feynman 1963, p. 698).

He realized that at higher orders the inclusion of loop diagrams brings in many conceptual and mathematical problems. In particular, at the one loop approximation, unitarity is lost because some contributions arising from the unphysical longitudinal polarization states of the graviton do not cancel. He solved the issue by suitably expressing each loop diagram as a sum of trees (this is his celebrated tree theorem). Summing the whole set of diagrams enforces gauge invariance. The result can also be obtained by directly integrating the loop, by subtracting a contribution obtained by taking a fictitious *ghost* particle (with spin-1 and Fermi statistics) going around the loop and artificially coupled to the external field. On Gell-Mann's suggestion, Feynman investigated also the simpler case of the Yang-Mills theory (Gell-Mann 1989) and found the same pathological behavior.

After successfully solving the one loop case, Feynman sought to extend the above procedure to two or more loops. In this case he again found a pathological behavior as a consequence of the lack of unitarity of some sums of diagrams. While considering the

problem of finding ghost rules for high order diagrams, he argued in favor of the non-renormalizability of gravity as a consequence of these difficulties:

I do not know whether it will be possible to develop a cure for treating the multi-ring diagrams. I suspect not -- in other words, I suspect that the theory is not renormalizable. Whether it is a truly significant objection to a theory, to say that it is not renormalizable, I don't know (Feynman *et al.* 1996, pp. 211-212).

Although it is not clear if here Feynman suggested a link between non unitarity and non-renormalizability issues (which in fact does not hold), his results played a prominent role in the subsequent development of quantum gravity and quantum gauge theory. Indeed, they were later generalized to all orders by DeWitt (1967), while Ludvig D. Faddeev and Viktor N. Popov (1967) derived the extra terms to be added to the Lagrangian in a much simpler way, by means of a functional integral quantization. Most notably, already at that time Feynman did not think about non-renormalizability as a signature of inconsistency of a theory, as also recalled by Gell-Mann (1989, p. 53) who stated: “He was always very suspicious of unrenormalizability as a criterion for rejecting theories”. As a matter of fact, today non-renormalizability is considered only a signature of the fact that the theory loses its validity at energies higher than a certain scale, and it has to be interpreted as an *effective field theory*, which works and can be useful to make predictions below that scale (Weinberg 2021). Despite his precognition, Feynman never became really familiar with the formalism of effective field theories (Preskill 2018).

4. Conclusions

Feynman was interested in gravity at least from the early '50s to the late '60s. While not publishing much, he gave several important contributions to both classical and quantum gravity, and to quantum Yang-Mills theory. His strong belief that Nature is quantum at the deepest level, and his dislike for rigor and formalism, are evident throughout his papers. Motivated by putting gravity in relation with the rest of physics, and by the goal of finding a quantum theory of gravity, he pursued a field theoretical approach, rather than a geometric one. So the quantization of gravity simply had to be considered as the quantization of another field, the spin-2 graviton field. Instead of using complicated formal arguments, he approached the subject by considering more and more complicated physical processes, as if they were measurable.

References

- Bergmann P.G. (1957). “Summary of the Chapel Hill Conference”. *Review of Modern Physics*, 29, pp. 352-354.
- Deser S. (1970). “Self-interaction and gauge invariance”. *General Relativity and Gravitation*, 1, pp. 9-18.

- DeWitt B. (1967). “Quantum Theory of Gravity. 2. The Manifestly Covariant Theory”. *Physical Review*, 162, pp. 1195-1238.
- DeWitt-Morette C., Rickles D. (eds.) (2011). *The Role of Gravitation in Physics, Report from the 1957 Chapel Hill Conference*. Berlin: Edition Open Access.
- Di Mauro M., Esposito S., Naddeo A. (2021). “A road map for Feynman’s adventures in the land of gravitation”. *The European Physical Journal H*, 46, article 22, pp. 1-29.
- Faddeev L. D., Popov V. N. (1967). “Feynman Diagrams for the Yang-Mills Field”. *Physics Letters B*, 25, pp. 29-30.
- Feynman R.P. (1963). “Quantum theory of gravitation”. *Acta Physica Polonica*, 24, pp. 697-722.
- Feynman R.P. (1966-67). *Lectures on Astronomy, Astrophysics, and Cosmology*. Lectures at Hughes Aircraft Company, notes taken and transcribed by John T. Neer [online]. URL: <http://www.thehugheslectures.info/wpcontent/uploads/lectures/FeynmanHughesLectures_Vol1.pdf> [access date: 06/11/2021].
- Feynman R.P. (1967-68). *Lectures on Electrostatics, Electrodynamics, Matter-Waves Interacting, Relativity*. Lectures at Hughes Aircraft Company, notes taken and transcribed by John T. Neer [online]. URL: <http://www.thehugheslectures.info/wpcontent/uploads/lectures/FeynmanHughesLectures_Vol2.pdf> [access date: 06/11/2021].
- Feynman R.P., Morinigo F.B., Wagner W.G., Hatfield B. (1996). *Feynman Lectures on Gravitation*. Reading (MA): Addison-Wesley.
- Frazer R. (1961). “Theory of Weak and Strong Interactions”. *Physics Today*, 14, pp. 80-84.
- Gell-Mann M. (1989). “Dick Feynman - The guy in the office down the hall”. *Physics Today*, 42, pp. 50-54.
- Gupta S.N. (1954). “Gravitation and Electromagnetism”. *Physical Review*, 96, pp. 1683-1685.
- Klauder J.R. (ed.) (1972). *Magic Without Magic - John Archibald Wheeler. A Collection Of Essays In Honor Of His 60th Birthday*. San Francisco: Freeman.
- Kraichnan R.H. (1955). “Special-Relativistic Derivation of Generally Covariant Gravitation Theory”. *Physical Review*, 98, pp. 1118-1122.
- Preskill J. (2018). *Feynman after 40*. Talk given at the APS April Meeting, 16 April 2018. URL: <<http://theory.caltech.edu/~preskill/talks/APS-April-2018-Feynman-4-3.pdf>>.
- Weinberg S. (1965). “Photons and gravitons in perturbation theory: Derivation of Maxwell’s and Einstein’s equations”. *Physical Review*, 138, pp. B988-B1002.
- Weinberg S. (2021). “On the Development of Effective Field Theory”. *The European Physical Journal H*, 46, article 6, pp. 1-6.

Archival Sources

- Feynman R.P. (1961). Unpublished letter to Victor F. Weisskopf, February 1961. Pasadena, California Institute of Technology Archives, R. P. Feynman Pap. Box 3 Folder 8.

Feynman on *Planetary Motions*

Fabrizio Pinto - EKOSPACE and Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Izmir University of Economics, Teleferik Mahallesi, Sakarya Cd. No: 156, 35330 Balçova/Izmir, Republic of Türkiye - fabrizio.pinto@ieu.edu.tr

Abstract: Both casual readers and long-time enthusiasts of *The Feynman Lectures on Physics*, when reaching the section entitled *Planetary Motions*, sense they are experiencing content rarely available elsewhere, delivered via a strategy quite unique in the history and practice of introductory physics pedagogy and basic scientific computing. In order to place this seemingly elementary and yet stunningly rich Section within its proper historical context, we briefly review Richard Feynman's handwritten *Lectures Notes*, as well as photographs and audio recordings in the Caltech collection. *Planetary Motions* became recognized as the most exemplary and ambitious such presentation within a genre populated by very few peers. As such, it was reproduced, in its entirety and verbatim, by several other authors. Feynman, bound shortly to share the physics Nobel Prize, only appears to his beginning readers to be toying with arithmetic. Instead, while solving a difficult problem ultimately connected to Kepler's equation, he presents us with crucial epistemological issues regarding the potential of simulations to reproduce physical reality.

Keywords: History of physics, Physics pedagogy, Celestial mechanics, Numerical methods, Computers in physics.

1. Introduction

The half-century anniversaries of the six epoch-making Apollo landings on the Moon make this an appropriate time to reflect on the decisive role played by the Space Race in revitalizing US physics high school and college curricula commencing in the late 1950s. *Planetary Motions*, found as Sec. 9-7 of Volume 1 of the *Lectures on Physics*, was first delivered to the 1961-62 Caltech freshman class (Goodstein 1996) on October 24th, 1961, four years after the shock of the Sputnik launch and a mere six months after Yuri Gagarin's epic Vostok 1 flight. The *Lectures* was published by Addison-Wesley Publishing Co. in just a few months and "in time for the class of September 1963" (Sands 2005), that is, one year after President John Kennedy's "We choose to go to the Moon" speech at Rice University, delivered on September 12th, 1962.

As we shall see, Chapter 9 of the *Lectures* quickly became such a classic as to be included in physics anthologies (Rutherford 1967). In it, Feynman arrives at "Planetary Motions" through an utterly surprising pedagogical path adopted to clearly expose the central aim of dynamics without introducing mathematical complexities at an early

stage.¹ That general strategy was not, historically speaking, the earliest attempt to introduce students still unfamiliar with mathematical analysis to physical problems by numerical strategies. However, the unquestioned dominance of Sec. 9-7 within the pedagogical landscape is clearly shown, for instance, by the fact that it was reprinted as Advanced Topic 2 at the end of Chapter 9, on the *Inverse-square-law force*, in the first edition of the Mechanics volume of the Berkeley Physics Course (BPC-I), finalized in 1962-1964 (Kittel *et al.* 1965). It was in that volume (published by Zanichelli in 1970 in Italian) that, as a teenager, the present author read in amazement Feynman’s closing words:

[W]e began this chapter not knowing how to calculate even the motion of a mass on a spring. Now, armed with the tremendous power of Newton’s laws, we can not only calculate such simple motions but also, given only a machine to handle the arithmetic, even the tremendously complex motions of the planets, to as high a degree of precision as we wish! (Feynman *et al.* 1963)

This is a “very” bold claim with far reaching epistemological consequences, shared by Feynman with excitement so infectious as to be still emphatically quoted in the pages of *Computers & Education* over fifteen years later (Bork, Peckham 1979).

From the mathematical standpoint, Feynman goes well beyond elementary numerical solutions of differential equations as he introduces, without naming it, a symplectic integration algorithm – a powerful tool of ever growing interest in professional research (Rein *et al.* 2019). Although this is hidden from view for anyone without expertise in classical dynamics, both the practice and presentation of *Planetary Motions* follow a time-honored, century-old celestial mechanics tradition that Feynman makes his own and shares with characteristic energy.

2. Documentary sources

In recent years, extensive supplementary materials including *Feynman’s Notes*, Lecture Photos, and audio recordings, were located, carefully cataloged, and made available online as the *Feynman Lectures Website* (<https://www.feynmanlectures.caltech.edu/>). This impressive resource, created and maintained by Michael A. Gottlieb and Rudolf Pfeiffer, represents an inspiring model for any modern document archive. The only limitations left to the researcher are unavoidable even in such an outstanding repository. The *Notes* sheets themselves are not in the original order, they clearly come from different paper stocks or notepads, may have been written at different times, and, as noted by the

¹ In what follows, we shall often refer to the authors of *The Feynman Lectures on Physics* (Feynman *et al.* 1963) – Feynman, Leighton, and Sands – simply as “Feynman,” as is routinely done in the literature (for one example among many, see Bork 1967, Ch. 3). In fact, the role of Feynman’s co-authors was so crucial as to allow one to doubt that the *Lectures* would exist today without their indefatigable work (Feynman *et al.* 2006). The process that led to a final decision on the title and authorship attribution is described by co-author Matthew Sands (Sands 2005). If this is unambiguous, specific sections may be referenced to as *FLP*, followed by chapter or section number. Unless otherwise specified, *FLP* indicates the first edition. Time in the audio recording is indicated in the hh:mm:ss format (see Fig. 1).

Curators, the collection may be incomplete. Notably, although the sheet showing the table Feynman discusses in class (Fig. 1) is present (39.9.107) along with two other cases (39.9.102 and 104), the sheet containing the results that eventually made it into the *Lectures* (FLP, Fig. 9-6), needed to draw the ink diagram Feynman shows in class (39.9.110), is absent (we know that sheet existed because Feynman repeatedly copies numbers from it, incorrectly confusing the two cases (00:45:45 and 00:46:20) as the students correct him, and he eventually states: “yeah, I am looking at the wrong paper”).

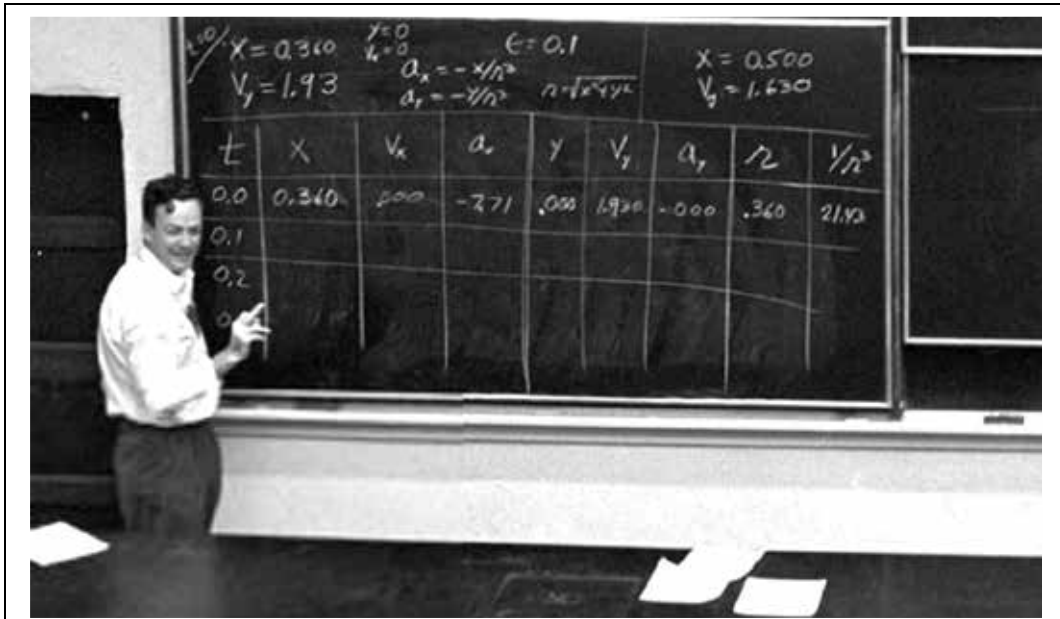


Fig. 1. Richard Feynman at the chalkboard filling out the table of numerical integration of the equations of motion of planetary motion on October 24th, 1961 (detail, Photo 9:19). Notice that the initial conditions he adopted in class differ from those eventually adopted for Table 9-2 in the *Lectures*. The explanation of table build-up starts at approximately time 00:42:00 of the audio recording, which can be accessed from the upper right control panel, also at the *Feynman Lectures Website* (https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_09.html). As Feynman explains, he had worked out four different cases (00:42:30) exploring their accuracy and the case that was printed is more accurate as the time interval is smaller with respect to the period of revolution. Courtesy of the Archives, California Institute of Technology.

An additional resource quite relevant to our specific analysis and recently become available is *Review Lecture C*, part of *Feynman's Tips on Physics* (Feynman et al. 2006, p. 71). This lecture allows us to follow Feynman as he revisits “Planetary Motions,” which is explicitly cited (footnote on p. 75), further aided by an accompanying series of photographs (the link, after Lecture 17 at the *Feynman Lectures Website*, First Year Photos (1961-62), and the photos show this Review occurred on December 8th, 1961).

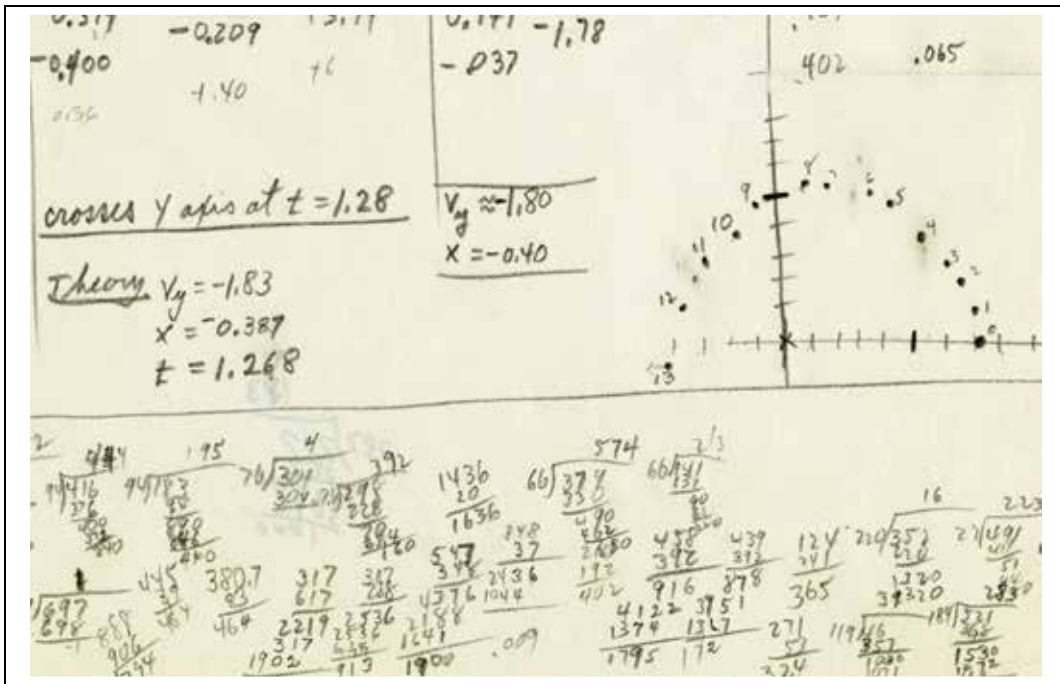


Fig. 2. Showing a detail of the full scan of a sheet (Folder 39.9, page 39.9.102) containing one of the cases Feynman had worked out before the class on *Newton's Laws of Dynamics* (*FLP*, Ch. 9). As he repeatedly jokes about in the existing audio recording (“you can do this on a desert island ... with a slide rule and a table of squares” – 00:42:15), he had carried out his own arithmetic calculations. Courtesy of the Archives, California Institute of Technology.

3. Planetary Motions

After an introductory discussion on the application of Newton’s second law to free-fall, Feynman attacks the harmonic oscillator problem (00:20:07). At this point, a formal analytical treatment would have been the standard choice. This would have been available, for instance, in Sec. 175 of the physics textbook by Millikan, Roller, and Watson, “a very fine book” (Feynman *et al.* 2006, p. 2) deemed too traditional, and which the *Lectures* aimed to replace (Sands 2005). In that Section, Millikan and co-authors, to avoid second order differential equations, simplify the problem by reducing it to two subsequent ordinary integrations. However, readers of Chapter 9 in *FLP* were not even presumed to be yet aware of a “... function which, when differentiated twice, is equal to itself with a minus sign,” as shown by Feynman’s joke, in Chapter 21, when hoping that such a function has been in the meantime brought forth “by the Mathematics Department” (pp. 21-22). Indeed, Sec. 8.18 of the first volume of Tom Apostol’s *Calculus* (known as “Tommy 1” at Caltech), just appeared in 1961, would have well served for that later purpose (Apostol 1967).²

² As further proof of the then-ongoing interest in orbital mechanics, *Calculus*, unusually for a formal analysis textbook, features a sophisticated treatment of the 2-body problem in a section entitled *Applications to*

Instead of pursuing such time-tested treatments, Feynman does something wholly unexpected. Firstly, a short section (Sec. 9-5) is devoted to reflect upon the mathematical *Meaning of the dynamical equations*. Then, the problem of the harmonic oscillator is treated numerically by stepwise integration (00:20:07). Without naming it, Feynman initially starts with the Euler Forward Method. Then, stating that using the average velocity for a time interval must improve accuracy, he introduces the leapfrog method, referred to as “gimmicks” and “a subtle improvement of the technique of this analysis.”

This and related algorithms, rediscovered enough times to be sometimes referred to as the Newton-Störmer-Verlet-leapfrog method, are the basis used by Feynman to integrate the 2-body problem for his class with only basic geometry, arithmetic, paper and pencil (see Hairer *et al.* 2003, for the connection to Feynman’s *Messenger Lecture*). Examples of modern treatments citing Sec. 9-7 of the *Lectures* are: FORTRAN 77 (Cooper, Pellegrini 1999), Java (Landau *et al.* 2005), GeoGebra (Hašek 2012), and C++ (Tyrrell 2014).

4. Precursors: Numerical differential equation solutions from Encke to the 1950s

Very little additional information is available elsewhere within the *Lectures* referring readers back to the numerical method Feynman employs, with the exception of an important follow up discussion about the harmonic oscillator in Sec. 21-2. *Review Lecture C* sheds further light on Feynman’s strategy to check the accuracy of his numerical calculations by means of the theory of the 2-body problem (Feynman 2006, Sec. 3-1, pp. 71-76), as also seen in the *Notes* (39.9.103 and 105). However, again, no references are listed. This makes it impossible to directly answer the interesting question as to what led Feynman to *Planetary Motions*. In general, it is clear that this lecture can be considered as the result of Feynman’s genial understanding of mid-twentieth century celestial mechanics applied, with extreme originality, to an urgent pedagogical need just before the transition of student computing tools from tables, slide rules and mechanical machines to digital computers.

In fact, although beginning students in Feynman’s class were not yet in the position to appreciate it, they had just witnessed the practice of then-contemporary numerical celestial mechanics in action. Although, according to Hairer (Hairer *et al.* 2003), the leapfrog method may be traced back at least to Encke, leapfrog tables such as those presented in the *Lectures*, with staggered entries for integer and semi-integer time intervals, were common and appear, for instance, in Richardson (1911). Celestial mechanics algorithms, often theoretically connected to the leapfrog method, first tested on the very same harmonic oscillator equation employed by Feynman ($\ddot{x} + x = 0$), are found as early as Brouwer (1937). Herget (1948), after considering the case ($x(0) = 2$, $\dot{x}(0) = 0$), comments: “It may be observed that the solution of this differential equation

planetary motion (Sec. 14.20), which makes use of the Laplace-Runge-Lenz vector, without naming it (Goldstein 2002). That extremely succinct method, unsuited to freshmen, was also adopted in the second edition of the BPC-I, for which the choice was made to not again include *Planetary Motions*.

with the given initial values is $x = 2 \cos t \dots$ if we inversely interpolate for the value of t at which x vanishes ... we have an independent method for the computation of π " (p. 10). Feynman makes exactly the same observation in Sec. 21-2 (*The harmonic oscillator*) of the *Lectures*, as he analyzes that same problem (with $x(0) = 1$, $\dot{x}(0) = 0$) and he uses the numerical results in Table 9-1 to produce the estimate $\pi/2 = 1.570$. He concludes: "We were wrong in the last figure because of the errors of numerical analysis, but it was very close!" Indeed, monitoring the correctness of the harmonic oscillator numerical solution by checking the accuracy of the value of π obtained from the is a strategy repeatedly found in the *Notes* (39.9.106). Herrick, who was at the University of California, Los Angeles, pursued the same check, reproduced also in his two-volume work on *Astrodynamics* (Herrick 1972).

An aspect of Feynman's teaching that emerges both in the *Lectures* and in the available audio is the challenge, somewhat incomprehensible to contemporary students, of manual computation time. Feynman was very interested in the internal workings of mechanical calculating machines, to the point of attempting to fix Marchant machines with Nicholas Metropolis in an informal shop at Los Alamos (Gleick 1992) and again in the basement of Marvin Minsky (Hey 1999). These mechanical machines were the workhorses of numerical science in the pre-digital age (Fig. 3). As one memorable example of computational tour de force, Carl Størmer, cited as the discoverer of the leapfrog method (Hairer *et al.* 1993) and a heavy user of Brunswiga machines, reported: "In all we have calculated over 120 different trajectories, immense work that required more than 4500 hours." (Størmer 1907, p. 222). It is impossible to read Størmer's words ("... avec autant d'approximation qu'on veut ...", p. 221) without sensing an echo of his confidence ("... with as much approximation as one wants"; translations by the Author) in the closing of *Planetary Motions* ("... to as high a degree of precision as we wish", *FLP*, Sec. 9-7).

5. Computers and finite differencing as pedagogical tools: Chalmers W. Sherwin

Until recently, a relatively intense effort would have been required to come across the name of Chalmers W. Sherwin and his extensive work, particularly in science education, beyond short sentences scattered throughout the literature. This is certainly puzzling since, after his death in 1998, Sherwin was described as "one of America's foremost physicists and science administrators" (Phipps 1998, p. 234). This situation has been partly alleviated in the last few years by the appearance of a lengthy article by Elizabeth Van Meer (2003) and a book by Brian Dear (2017), both on the historical development of the PLATO system (Programmed Logic for Automatic Teaching Operations) at the University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC). We are led to Sherwin's name through two paths closely connected with *Planetary Motions*. The synergy of these two developments, along with Feynman's novel strategy, played a key role in enabling classroom computer simulations.

The first initiative by Sherwin was his reported, bold suggestion to William Everett, Dean of the College of Engineering at UIUC, in 1959, that computers could be used for

instruction (Van Meer 2003; Dear 2017), initially operating from terminals connected to the ILLIAC (Illinois Automatic Computer) (Bitzer 1961). However, despite Sherwin’s vision, both his personal preference not to lead the project and the fact that PLATO became “the least known major twentieth-century technology project” (Dear 2017, Preface) buried his involvement to the point of total disappearance from later technical accounts.



Fig. 3. (a) Mechanical calculating machines displayed at the Museum of Physics of the Sapienza University of Rome. At far left, a Marchant, the machine much appreciated by Feynman (see text). In the center and at right, two Monroe machines. In the foreground for contrast, early digital calculators. (b) A Brunswiga from the collection at the Museum for Communication Media, in Arezzo, Italy. The blue label dates this machine to “1900 circa.” A review by Comrie (1946), one of the pioneers of machine computation, completed at a time that machines of this type were in common use in celestial mechanics research, provides extensive comparative commentary.

The second thread, also originating with Sherwin, was the publication of his *Basic Concepts of Physics* in 1961.³ This carefully produced book, now relatively rare, should be considered as nothing less than a remarkable attempt to revolutionize physics pedagogy. One of the core concepts of Sherwin’s revolution is to literally disintegrate differential equation problems by providing an “atomized picture of what is going on “inside” a differential equation” (Sherwin 1961, p. 26). Although no nomenclature is provided, the central algorithm is simply the Euler Forward Method. The dual advantage of this approach, already showing the synergy with technology, is that “this technique ... is ideally suited to automatic-computer calculations... . The real advantage for the student, however, is that it shows in an intuitively satisfactory way exactly how differential instructions imply relationships between the variables.” (Sec. 2.1, p. 26). Sherwin pursues this plan tirelessly, first studying one-dimensional uniformly accelerated motion until stating: “Another important equation is $d^2 x / dt^2 = - K x$.” (p. 34). Then he proceeds to unleash pure arithmetic on it for $x_0 = 100$, $\dot{x} = 0$, and $K = 0.1$, with $\Delta t=1$, till a full

³ A record of this same book exists in the Catalog of Copyright Entries for January-June 1957 (pp. 1084, 1446), which gives Dryden Press, Inc. as the preliminary publisher. The present author also located an undated scanned version of Chapter 4 from a typescript at the Yale University Library Digital Repository within the Henry A. Kissinger papers, part II; Series I. Early Career and Harvard University. Since Kissinger received a B.A. in 1950 and a Ph.D. in 1954 at Harvard, and since Relativity is treated in Chapter 4 also in the published book, it is possible that Sherwin’s approach to mechanics may have been circulating since the early 1950s. According to J. A. Wheeler (2000), “... in 1959 ... Marvin Stern, Chalmers Sherwin, Henry Kissinger, Oskar Morgenstern, and I got together in southern California for a day and a half every month and a half for a year and a half.”

oscillation is revealed (Fig. 2-8). Except for the different numerical values, this is of course the same equation Feynman is beginning to solve in Sec. 9.6 of the *Lectures*, before switching to the leapfrog method (*FLP*, Fig. 9-4). Sherwin's approach was relatively well received by reviewers, who shared his provocative observation that "physics has well nigh gotten out of hand" (Preface, p. vi).

Unfortunately, as also in the *Lectures*, no useful references appear in *Basic Concepts of Physics*. However, in 1959, Sherwin had published another, better known, textbook, *Introduction to Quantum Mechanics* (Sherwin 1959). In this work, he adopts the same arithmetical methodology to determine the eigenvalues of the Schrödinger equation, and states that "The method of numerical integration used here is known as Euler's method" (p. 52, Footnote 4). Therein, a reference is provided to *The Numerical Integration of Differential Equations* (Bennett *et al.* 1956). This may be the earliest "explicit" connection between twentieth century research literature and a textbook in which this numerical approach is used as a simplifying tool for beginning students to solve differential equations.

6. The aftermath: Bork, the personal computer age and the future

To the best of this author's knowledge, the earliest physics educator to fully grasp the immense potential of incorporating the revolutionary numerical pedagogical strategy of Sherwin, augmented by Feynman's leapfrog method applied to planetary orbits, into a curriculum that would take advantage of the nascent world of digital computers was Alfred M. Bork (Bork 1963; 1964). In fact, several years later (Bork, Peckham 1979), Bork still identified Sherwin and Feynman as the "two 'classical' references to the use of this tactic." (p. 145) Even more recently, (Bork 1981), he stated: "Two physics texts, *Basic Concepts of Physics* by Chalmers Sherwin, and *The Feynman Lectures on Physics*, pioneered the notion, but without using computers (p. 25). In his one-week course developed to teach numerical integration by computer, Bork did judge that "Possibly the first text to use numerical analysis for teaching physics was Chalmers Sherwin's *Basic Concepts of Physics*." (Bork 1968, p. 40) However, he credited Feynman with attacking the problem of orbits and he reproduced Chapter 9 from the *FLP* verbatim. The same choice was made in his very attractive book, *Fortran for Physics* (Bork 1967), in which Feynman's seemingly impractical *N*-body problem challenge is approached in FORTRAN II-D for the IBM 1620. Bork's enthusiasm for *Planetary Motions* is palpable and he must be credited with transforming Feynman's idea, as it emerged in the *Notes*, into code students could execute in mere fractions of a second.

7. Conclusions

Mathematical astronomy gained in popularity with the unfolding of the Space Race. Sadly, interest in space exploration waned even before the end of the Apollo program. *Planetary Motions* disappeared from the BPC with the second edition of *Mechanics*

(Kittel *et al.* 1973), Sherwin and his book became virtually forgotten, and orbital mechanics concepts became neglected in university curricula. Unsurprisingly, Kepler's equation, introduced in the *Astronomia Nova* over four hundred years ago, is now, "somewhat curiously ... absent from most undergraduate textbooks" (Orlando *et al.* 2018, p. 857). In the present atmosphere of renewed interest in space, Feynman's *Planetary Motions* deserves to be again explored (Pinto 2021) as one of the most notable lectures on physics ever delivered to readers at any level.

Acknowledgments

It is my pleasant duty to acknowledge email correspondence with Dr. Michael A. Gottlieb (*The Feynman Lectures Website* and Visitor in Physics at Caltech), who helped me to develop a more complete historical perspective about the development of the *Lectures*. Thanks are due to the California Institute of Technology, Institute Archives for granting permission to reproduce the materials shown in Figs. 1 and 2, and particularly to Dr. Peter S. Collopy and Ms. Loma Karklins for making high resolution scans available to me. For permissions to publish and help to photograph the calculating machines shown, I am deeply grateful to: Prof. Sergio Caprara (Director of the Museum of Physics), Prof. Carlo Cosmelli, and Mr. Stefano Petrocchi, all at La Sapienza, Rome (Fig. 3a); Dr. Valentina Casi (Director) and Dr. Fausto Casi (Scientific Director), both at the Museum for Communication Media in Arezzo, Italy (Fig. 3b). Prof. Carmen Amaddeo (Linnaeus University) kindly helped me obtain original copies of the texts by Sherwin and Herrick.

References

- Apostol T. (1967). *Calculus*. New York: John Wiley & Sons.
- Bennett A.A., Milne W.E., Bateman H. (1956). *The Numerical Integration of Differential Equations*. New York: Dover Publications, Inc.
- Bitzer D.L., Braunfeld P., Lichtenberger W. (1961). "PLATO: An Automatic Teaching Device". *IRE Transactions on Education*, 4 (4), pp. 157-161.
- Bitzer D.L., Hicks B.L., Johnson R.L., Lyman E.R. (1967). "PLATO System: Current Research and Developments". *IEEE Transactions Human Factors in Electronics*, HFE-8 (2), pp. 64-70.
- Bork A.M. (1963). "Physics Independent Study Course with Computer". *American Journal of Physics*, 31, pp. 364-368.
- Bork A.M. (1964). "Computers and "The Feynman Lectures on Physics"". *American Journal of Physics*, 32, pp. 173-174.
- Bork A.M. (1967). *Fortran for Physics*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Pub.
- Bork A.M., Luehrmann A., Robson J.W., (1968). *Introductory Computer-Based Mechanics: A One Week Sample Course (ED029516)*, College Park: Commission on College Physics.

- Bork A.M., Peckham, H. (1979). "Computer applications in mechanics". *Computers & Education*, 3, pp. 145-157.
- Bork A.M. (1981). "Computer-based instruction in physics". *Physics Today*, 34, pp. 24-30.
- Brouwer D. (1937). "On the accumulation of errors in numerical integration". *Astronomical Journal*, 46, pp. 149-153.
- Comrie L.J. (1946). "The Application of Commercial Calculating Machines to Scientific Computing". *Mathematics of Computation*, 2, pp. 149-159.
- Cooper R.K., Pellegrini C. (1999). *Modern Analytic Mechanics*. New York: Springer Science+Business Media.
- Dear B. (2017). *The Friendly Orange Glow*. New York: Pantheon Books.
- Feynman R.P. Leighton, R.B., Sands, M. (1963). *Feynman's Lectures on Physics*. Pasadena: Caltech.
- Feynman R.P. Gottlieb, M.A., Leighton, R. (2006). *Feynman's Tips on Physics*. San Francisco: Pearson Education.
- Gleick J. (1992). *Genius: The Life and Science of Richard Feynman*. New York: Pantheon Books.
- Goldstein H., Poole C., Safko J. (2002). *Classical Mechanics*. San Francisco: Addison-Wesley.
- Goodstein D.L., Goodstein J.R. (1996). "Feynman's Lost Lecture. The Motion of Planets around the Sun". *Engineering & Science*, 3, pp. 15-21.
- Hairer E., Hairer M. (1993). *GniCodes - Matlab Programs for Geometric Numerical Integration*, in Blowey J., Craig A., Shardlow T. (eds.), *Frontiers in Numerical Analysis*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hairer E., Lubich C., Wanner G. (2003). "Geometric numerical integration illustrated by the Störmer-Verlet method", in Iserles A. (ed.) *Acta Numerica 2003*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 399-450.
- Hašek R. (2012). "Numerical analysis of a planar motion: GeoGebra as a tool of investigation". *NAGJ*, 1 (1), pp. 33-36.
- Herget P. (1948). *The computation of orbits*. (published privately by the author).
- Herrick S., (1972). *Astrodynamics* (2 Volumes). London: Van Nostrand Reinhold Co.
- Hey T. (1999). "Richard Feynman and computation". *Contemporary Physics*, 40(4), pp. 257-265.
- Kittel, C., Knight, W.D., Ruderman, M.A. (1965). *Berkeley Physics Course Vol. 1 (Mechanics)*. 1st ed. New York: McGraw Hill Book Co.
- Kittel, C., Knight, W.D., Ruderman, M.A. (1973). *Berkeley Physics Course Vol. 1 (Mechanics)*. 2nd ed. New York: McGraw Hill Book Co.
- Landau R.H., Augustson K., Haerer S.D. (2005). *A First Course in Scientific Computing - Fortran Version*. Princeton: Princeton University Press.
- Millikan, R.A., Roller, D., Watson, E.C. (1937). *Mechanics, Molecular Physics, Heat, and Sound*. Boston: Ginn and Company.
- Orlando F.G.M., Farina C., Zarro C.A.D., Terra P. (2018). "Kepler's equation and some of its pearls". *American Journal of Physics*, 86, pp. 849-858.
- Phipps, T.E. Jr. (1998). "In Memory: Charles W. Sherwin". *Apeiron*, 5 (3-4), pp. 234-235.

- Pinto F. (2022). “Completing Feynman’s unparalleled lecture on ‘Planetary Motions’”. To be submitted.
- Rein H., Hernandez D.M., Tamayo D., Brown G., Eckels E., Holmes E., Lau M., Leblanc R., Silburt A. (2019). “Hybrid symplectic integrators for planetary dynamics”. *MNRAS*, 485, pp. 5490-5497.
- Richardson, L. F. (1911). “The Approximate Arithmetical Solution by Finite Differences of Physical Problems Involving Differential Equations, with an Application to the Stresses in a Masonry Dam”. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 210, pp. 307-357.
- Rutherford F. J. (1967). *Project Physics Reader - An Introduction to Physics I, Concepts of Motion*. Washington, DC: U.S. Department of Health, Education & Welfare.
- Sands, M. (2005). “Capturing the wisdom of Feynman”. *Physics Today*, 49, pp. 49-55.
- Sherwin C. W. (1959). *Introduction to Quantum Mechanics*. New York: Henry Holt and Company.
- Sherwin C. W. (1961). *Basic concepts of physics*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Størmer C. (1907). “Sur les trajectoires des corpuscules électrisés”. *Archives des Sciences physiques et naturelles de Geneva*, 24, 221-247.
- Tyrrell B. (2014). *Using numerical methods to solve the Gravitational n-Body problem & represent the result graphically using OpenGL* [online]. URL: <<https://www.maths.tcd.ie/~btyrrel/nbody.pdf>> [access date: 31/10/2021].
- Van Meer E. (2003). “PLATO: From Computer-Based Education to Corporate Social Responsibility”. *Iterations*, 2, pp. 1-22.
- Wheeler J.A., Ford K. (2000). *Geons, Black Holes, & Quantum Foam*. New York: W. W. Norton & Company.

Intertheoretic Relations, Singular Limits and Emergence: A Critical Overview of the Relation between Classical and Quantum Mechanics

Marco Di Mauro - Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Salerno -
madimauro@unisa.it

Adele Naddeo - INFN, Sezione di Napoli - anaddeo@na.infn.it

Abstract: An interesting issue in history and philosophy of science concerns possible relations between scientific theories, in particular reductions of theories. According to Thomas Nickles, a possible notion of reduction is the physicist's one, according to which a theory is reduced to another theory by a mathematical limiting process on a parameter. When the correspondence relation between theories involves a singular limit, it may be more appropriate to speak of intertheoretic relations, since the notion of reduction is not applicable. The role of singularity has been recognized by Michael V. Berry as a source of richness for the region of transition between two theories. In this respect, a paradigmatic example is the semiclassical limit of quantum mechanics which leads to the emergence of the classical world according to the correspondence principle. Further problems arise when considering a quantum system whose classical counterpart is chaotic, because in this case also a long-time limit leading to a highly complex behaviour is involved. In this contribution we focus on the relation between classical and quantum mechanics and give a critical and historical overview of the relevant results.

Keywords: Quantum mechanics, Singular limit, Correspondence principle.

1. Introduction

One of the most debated issues in philosophy of science deals with the search for possible relations between scientific theories (Nagel 1961). The aim is to find an answer to the following questions: a) When does a theory T^1 reduce to a theory T^0 ? b) How to understand the nature and the meaning of this relation? c) What is the domain of validity of the theory T^1 ? Nickles (1973) for the first time introduces, as a possible definition of reduction between theories, the physicist's one: a newer and more refined theory reduces to an older and coarser theory according to a correspondence limit in which an appropriate dimensionless parameter goes to zero. The limiting relation is called reduction if the limit is regular; in this case physical quantities within the newer theory can be expressed as the same quantities within the older theory plus a convergent power series of the dimensionless parameter. Thus, from a mathematical point of view, reduction implies a relationship between theories which is a regular perturbation problem. A very different situation takes place when the limiting correspondence relation between theories is singular:

the old mathematics of convergent power series has to be replaced with the new mathematics of asymptotic series. In this case it may be more appropriate to speak of intertheoretic relations (Batterman 1991):

We can see that asymptotic reasoning plays a major role in our understanding of how various theories “fit” together to describe and explain the workings of the world. In fact, the study of asymptotic limits is part and parcel of intertheoretic relations. One can learn much more about the nature of various theories by studying these asymptotic limits than by investigating reductive relations according to standard philosophical models (Batterman 2002, p. 19).

The difficulties arising in reduction process when the limit is singular have been recognized by Berry (1994). In fact, smooth transitions between theories take place only in a few cases, while a singularity is the usual situation (Berry *et al.* 1993) and brings a bunch of novel phenomena in the region of transition:

Our investigation into the singular limits that often exist between theories has led to examine universal phenomena that appear to emerge in asymptotic domains. I’ve argued that the use of the term “emergent” to describe the structures and features of these phenomena is wholly appropriate. They are (relative to the various theory pairs involved) genuinely novel structures (Batterman 2002, p. 135).

According to Butterfield (2011), emergence is compatible with reduction but it is not always the result of a singular limit.

A paradigmatic example of singular limit (Berry 1994) is the relationship between wave theory of light and geometrical optics. Here the latter is obtained as the short wavelength limit of the former, i.e. the limit $\lambda/a \rightarrow 0$ is taken, where a is the typical linear dimension of the obstacles with which light interacts. Furthermore, the limit to geometrical optics is characterized by the presence of caustics, which are envelopes of families of rays, which are collective phenomena marking the boundary between regions with different numbers of rays.

But the focus of this contribution is on another significant instance of singular limit, namely the relation between classical and quantum mechanics (Bokulich 2008). Indeed, quantum mechanics can be viewed as a particular wave theory, whose corresponding ray theory is classical mechanics (Berry 1994). Here the limiting parameter is \hbar/S , where \hbar plays the role of the wavelength λ (through De Broglie relation) and S is the typical action involved. Due to the singularity of the semiclassical limit $\hbar/S \rightarrow 0$, classical mechanics emerges only after averaging over environmental (decoherence) effects. Additional features emerge in the case of classical chaos. In particular, an interesting phenomenon will take place if an isolated system is involved, namely the quantum suppression of chaos (Berry 1987). Here the long-time limit $t \rightarrow \infty$ is involved as well and it must be taken before the limit $\hbar/S \rightarrow 0$ (Berry 2001), i.e. the two limits do not commute. A further emergent phenomenon shows up within the statistics of energy levels, i.e. spectra display universality.

The aim of this contribution is to critically analyze the relation between classical and quantum mechanics and to show how it is highly non trivial. Indeed, the limit operation gives valid results only in several cases, while in other cases it doesn't work. Such a consideration is crucial because it suggests that a successful reduction is not possible. Rather, it is much more appropriate to recognize a plurality of theories' foundations (Drago 2021), which should be taken into account in shaping undergraduate as well as graduate teaching in quantum mechanics.

2. Quantum Mechanics vs Classical Mechanics

Historically the first place where the limit $\hbar \rightarrow 0$ is considered is Planck's book *Theory of Heat Radiation* (Planck 1959). Here this limit (i.e. $h\nu/kT \ll 1$) is carried out in order to get classical Rayleigh-Jeans formula from Planck's formula for the energy of black body radiation at frequency ν :

$$U(\nu) = \frac{8\pi V}{c^3} \frac{h\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} \rightarrow U(\nu) = \frac{8\pi V}{c^3} kT\nu^2. \quad (1)$$

This limiting relation is known as Planck's correspondence principle.

Unfortunately, such a limit is singular for a huge number of physical systems, which implies that the nature of the solution near the limit is different from its nature at the limit (Bokulich 2008). Let's now illustrate the meaning of this statement by making reference to some concrete examples.

Step barrier. Let's take a particle with energy E in the presence of a step barrier $V(x) = \frac{V_0}{1+e^{-x/L}}$, characterized by a smoothness threshold L , such that $E > V(x)$ (Berry *et al.* 1972). While the classical reflection coefficient is always zero as expected, quantum mechanics predicts that there is a small probability for the particle to be reflected by the barrier, resulting in a non vanishing reflection coefficient. In the semiclassical regime the limit $\hbar/p_2L \rightarrow 0$ has to be taken, where p_2 is the momentum of the particle in the region $x \gg 0$, so that the reflection coefficient becomes:

$$|R|^2 = \exp(-4\pi p_2 L / \hbar). \quad (2)$$

Notice that it cannot be expressed as a power series in \hbar , so it is a singular limit. The situation is even worse for a sharp barrier ($L = 0$), whose reflection coefficient is independent of \hbar and can never give rise to the expected classical limit.

Systems with classical chaos. Classical chaos emerges in the long-time limit, so in order to find the classical limit of a chaotic system one has to take both the $t \rightarrow \infty$ and $\hbar \rightarrow 0$ limits. However, these limits do not commute and this is a critical issue, giving rise to a complex behavior. In general, for an isolated system the quantum counterpart is non chaotic. But decoherence makes chaos to return: an example is the chaotic tumbling of Hyperion (a Saturn's satellite) (Berry 2001; Zurek, Paz 1994).

Furthermore, interesting emergent phenomena arise in such systems, which show up within the energy-level statistics (Berry 1987). In fact, isolated bounded systems, as well known, have discrete energy levels and the corresponding semiclassical spectra are built of highly excited states. Thus these spectra display universality, which means that the level spacings (S) distribution follows the Poisson distribution for integrable systems, while being well approximated by the Wigner distribution for chaotic systems. In the first case a clustering of levels is observed:

$$P(S) = \exp(-S) \quad (3)$$

while in the second one a repulsion of levels takes place:

$$P(x) = \frac{1}{2}\pi S \cdot \exp\left(-\frac{1}{4}\pi S^2\right). \quad (4)$$

Such a spectral universality is a peculiar emergent phenomenon, which is clearly non classical because it is a property of discrete energy levels. However it is semiclassical because only in the limit $\hbar \rightarrow 0$ it is possible to have many levels within a classically small interval. This feature is another consequence of the singularity of the semiclassical limit.

Systems with a discrete energy spectrum. Let's take, for instance, the harmonic oscillator (a particle in a box or the hydrogen atom show the same behavior), whose energy eigenvalues are:

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Here, by taking simply the limit $\hbar \rightarrow 0$ energy will be zero for all n . So, a meaningful result can be obtained by taking also the limit $n \rightarrow \infty$ (Bohr's formulation of the correspondence principle) and requiring that the product is equal to a fixed value which is the classical action J . In this way the classical energy is recovered (Hassoun, Kobe 1989):

$$E_n \rightarrow E_{Classical} = \frac{m\omega^2 A^2}{2}, \quad (6)$$

where A is the amplitude of the classical oscillator. It has been pointed out by some authors that the limit of large quantum numbers is not a sufficient condition to recover the classical behavior, even for quantum phenomena characterized by a discrete spectrum:

In order that the approximation be justified, it is necessary that this spacing could be considered negligible; that is the case if large quantum numbers are involved...The condition is certainly not sufficient; thus, some purely quantum-mechanical effects such as the uncertainty relations are not related to the discreteness of certain spectra (Messiah 1965, p. 214).

This happens because there is no equivalence between Planck's and Bohr's formulations of the correspondence principle (Liboff 1984).

Ehrenfest's Theorem. The statement of the theorem is that, under given conditions, the average of position and momentum of a quantum system follows a classical trajectory. For instance, for a 1-dimensional particle in a scalar potential $V(x)$ one gets:

$$F(\langle q \rangle) = \frac{d\langle p \rangle}{dt}, \quad (7)$$

if the Ehrenfest substitution, namely the replacement of $\langle F(q) \rangle$ with $F(\langle q \rangle)$, is valid. This means that the centroid of the quantum wave packet will follow a classical trajectory. But there are systems where this substitution doesn't work, such as a particle scattering off a potential step (Messiah 1965). Ballentine *et al.* (1994) show that Ehrenfest theorem is neither a necessary nor a sufficient condition for the classical limit. Finally, Rohrlich (1990, p. 1408) points out that Ehrenfest substitution holds only for negligible fluctuations of the canonical coordinates. As a consequence, Ehrenfest theorem only provides a reduction of point particle mechanics.

3. Conclusions

The relation between classical and quantum mechanics is highly non trivial: the limit $\hbar \rightarrow 0$ is singular for a lot of physical systems, Ehrenfest theorem has a restricted validity, classically chaotic systems show a puzzling behavior. These considerations should be the basis for a novel approach to quantum mechanics teaching at undergraduate as well as graduate level, whose inspiring source should shift from reductionism to theoretical pluralism.

Acknowledgements

The authors would like to thank A. Drago for drawing their attention on intertheoretic relations issues and for a fruitful scientific collaboration.

References

- Ballentine L., Yang Y., Zibin J.P. (1994). "Inadequacy of Ehrenfest's theorem to characterize the classical regime". *Physical Review A*, 50, pp. 2854-2859.
- Batterman, R.W. (1991). "Chaos, Quantization and the Correspondence Principle". *Synthese*, 89, pp. 189-227.
- Batterman, R.W. (2002). *The Devil in the Details: Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction and Emergence*. New York: Oxford University Press.

- Berry M.V. (1987). "The Bakerian Lecture 1987: Quantum Chaology". *Proceedings of the Royal Society A*, 413, pp. 183-198.
- Berry, M.V. (1994). *Asymptotics, Singularities and Reduction of Theories*, in Prawitz D., Skyrms B. Westertahl D. (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science IX*. Amsterdam Elsevier Science B.V., pp. 597-607.
- Berry M.V. (2001). *Chaos and the Semiclassical Limit of Quantum Mechanics*, in Russell R.J., Clayton P., Wegter-McNelly K., B. Polkinghorne J. (eds.), *Quantum Mechanics: Scientific Perspectives on Divine Action*. Vatican Observatory: CTNS publications, pp. 41-54.
- Berry M.V., Howls C. (1993). "Infinity Interpreted". *Physics World*, 6, pp. 35-39.
- Berry M.V., Mount K. (1972). "Semiclassical approximations in wave mechanics". *Reports on Progress in Physics*, 35, pp. 315-398.
- Bokulich A. (2008). *Reexamining the Quantum-Classical Relation. Beyond Reductionism and Pluralism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Butterfield J. (2011). "Less is different: Emergence and reduction reconciled". *Foundations of Physics*, 41, pp. 1065-1135.
- Drago A. (2021). "From the two Notions of Paradigm and Reduction between Theories to a New Multilinear History of Physics". *Advances in Historical Studies*, 10, pp. 135-163.
- Hassoun G.Q., Kobe D.H. (1989). "Synthesis of the Planck and Bohr formulations of the correspondence principle". *American Journal of Physics*, 57(7), pp. 658-662.
- Liboff R.L. (1984). "The correspondence principle revisited". *Physics Today*, 37(2), pp. 50-55.
- Messiah A. (1965). *Quantum Mechanics*, vols. 1, 2. Amsterdam: North-Holland Publishing.
- Nagel E. (1961). *The Structure of Science*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Nickles T. (1973). "Two Concepts of Intertheoretic Reduction". *The Journal of Philosophy*, 70(7), pp. 181-201.
- Planck M. (1959). *Theory of Heat Radiation*. New York: Dover.
- Rohrlich F. (1990). "There is Good Physics in Theory Reduction". *Foundations of Physics*, 20, pp. 1399-1412.
- Zurek W. H., Paz J. P. (1994). "Decoherence, chaos, and the second law". *Physical Review Letters*, 72, pp. 2508-2511.

HISTORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS

L'evoluzione della fisica nucleare in Italia dopo Fermi

Renato Angelo Ricci - Laboratori Nazionali INFN di Legnaro; Università di Padova - renato.a.ricci@lnl.infn.it

Abstract: The present paper describes the relevant aspects of the historical evolution of Italian research in nuclear physics, starting from the departure of Enrico Fermi in 1938 and following its remarkable developments after the war, up to recent times. In the Post-war period, electrostatic accelerating machines were used as fast neutron generators in Milan, Turin, Padua, Trieste, Catania and, later on, in Naples and Florence, for the study of nuclear dynamics and structure. In fact, it is in Naples, via Florence and Padova, that the Italian Nuclear Spectroscopy was founded. In 1950s-60s, the construction of circular RF machines started in Milan (*Cyclotron*) and in Turin (*Betatron* and *Synchrotron*). The turning point was the advent of the 2.5 MV and 5.5 Van de Graaf accelerators respectively in Catania and Padua. Since then, nuclear physics research in Italy – as a relevant activity of INFN – has developed internationally in the field of nuclear spectroscopy and dynamics, with the National Laboratories of Legnaro and Catania playing a central role, also giving impetus to theoretical research.

The 1980s and 1990s saw the installation in Legnaro of the Tandem accelerator and of the superconducting linear accelerator (ALPI), accompanied by the installation of state-of-the-art detection systems. At the same time, the South Tandem, coupled with the superconducting cyclotron, enriched the equipment in Catania. The new facilities favoured the start of exotic nuclei physics in Italy, with new perspectives made available also by the activities at the Laboratories of Frascati, Gran Sasso and CERN (relativistic heavy ions).

An overview of these possibilities as well as a brief excursus of recent results and important contributions of nuclear physics in Italy is presented at the end of the contribution.

Keywords: Nucleus, Nuclear physics, Betatron, Synchrotron, Cyclotron.

1. Prologo

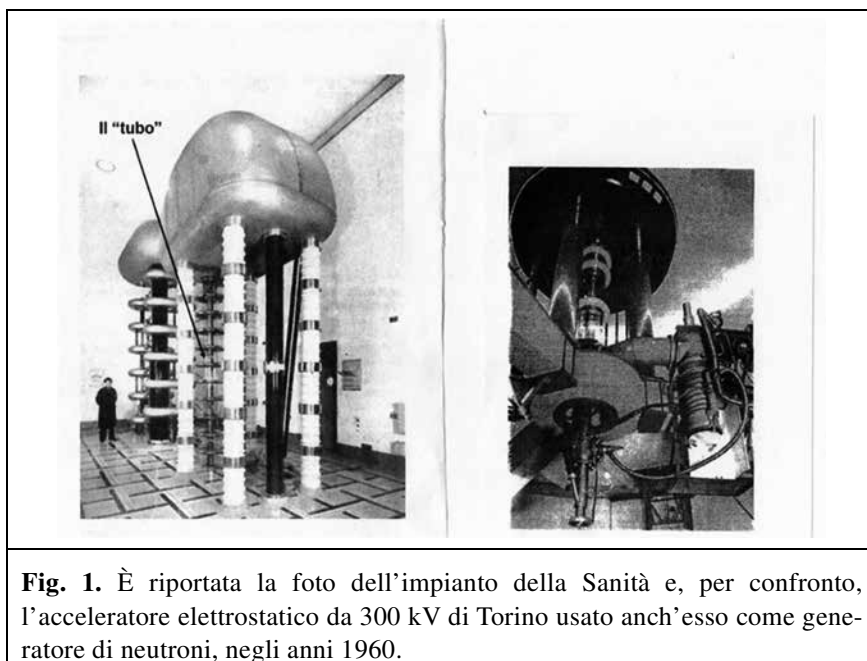
Quando nel 1938 Enrico Fermi abbandonò l'Italia per le note leggi razziali, la fisica nucleare italiana era già nata grazie alla scoperta della radioattività indotta da neutroni (1934) che, analogamente alla scoperta di I. Curie e F. Joliot (radioattività artificiale, 1934) insieme con quella del neutrone (Chadwick, 1932) apriva anche in Italia la possibilità di indagare proprietà specifiche dei nuclei atomici. La fisica nucleare italiana na-

sce dunque come figlia della fisica dei neutroni e ne sarà debitrice anche nel seguito come vedremo.

Dopo la partenza di Fermi, una certa attività di fisica nucleare fu possibile grazie all'utilizzo dell'impianto da 1,1 MV del Laboratorio dell'Istituto Superiore di Sanità (vedi Fig. 1). Tale attività fu ripresa nell'immediato dopoguerra, come ricorda lo stesso Amaldi (1979) nel discorso pronunciato in occasione del Convegno su "Prospettive della Fisica fondamentale" (Roma 1978), ricordando che a Roma

[...] all'Istituto Guglielmo Marconi le grandi linee di ricerca riprese erano essenzialmente ancora due come nel 1938: lo studio dei raggi cosmici guidato da Bernardini e la fisica nucleare di cui mi occupavo io personalmente. Quest'ultima attività veniva svolta in collaborazione con Daria Bocciarelli e Giulio Cesare Trabacchi dell'Istituto Superiore di Sanità, usando come sorgente di neutroni l'impianto da 1,1 milioni di volt che avevamo costruito presso il Laboratorio Fisico di quell'Istituto, insieme con F. Rasetti, negli anni 1937-1938 (Amaldi 1979).

Amaldi prosegue evidenziando il confronto positivo con le prestazioni di impianti simili (i Cockroft-Walton ad esempio) in altri paesi, il che permetteva la continuità delle ricerche sui neutroni nonché la produzione di sostanze radioattive artificiali utilizzate in applicazioni farmaceutiche e industriali.



È interessante rilevare come Amaldi, riferendosi a tale strumento si ricolleggi alla fisica dei neutroni ed anche alla possibilità di produrre isotopi radioattivi d'interesse applicativo facendosi portavoce di una strategia che si ritrova in tutta la storia delle ricerche di fisica nucleare in Italia. Ciò metteva l'Istituto in condizioni paragonabili, come rileva ancora Amaldi, con le ricerche in altri paesi europei e oltre oceano almeno fino alla di-

spersione dei fisici romani e all'immediato dopoguerra. Malgrado condizioni che non sarebbero state più competitive, già nel 1945, continua Amaldi «le attività di ricerca all'Istituto Marconi e al Laboratorio della Sanità avevano ripreso [...] un nuovo slancio» (Amaldi 1979) tanto da poter costituire, con l'accordo del CNR, presso l'Istituto Marconi, un "Centro di Studio della Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari" di cui fu nominato direttore Amaldi e vicedirettore Gilberto Bernardini. E qui già è adombrata l'idea di una Istituzione come l'INFN e la distinzione nei due settori specifici delle attività nucleari.

2. La fisica dei nuclei - Il contesto generale

Ciò che introduce lo studio della fisica dei nuclei è sostanzialmente connesso con le proprietà di struttura e dinamiche dei nuclei intesi come sistemi a forte energia di legame e composti da costituenti elementari che ne fanno insieme da pochi a molti corpi (*few and many-body systems*) raccolti in una mappa di specie nucleari (*carta dei nuclei*) in un diagramma Z, N.

Ai tempi di Fermi e fino agli anni 1950 erano note poche centinaia di specie nucleari (*isotopi*), per i vari decadimenti radioattivi naturali ed artificiali. Vedasi il Corso *Nuclear Physics* tenuto da Fermi nel 1949 all'Università di Chicago e compilato da J. Orear, A.H. Rosenfeld e R.A. Schluter, che inizia in modo definito: «All nuclei are composed of Z protons and N neutrons. The mass number A is given by $A = Z + N$. Examine an isotopic chart [...] and notice that the stable elements lie along the curve starting out with $N/Z = 1$ ».

Tale mappa si è arricchita notevolmente, grazie alla produzione di nuovi radioisotopi con l'avvento di acceleratori più potenti e versatili e tecniche di rivelazioni avanzate. Per fare un esempio, si veda in Fig. 2 la mappa nucleare degli anni '80 completa dei dati ottenuti dalle reazioni con ioni pesanti e quelli relativi alla scoperta dei nuclei superpesanti (Bromley 1984).

Naturalmente tale evoluzione relativa alla caratterizzazione di quello che potremmo chiamare il data base dei nuclei atomici conosciuti o conoscibili, è connessa con la possibilità quantitativa e qualitativa di una evoluzione concettuale della struttura nucleare. Per comprendere tale evoluzione, cui il contributo italiano non è stato certo trascurabile (anni 1950 - 2000), citerò alcune valutazioni e indicazioni programmatiche che precedono negli anni la più recente edizione del Long Range Plan del NuPECC, il Nuclear Physics European Collaboration Committee (European Science Foundation 2017).

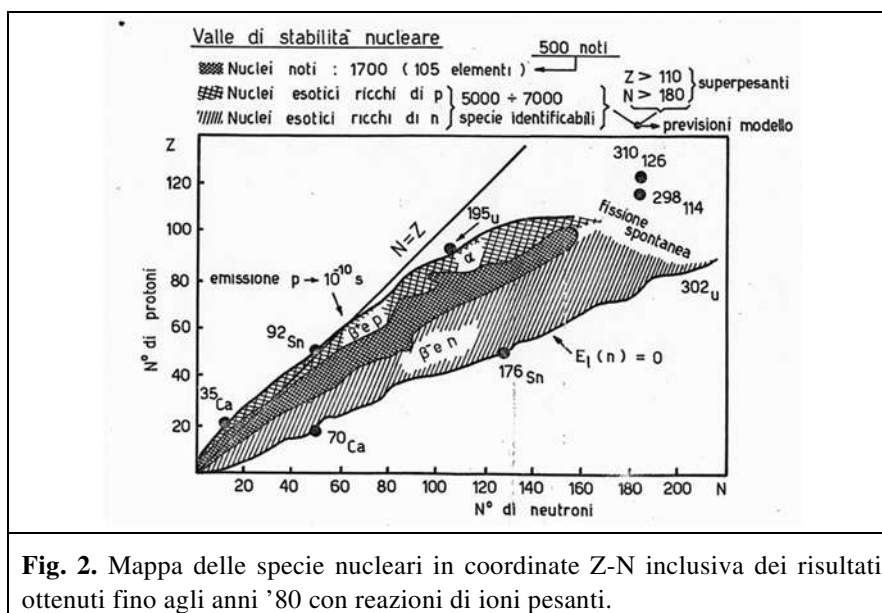
Nel 1969, V. F. Weisskopf ebbe a esprimersi così nel suo "Retiring Presidential Address of APS" – nelle sue considerazioni relative a "Problems in Nuclear Structure" – a proposito della questione concernente la forza primaria all'origine dell'interazione tra nucleoni e responsabile del legame nucleare:

[...] Fortunately, and somewhat surprisingly, the nucleus can be [...] described as a system of well-defined neutrons and protons with certain forces between them. The meson origin of these forces does not seem to play an essential role in the nuclear

behavior at lower energy. Hence, the theory of nuclear structure is not interested in the theory of the nuclear force itself. It is taken for granted that such a force exists and its properties are accepted as an experimental fact (Weisskopf 1969).

Da notare la annotazione di bassa energia. Trent'anni dopo (1999), troviamo nella dichiarazione del Nuclear Science Advisory Committee del DOE/NSF "Nuclei, nucleons, quark, Nuclear Science in 1990's" quanto segue: «[...] it is now also well known that nucleons are made up of quarks which interact by exchanging gluons [...] It is the ultimate aim of nuclear physics to relate the known phenomena of the nuclear medium to the quarks and the corresponding theory, the quantum cromodynamics [...]».

Questa affermazione, che supera i confini a suo tempo definiti nel contenimento dei programmi della Fisica dei Nuclei, era già contenuta nel rapporto del *Working Group* emanato dalla ESF ("European Science Foundation") relativo a "Nuclear Physics in Europe. Present status and Outlook" (1984). Del gruppo, di 16 persone, io stesso ho fatto parte (European Science Foundation 1984). Nel rapporto, relativamente alle nuove frontiere della fisica nucleare, si va oltre il problema dell'origine mesonica delle forze nucleari e si indica la necessità di nuove sonde di sufficiente energia per esplorare il mezzo nucleare in termini di quarks e gluoni. Di particolare interesse l'importanza declamata dell'avvento come sonde essenziali degli ioni pesanti.



Infine per arrivare ai giorni attuali, vedasi, come già accennato, il già citato rapporto del NuPECC redatto nel 2017 (vedi Fig. 3); da notare che i *contributors* sono ora qualche centinaio, tra cui 16 italiani – con *chairperson* Angela Bracco. La sintesi dei punti programmatici evidenziati in figura, ribadisce lo scopo primario che, in realtà, pur continuando a riavvicinare la fisica dei nuclei alla fisica delle interazioni tra particelle elementari, prospetta analisi e sperimentazioni in profondità del sistema nucleare. Eccone uno stralcio:

Scopo primario della fisica nucleare è quello di trarre le proprietà fondamentali dei nuclei dai loro costituenti, protoni e neutroni, e in definitiva (*ultimately*) determinare la complessità dell'interazione forte dai sottostanti gradi di libertà dei quarks e dei gluoni (European Science Foundation 2017).

Naturalmente queste sono sostanzialmente dichiarazioni di principio essendo la strada delle proprietà primarie dei nuclei atomici lunga e complessa da percorrere.

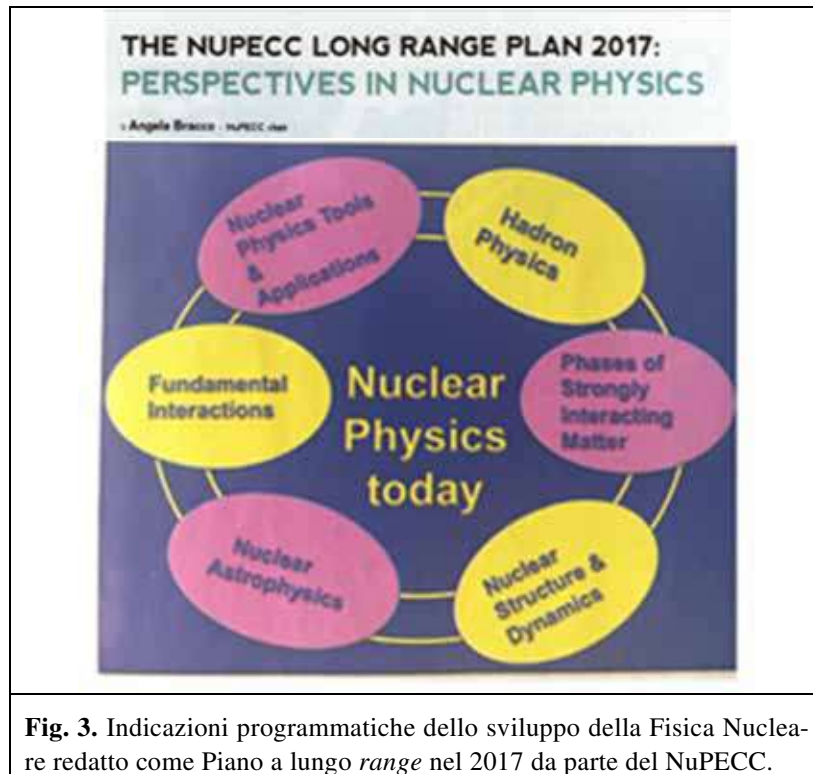
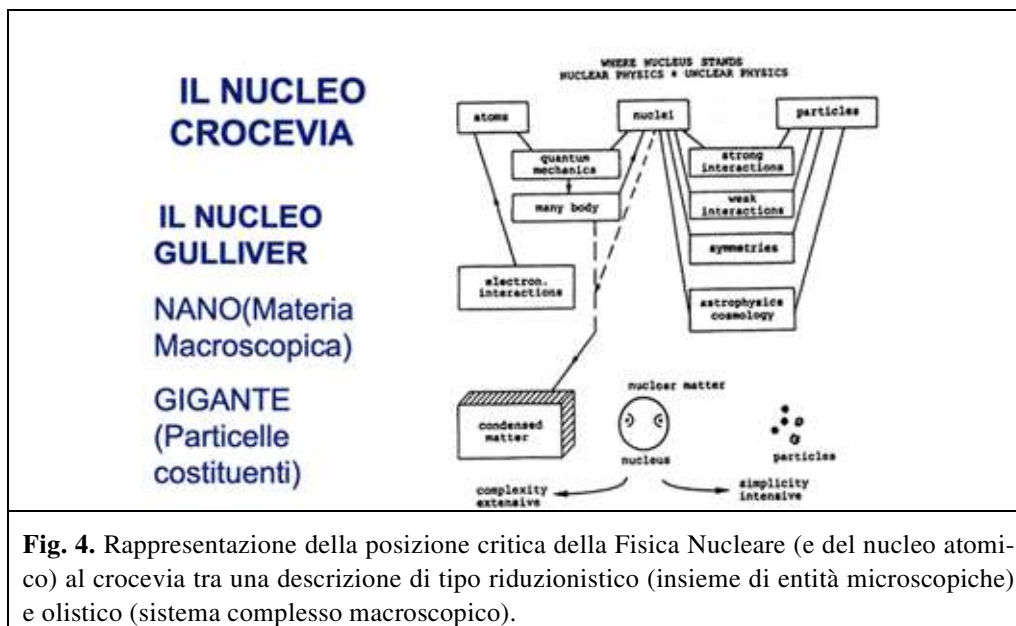


Fig. 3. Indicazioni programmatiche dello sviluppo della Fisica Nucleare redatto come Piano a lungo range nel 2017 da parte del NuPECC.

In effetti, volendo rappresentare graficamente la effettiva posizione del nucleo e le connessioni della fisica nucleare con i vari aspetti delle descrizioni fisiche della materia (barionica) ne troviamo la collocazione al crocevia rappresentato in Fig. 4 (nota: l'anagramma "uclear physics" è alquanto significativo). In tale rappresentazione il nucleo è una specie di Gulliver, *troppo grande* (un *gigante*) per essere descritto compiutamente come sistema di particelle microscopiche (descrizione *intensiva, semplicità*) e *troppo piccolo* (un *nano*) per essere descritto come un frammento di materia macroscopica (descrizione *estensiva, complessità*). Si tratterebbe cioè di un sistema tipicamente mesoscopico (Ricci 1993).

Per questo, il pragmatismo di Weisskopf, fenomenologicamente parlando, risulta ancora valido ed efficace. Su questa strada la fisica nucleare italiana si è mossa a fasi alterne in sedi diverse fino agli anni 1950, più precisamente fino alla costituzione dell'INFN, che ne definì le modalità organizzative e, anche se con qualche difficoltà iniziale, i supporti finanziari e strumentali.



3. La Ricostruzione e la Rifondazione nel Dopoguerra

Tale rifondazione risulterà abbastanza complessa e non lineare (siamo negli anni 1945-50) e, in generale, affidata alla libera iniziativa delle varie Università a seconda di differenti disponibilità (finanziarie, strumentali e umane). Caso paradigmatico è quello di Milano, dove i due filoni di ricerca si organizzarono rapidamente sotto la direzione di G. Bolla. Così partiva il progetto di un Laboratorio di fisica nucleare applicata (C. Salvetti, G. Salvini, M. Silvestri) che, con la collaborazione dello stesso Amaldi, cui si associarono G. Bernardini e B. Ferretti, si concretizzò nel 1946 con la creazione del CISE (Centro Informazioni Studi ed Esperienze). Si realizzò così una distinzione di indirizzi: al Centro di Roma la fisica nucleare fondamentale, al CISE la fisica nucleare applicata, fino alla costituzione del CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari) nel 1952, poi trasformato nel 1960 in CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare). La ripresa delle attività a Milano, come riferisce Tagliaferri (1995), avvenne con l'aiuto di aziende ed imprese private e si diversificò nei due settori: raggi cosmici (G. Cocconi, A. Mura, G. Tagliaferri, G. Salvini) e fisica nucleare applicata (G. Bolla, G. Salvini, C. Salvetti). Il proposito iniziale era quello di acquisire conoscenze sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare; tipiche le misure di sezioni d'urto di scissione dell'Uranio (M. Salvetti, A. Gallone, M. Silvestri, U. Facchini, E. Germagnoli, L. Colli, E. Gatti). Il gruppo convinse la Società Edison ad istituire una Sezione speciale di studi di fisica che fu il germe per la costituzione del CISE (1946), alla cui fondazione parteciparono altre Società (FIAT, Cogne e, in seguito, Montecatini, Pirelli) con uno statuto a scopi generici senza menzionare la parola "nucleare", dati i vincoli del regime armistiziale allora vigente. In ogni caso il CISE mantenne contatti espliciti e proficui con l'Istituto di Fisica di via Saldini appunto nelle ricerche di fisica nucleare. Esempio chiaro ne è l'utilizzo

dell'acceleratore Cockroft-Walton da 150 kV, costruito da E. Gatti, con il quale erano state misurate le prime sezioni d'urto di fissione per la produzione di neutroni da 14 MeV (dalla reazione $d+t$) per lo studio di reazioni di trasferimento (n,p) e (n,d) usando rivelatori a gas accoppiati a scintillatori a CsI (gruppo Facchini). È da rilevare che, nell'ambito di queste ricerche, un altro acceleratore dello stesso tipo fu costruito all'Istituto di Fisica (L. Colli, M. Pignanelli, E. Micheletti) per lo studio di reazioni con neutroni e che, in seguito (1958-60), fu la volta di un acceleratore Van de Graaf da 5 MeV (trasportato poi nella nuova sede del CISE a Segrate e trasformato in Tandem da 8 MV) per misure più estese di trasferimento di nucleoni (I. Iori, M. Pignanelli, E. Gadioli). In particolare, furono intrapresi studi di reazioni con neutroni e protoni, sul modello statistico, sulle fluttuazioni di Ericsson, usando i primi rivelatori al Silicio costruiti nel laboratorio di Gatti. Iniziava inoltre in quegli anni la progettazione e la costruzione del Ciclotrone AVF da 50 MeV di protoni (G. Tagliaferri, C. Succi) che comincerà a funzionare nel 1965, in particolare per lo studio dei meccanismi di reazione (gruppo P. Guazzone-L. Zetta). La tecnologia corrispondente, evolutasi a Milano nei Laboratori L.A.S.A. con l'avvento della superconduttività, permise in seguito di costruire, da parte di F. Resmini, il Ciclotrone Superconduttore destinato poi ai Laboratori del Sud (Resmini *et al.* 1979) (Acerbi *et al.* 1981).

Non molto dissimile fu l'evoluzione della sede di Torino, dove la direzione assicurata da R. Deaglio e poi da G. Wataghin con il rientro di M. Verde dalla Svizzera (all'ETH, presso W. Pauli) furono essenziali per lo sviluppo notevole che ebbero nel seguito le importanti attività in campo sia sperimentale che teorico. Ciò permise il formarsi di una generazione di fisici presto inseriti in ricerche di rilievo senza particolari distinzioni settoriali, il tutto facente capo all'uso comune dell'Istituto di via P. Giuria-Corso M. D'Azeglio. Essi si distinsero in quel periodo (1948-1960) nelle ricerche sui raggi cosmici (vedi Laboratorio di Plateau Rosa) e nella fisica delle particelle elementari.

Nel 1951 comunque la terna dirigente decise di dotarsi di una macchina acceleratrice, anche per sviluppare ricerche di fisica nucleare, un *Sincrotrone per elettroni* da 100 MeV, costruito dalla BROWN-BOVERI svizzera, in collaborazione con la facoltà di Medicina nell'ambito di un Consorzio CNR-FIAT, da installare in un Laboratorio sotterraneo sotto l'Istituto. Poiché tale installazione presentava difficoltà insieme con le prestazioni non ottimali della macchina per usi medici, fu deciso di dotare separatamente l'Ospedale delle Molinette di un *Betatrone* da 31 MeV (1954) che fu comunque utilizzato dai fisici per esperimenti di fisica nucleare (F. Ferrero, C. Tribuno, L. Gonella e, in seguito, G. C. Bonazzola) sotto la direzione di R. Ricamo proveniente dall'ETH di Zurigo, che fu poi sostituito, dopo la sua chiamata a Catania, da R. Malvano proveniente dal Politecnico.¹

¹ Nello stesso periodo, presso l'Istituto di Fisica del Politecnico di Torino, il gruppo di assistenti di Perucca (F. De Michelis, R. Malvano, R.A. Ricci, G. Trivero) era impegnato in misure di radioattività di nuclei pesanti (famiglia del Radio) con tecniche di rivelazione tramite contatori a scintillazione (stilbene e antracene per raggi beta, fabbricati in casa e NaI(Tl) per raggi gamma); una prima pubblicazione sul RaC costituisce il primo esperimento in Italia di spettroscopia nucleare con la tecnica dei rivelatori a scintillazione (Ricci, Trivero 1955). Io ero arrivato a Torino nel 1952 da Pisa dopo un soggiorno a Parigi presso L. De Broglie e F. Joliot, vincendo il concorso di assistente di ruolo reso vacante dalla partenza di S. Fubini, che aveva seguito A. Gamba nel gruppo di fisici teorici.

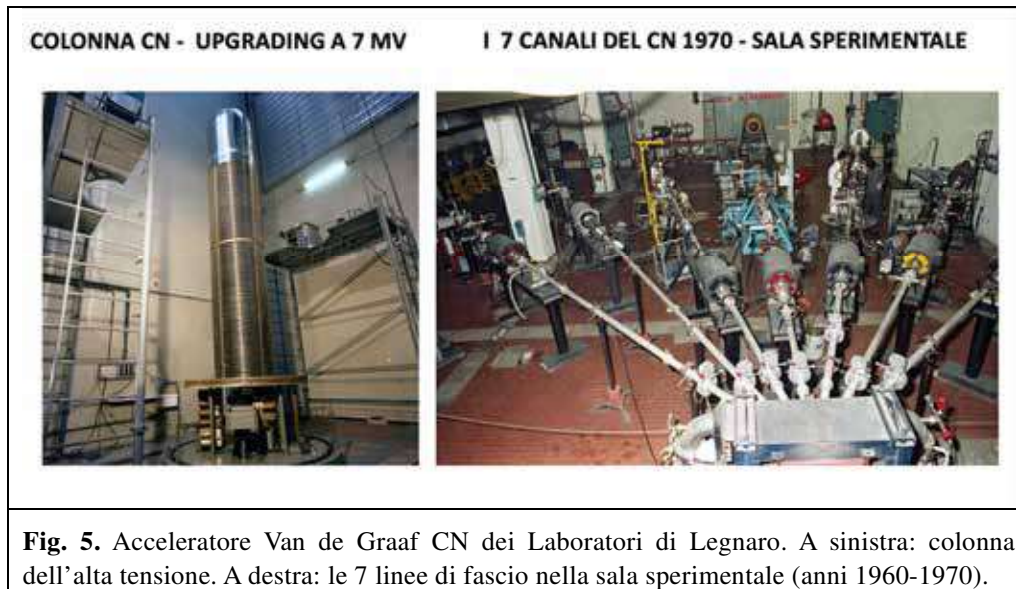
In attesa del Sincrotrone che arrivò solo nel 1959, fu installato un secondo Betatrone da 31 MeV con il quale il gruppo torinese portò a termine ricerche interessanti nel campo delle fotoreazioni, quali lo studio della “Risonanza Gigante Nucleare”. Con il Sincrotrone furono estese le ricerche di fotoreazione che, tra l’altro, iniziarono le attività di quella parte della fisica dei nuclei non più propriamente di *bassa energia* ma, come furono chiamate, di *energia intermedia*. Va ricordato d’altra parte che ricerche di bassa energia a Torino erano iniziate, con l’uso dell’acceleratore elettrostatico da 300 kV (vedi Fig. 1) analogamente ad altre sedi. È il caso qui di citare C. Villi (1976) nella sua relazione sulle attività dell’INFN (1970-75) come ricerche di fisica dei nuclei fossero già vive negli anni 1950-1956 quando «un gruppo di ricercatori che nell’immediato dopoguerra aveva condotto esperimenti con i raggi cosmici, cominciò a effettuare misure di sezioni d’urto di reazioni fotonucleari con il betatrone dell’Università di Torino». Con tale macchina furono svolte attività diverse. In particolare, insieme con interessanti studi di fisica della materia e nucleare, P. Brovetto e S. Ferroni, nel 1952, si dedicarono a studi sulla polarizzazione nucleare iperfina e sulla teoria dell’urto di elettroni su nuclei polarizzati. Nel 1957, con l’aiuto di S. Debenedetti – in sabbatico da Pittsburgh – il gruppo si dedicò a misure di polarizzazione circolare della bremsstrahlung del ^{204}Tl , in relazione al problema della non conservazione della parità, dapprima in collaborazione con Ugo Amaldi, M. Bernardini e A. Pasquarelli, all’Istituto Superiore di Sanità e poi a Torino, con l’aiuto di G. C. Bonazzola. Ulteriori inserimenti furono quelli di E. Chiavassa e T. Bressani e in seguito, tra gli altri, S. Costa e L. Riccati. Il gruppo torinese sarà fortemente impegnato nelle ricerche di fisica nucleare al CERN partecipando anche alla loro conduzione (L. Riccati e P. Giubellino).

4. La Fisica Nucleare italiana negli anni 1950-1960 – l’INFN

Intanto, a Padova, oltre ad una notevole attività nello studio della radiazione cosmica, si mettevano le basi per uno sviluppo che doveva rivelarsi di grande rilievo nelle ricerche in Fisica Nucleare fondamentale ed applicata, fino alla costituzione, nel 1961, (oggi noi ne celebriamo il 60mo anniversario) per opera di A. Rostagni, del Laboratorio dell’Acceleratore di Ioni (nell’ambito dell’allora Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto), poi diventato Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL) nel 1968 dopo la stipula della Convenzione INFN-Università di Padova (Rostagni, Villi 1967) (Rostagni *et al.* 1962) (Ricci 2014). Il laboratorio si era dotato di un acceleratore Van de Graaf (High Voltage) da 5,5 MV, portati nel seguito a 7 MV, con il quale si erano avviate ricerche consistenti di fisica dei neutroni e di dinamica dei nuclei con reazioni di particelle leggere, accessibili a gruppi provenienti da sedi diverse come Napoli, Firenze, Bologna, Trieste.

L’impresa di Legnaro fu possibile anche grazie alla conversione di un certo numero di valenti fisici, convinti da Rostagni a dedicarsi alla fisica nucleare (per esempio I. Filosofo, U. Fasoli, G. Zago, F. Pellegrini, C. Manduchi, G. Nardelli, G. Torielli, cui si aggiunsero teorici come V. Vanzani, T. Minelli, F. Zardi, A. Pascolini, A. Vitturi, G. Pisent, proveniente da Trieste, V. Manfredi, proveniente da Napoli, F. Bortignon) nonché

alla istituzione della cattedra di Fisica Nucleare cui fu chiamato C. Villi e alla mia chiamata (da Firenze, dove ero approdato come vincitore di cattedra da Napoli) per portarmi alla direzione dei LNL. Anche lo staff di ingegneri e tecnici era di alto rilievo (cito ad esempio P. Kusstatcher, F. Cervellera, I. Scotoni, G. Galeazzi, B. Tiveron, E. Maccato, L. Donà, G. Bassato, A. Zanon), tale da garantire un supporto tecnico indispensabile alle future installazioni e innovazioni.² A titolo di esempio, in Fig. 5 sono mostrati la colonna e le linee di fascio dell'acceleratore CN (già potenziato a 7 MV). È importante rilevare come presso i Laboratori Nazionali di Legnaro anche la fisica interdisciplinare abbia avuto una sua rilevante evoluzione con l'utilizzo a pieno regime dell'acceleratore Van de Graaf AN2000 (2 MV), oltreché dell'acceleratore CN, con risultati importanti in Radiobiologia, Analisi di fascio, Astrofisica Nucleare, Fisica dei Neutroni, Danni da Radiazione, Microanalisi, Archeologia e Beni Culturali con il metodo PIXE (G. Moschini, P. Mazzoldi, P. Mittner, G. Della Mea, P. Colautti, R. Cherubini, V. Rigato, D. Zafirooulos).



Analogamente, a Catania R. Ricamo mediante l'acquisto di un acceleratore Van de Graaf da 2.5 MV, da parte del Centro Siciliano di Fisica Nucleare, aveva sviluppato una consistente attività di misure di sezioni d'urto nucleari, con reazioni da protoni, deutoni e neutroni insieme con le attività che aveva esportato al Betatrone di Torino. Ciò fu possibile, ed era pertanto acquisito, come garanzia per gli sviluppi futuri da una schiera di ricercatori sperimentali e teorici, già dediti alla fisica nucleare (citerò anche se in modo non esaustivo, includendo i ricercatori della sezione di Catania: C. Milone, A.

² Più in generale, includendo le attività interdisciplinari e tecnologiche e il contributo della sezione di Padova, è da citare la serie di ricercatori: C. Signorini, M. Morando, A. Stefanini, G. Fortuna, G. Visti, L. Vannucci, F. Gramegna, G. De Angelis, E. Fioretto, G. Corradi, S. Lunardi, P. Boccaccio, U. Gastaldi, P. Spolaore, A. M. Porcellato, M. De Poli, G. Maron, R. Bisoffi, M. Cavenago, M. Lombardi, A. Lombardi, G. Prete, R. Pengo, D. R. Napoli, A. Dainelli, che dettero un contributo essenziale alle future attività a partire dall'installazione del Tandem per ioni pesanti.

Agodi, A. Rubbino (direttore del Centro Siciliano Fisica Nucleare e Struttura della Materia), P. Figuera, V. Emma, G. Calvi, A. Cunsolo, E. Migneco, D. Vinciguerra, G. Pappalardo, R. Potenza, G. Raciti, S. Sambataro, C. Spitaleri, M. Lattuada, S. Lo Nigro, P. Cuzzocrea (poi destinato a Napoli), S. Notarrigo, M. Di Toro, F. Catara, F. Porto, A. Pagano, S. Pirrone, S. Romano, G. Cuttone, L. Calabretta).

L'evoluzione della Fisica Nucleare catanese ebbe il suo sbocco nell'acquisizione del secondo acceleratore Tandem italiano (seconda *facility* per la Fisica degli Ioni Pesanti) che portò nel seguito alla costituzione dei Laboratori Nazionali del Sud (Lattuada 2012) (Pagano 2012).

La situazione, come si presentava negli anni '50 - '60, è riportata in Tab. 1.

DA	ATTIVITA' LOCALI (~ Università')
	(TORINO, MILANO, PADOVA, TRIESTE, ROMA, CATANIA reazioni nucleari, proprietà nucleari da decadimenti radioattivi, processi di fissione.....)
A	ESPERIMENTI CON FACILITIES DEDICATE
TORINO:	BETATRONE (e) Acc. E.S. CW 300 kV → n 14 MeV σ Fotoreazioni, reazioni, scattering + SINCROTRONE: fotodisintegrazioni assorbimento fotonico (~RG)
TRIESTE:	Acc. E.S. CW 600 kV → n 14 MeV reazioni n, ...p... n. scattering
CATANIA:	V.d.G. (p; d) → 2 MeV fissioni da n, d, ³ He trasf.
MILANO:	CICLOTRONE 2xFoc 20-40 MeV p reazioni, scattering nuclei leggeri p, α p→fissione, nucleo composto
CISE:	V.d.G. 3,5 MV → Tandem 8 MV struttura nucleare, reazioni
NAPOLI:	V.d.G. 400 kV(d,t) → 14 MeV.n Start: SPETTROSCOPIA NUCLEARE (+ FIRENZE)
LNL/PADOVA:	V.d.G. 5.5 MV reazioni p,d, ³ He (+ SSC. FHA) + struttura (p,n), (p,γ) 400 kV (n puls.)
Tab. 1. Tabella riassuntiva della situazione e della dotazione strumentale di Fisica Nucleare in Italia negli anni 1950-1960. Nel caso dei LNL, il termine SSC del Laboratorio di Fisica Nucleare Applicata indica Struttura Sottocritica, un impianto poco utilizzato e poi dismesso.	

Il punto di svolta essenziale fu ovviamente la costituzione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) nel 1951 (nel 2021 ne celebriamo il 70mo anniversario) per iniziativa di E. Amaldi e G. Bernardini sotto l'egida del CNR e con la partecipazione di Milano (G. Bolla), Torino (G. Wataghin) e Padova (A. Rostagni).

Ciò portava a superare una posizione ancora difficile per «mancanza di larghi spazi e adeguati finanziamenti», come ebbe a dire G. Salvini nella sua relazione sull'attività di ricerca dell'INFN dal 1966 al 1969, alla fine del suo mandato di Presidente (Salvini 1971), e quindi non in condizione di competere vista la necessità di macchine acceleratrici a livello internazionale.

Furono comunque gli anni '60 quelli che videro un primo vero sviluppo della Fisica Nucleare fondamentale intesa come studio teorico e sperimentale della struttura e della dinamica dei nuclei atomici. In particolare, si svilupparono ricerche con reazioni nucleari e diffusione elastica e inelastica tramite particelle leggere (p , n , d , ^3He).

Poiché nel frattempo la locale Sottosezione INFN di Trieste fu dotata nel 1959 di un Cockroft-Walton da 200 keV, e di lì a poco altre sedi (Firenze, Bologna, Genova, Palermo) si dotavano di acceleratori o comunque si ingaggiavano in ricerche tipicamente di fisica nucleare nell'ambito INFN, ciò segnò il punto di partenza della riorganizzazione a livello nazionale di tali attività. Inoltre, negli anni '60 fu realizzato presso i Laboratori Nazionali di Frascati un fascio di fotoni monocromatici da 65-300 MeV mediante l'annichilazione in volo dei protoni del LINAC con produzione di intensità elevate di elettroni e positoni (Laboratorio LEALE: Laboratorio Esperimenti Acceleratore Lineare Elettroni, C. Schaerf, R. Scrimaglio. Sono da ricordare anche: A. Reale e il Gruppo della Sanità (Amaldi 1966)). Le ricerche alle energie intermedie si estendevano, così come al Sincrotrone di Torino, al di sopra della risonanza gigante e al di sotto della soglia pionica. Ciò permetteva studi già intrapresi anche all'acceleratore lineare di Orsay (fotodisintegrazione di nuclei leggeri, assorbimento fotonico nella regione della risonanza gigante). In Fig. 6 sono riportate le foto dell'apparato LEALE e dell'Elettrosincrotrone di Torino.



Per far fronte ai finanziamenti necessari, il Consiglio Direttivo dell'INFN (Villi 1976) stipulò un contratto di associazione EURATOM/CNEN-INFN (dicembre 1961). Il Contratto fu rinnovato fino al dicembre 1967 e nacque «come un espediente» che, tuttavia creò altri problemi, dati i vincoli sull'attività di ricerca tipicamente applicativa dell'EURATOM, e la posizione «ancillare» (Rapporto CNEN-EURATOM 1966) dei

fisici nucleari rispetto ai colleghi della fisica delle particelle. L'impasse fu poi superata negli anni '70, come vedremo.

Si distinguevano grosso modo i due indirizzi che caratterizzarono poi negli anni seguenti la Fisica dei Nuclei in Italia:

- Studio della dinamica dei nuclei, processi di diffusione, fissione, fotoreazioni
- Studio della struttura nucleare (Spettroscopia Nucleare): proprietà della materia nucleare, modelli nucleari.

Il primo ebbe la sua massima espressione a Torino, Milano, Genova, Catania, Frascati, il secondo a Napoli, Firenze, Padova (con Trieste e Bologna), Legnaro. Ai ricercatori legati al contratto, si aggiunsero poi numerosi altri che hanno contribuito a infoltire l'attuale forza culturale della fisica nucleare italiana in campo sia sperimentale che teorico.

I casi di Napoli e di Firenze vanno comunque evidenziati perché entrano nel novero delle estese attività facenti capo ai Laboratori di Legnaro e del Sud. Si deve a Eduardo Caianiello l'aver allargato il campo d'azione della sede napoletana, a partire dalla Scuola di perfezionamento in Fisica Teorica e Nucleare, dalle ricerche teoriche alla parte sperimentale dapprima con la chiamata di Giulio Cortini alla cattedra di Fisica Superiore e, poi, in accordo con quest'ultimo, con il trasferimento mio da Torino con il compito di creare un laboratorio di Fisica Nucleare, forte della mia esperienza ad Amsterdam. Di qui la fondazione della Spettroscopia Nucleare in Italia e l'avvio di una notevole attività in tale campo, estesasi poi a Firenze e a Padova-Legnaro (Rapporto CNEN-EURATOM 1966) (Amaldi 1963).³ Dopo la costituzione di un primo gruppo (R.A. Ricci, G. Chilosi, proveniente su mia proposta da Torino, G.B. Vingiani, R. Speranza), attivatosi in misure di spettrometria gamma a scintillazione e l'acquisto di un acceleratore Van de Graaf da 400 keV, altri si aggiunsero (M. Drosi, S. Monaro, P. Cuzzocrea, P. Perillo, S. Notarri-go) e iniziò una consistente serie di ricerche sulla struttura e sulle reazioni nucleari, sia sperimentale che teorica (A. Covello, G. Sartoris, G. Varcaccio, E. Galzenati), che avrebbe dato presto i suoi frutti a parte una stasi nel 1966-67 dovuta alla mia partenza e alla morte prematura di G. Chilosi. Fu Cuzzocrea a ricucire le fila del gruppo e con l'avvento di forze nuove (R. Moro, P.G. Pelfer, F. Terrasi, A. Brondi, M. Sandoli, G. Inghima, G. Spadaccini) e l'acquisizione di un acceleratore TANDEM TT3 da 3 MV, utilizzato per misure di datazione e astrofisica nucleare, l'attività riprese appieno in entrambi i settori indirizzandosi verso i LNL (La Rana *et al.* 2019) (Ricci 2019) (vedi gruppi Sandoli e La Rana) e in seguito anche al CERN (ALICE).

A Firenze, in quegli anni era già presente sotto la guida di Manlio Mandò un gruppo attivo (P. Blasi, P.G. Bizzeti, P. Maurenzig, P. Sona, N. Taccetti, M. Bocciolini, A. Giannatiempo, T. Fazzini,) che attendeva una spinta nell'ambito dell'evoluzione delle ricerche di fisica nucleare. Ciò avvenne con la mia chiamata, come vincitore di cattedra, nel 1966 (da parte di S. Franchetti e M. Mandò) dato che una certa collaborazione con il

³ Vedere questa seconda referenza in particolare per la descrizione delle attività di fisica nucleare di bassa energia (Napoli, Padova, Firenze).

gruppo di Napoli era già avviata, proprio nel momento in cui la tecnica della spettrometria gamma a scintillazione stava per essere superata dai contatori a stato solido (Germanio), in cui il gruppo fiorentino dimostrava di avere già una certa esperienza. Il gruppo di Firenze fu del resto molto attivo sia nella fase d'impegno per l'installazione dell'acceleratore Tandem a Legnaro sia nella campagna di misure per la spettroscopia dei nuclei $f 7/2$ a Legnaro e a Monaco di Baviera – collaborazione con il gruppo di H. Morinaga (La Rana *et al.* 2019) (Ricci 2019) – che hanno contribuito (Blasi *et al.* 2008) (Amaldi 1963) alla posizione di rilievo assunta in campo internazionale dalle ricerche di spettroscopia nucleare in Italia. Nel seguito la Sezione di Firenze costituì un laboratorio (LABEC) per tecniche nucleari applicate ai beni culturali, con un acceleratore di tipo TANDETRON utilizzabile sia per misure di datazione che per analisi con fasci ionici (gruppo P.A. Mandò).

Con il contratto EURATOM le sedi che ne usufruirono si distinsero comunque per attività diversificate e certamente non solo applicative (vedasi rassegna nel rapporto EURATOM pubblicato nel 1966 (Rapporto CNEN-EURATOM 1966) e riferito alle ricerche effettuate nel periodo 1961-1963).

L'attività di ricerca si era sostanzialmente attestata su due filoni principali:

- nel campo della **dinamica nucleare** (meccanismi di formazione di nucleo composto, fluttuazioni statistiche, fissione indotta da protoni, neutroni e fotoni, polarizzazione nucleare, stati di equilibrio e pre-equilibrio, ecc.), cui si aggiunsero gli studi del settore più specificatamente delle energie intermedie (fotodisintegrazione di nuclei leggeri, gradi di libertà subnucleari, ecc.) intrapresi poi nelle ricerche al CERN e ai grandi acceleratori americani (ad esempio CEBAF).
- nel campo della **struttura nucleare**, dopo le prime ricerche sui decadimenti radioattivi condotte in collaborazione con Amsterdam e Orsay e poi con Monaco (gruppi di Napoli e di Firenze) con risultati già significativi (spettroscopia dei nuclei di massa media), si ebbero le numerose attività presso i Laboratori Nazionali di Legnaro (1968 in poi), per esempio la spettroscopia dei nuclei $f 7/2$, le risonanze isobariche analoghe, processi dissipativi e quasi molecolari, con estese collaborazioni in Francia, Germania, Olanda, USA, Croazia. I gruppi italiani coinvolti, oltre Padova, Firenze, Napoli, erano Trieste (G. Poiani, R. Giacomich, F. De Manins, U. Abbondanno), Bologna (G. Vannini, I. Massa, E. Verondini, E. Fuschini, F. Malaguti, G.C. Bonsignori, A. Uguzzoni e il gruppo di fisica muonica diretto da A. Bertin e A. Vitale), Bari (A. Pantaleo, G. D'Erasmus, L. Fiore) e Lecce (R. Anni).

Rilevanti, inoltre, i risultati sulla caratterizzazione degli stati di modello *a shell* mediante reazioni ($e, e'p$) del gruppo della Sanità all'elettrosincrotrone di Frascati e ($p, 2p$) della collaborazione Napoli-Orsay (Amaldi *et al.* 1966) (Ruhla *et al.* 1967).

5. Gli anni della seconda svolta. La fisica nucleare negli anni '70-'80

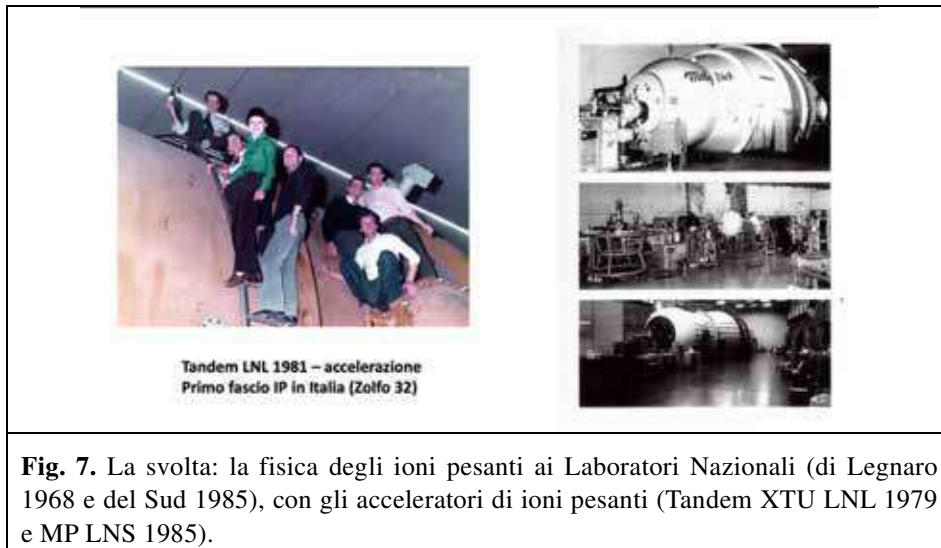
Tutto ciò costituiva le premesse per l'imponente sviluppo che avrebbe avuto la Fisica Nucleare italiana a partire dagli anni '80. Una rassegna abbastanza esaustiva era stata presentata nel Convegno INFN tenutosi a Frascati nel novembre 1972 in cui, nella sessione di fisica nucleare, si tennero le seguenti relazioni: *Ricerche e risultati sperimentali nel campo della fisica dei nuclei a bassa energia* (Ricci 1973); *Ricerche di fisica nucleare a energie medie e alte* (Costa 1972); *Analisi dei mezzi tecnici e finanziari dell'INFN e prospettive future per la fisica dei nuclei* (Tagliaferri 1973).

Con la partenza del Piano Quinquennale INFN 1974-78, che faceva seguito al Piano 1965-69, delineato dalla Commissione Salvini istituita nel corso di una grande assise della SIF (Società Italiana di Fisica), organizzata da G. Bernardini, che ne era Presidente, veniva dato l'avvio delle "torri" di Fisica del Nucleo (Laboratori Nazionali di Fisica Nucleare) ai fini di «risolvere in modo decisivo le ricerche nel campo della Fisica dei Nuclei», predisponendo, almeno da subito, «i programmi per l'installazione presso i Laboratori di Legnaro di un acceleratore Tandem». Con l'inizio del Piano Quinquennale dell'INFN e la chiusura definitiva del contratto EURATOM-CNEN (1966), le attività di Fisica Nucleare riprendevano cittadinanza completa (Gruppo III) e si svilupparono a pieno ritmo con i Laboratori Nazionali e le grandi collaborazioni internazionali (CERN in primis), avvicinando inoltre le proprie tematiche alla frontiera della fisica delle interazioni fondamentali (esempio attuale sono l'esperimento ALICE e le collisioni fra ioni pesanti relativistici per il deconfinamento del plasma di quark e gluoni).

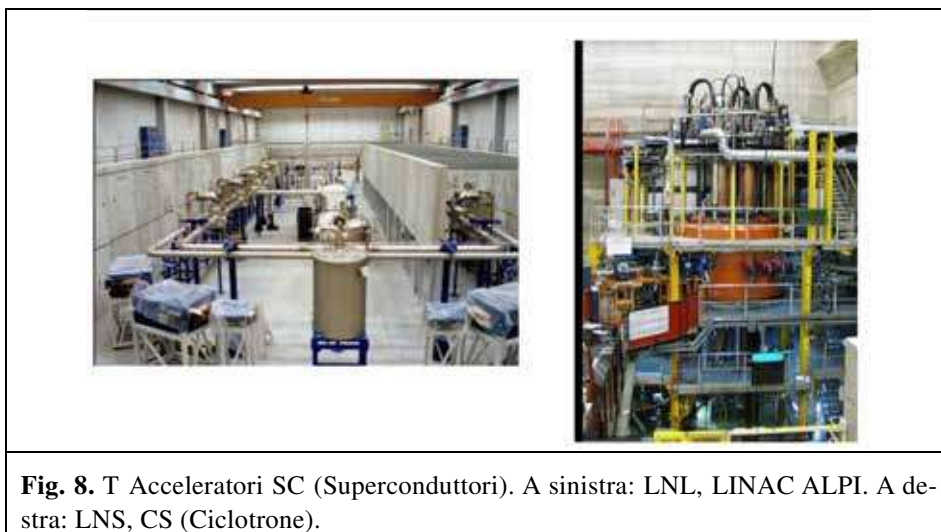
Per la parte teorica hanno certamente fatto scuola: A. Molinari a Torino, R.A. Broglia a Milano, A. Vitturi a Padova (senza dimenticare G. Pisent), A. Covello a Napoli, A. Agodi a Catania e la serie dei numerosi teorici già menzionati. Inoltre merita ricordare il contributo di competenze e prestigio di ricercatori italiani operanti all'estero, in particolare F. Iachello (Yale University) e L. Moretto (Berkeley).

L'effettiva seconda svolta della Fisica Nucleare italiana si concretizzò con l'avvento dell'acceleratore Tandem XTU HVE da 16 MV, installato a Legnaro nel 1979 e reso operativo con l'accelerazione del primo fascio di ioni pesanti in Italia nel 1981 (vedi Fig. 7).

Sono rappresentati nella stessa figura, oltre al Tandem di Legnaro (denominato *Moby Dick*, a raffigurare la caccia alla balena bianca del romanzo di H. Melville), l'acceleratore Tandem MP HVEC da 13 MV, installato ai Laboratori Nazionali del Sud. I due Laboratori, diventati Laboratori Nazionali, il primo nel 1968, il secondo nel 1976, a seguito di apposite Convenzioni con le Università di Padova e Catania, dettero subito luogo ad una rilevante impronta internazionale della Fisica Nucleare italiana, dotata di un'arma potente nell'indagine nucleare quale i fasci di ioni pesanti (Migneco *et al.* 1990) (Stefanini *et al.* 1995).



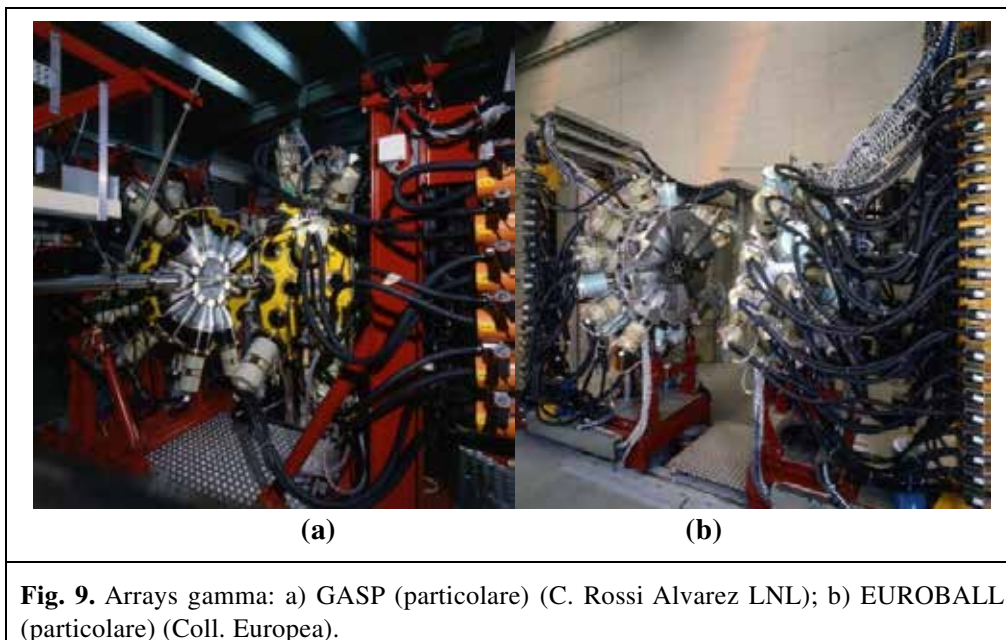
Negli anni '90 i Laboratori Nazionali del Sud si dotavano, accoppiandolo al Tandem, di un Ciclotrone Superconduttore ideato e costruito a Milano da F. Resmini (Resmini *et al.* 1979) (Acerbi *et al.* 1981). A Legnaro,⁴ invece, venne direttamente costruito sempre negli anni '90, un acceleratore lineare di tipo superconduttivo (ALPI, Acceleratore Lineare Per Ioni), pur esso accoppiato al Tandem (vedi Fig. 8).



Poiché contemporaneamente un grande sviluppo ebbero le tecniche di rivelazione, con sistemi (*array*) per la spettrometria gamma costituiti di molteplici rivelatori e di elevata precisione e risoluzione, nonché avanzati spettrometri, camere a diffusione e rivelatori di particelle cariche innovativi, i due Laboratori entravano a tutto titolo nel novero delle

⁴ Alla direzione dei LNL si sono avvicinati dopo di me, P. Blasi, C. Signorini, P. Dal Piaz, M. Nigro, G. Fortuna, G. Puglierin, G. Fiorentini, G. Bettoni e, attualmente, Fabiana Gramegna. A quella dei LNS: E. Migneco, G. Pappalardo, D. Vinciguerra, S. Sambataro, M. Lattuada, G. Cuttone e, attualmente, S. Gammino.

facilities internazionali di Fisica dei Nuclei. In Fig. 9 sono riportati, a titolo di esempio, i multi-rivelatori gamma GASP (costruito interamente a Legnaro) e EUROBALL, risultato di una collaborazione europea e utilizzato anche a Legnaro.



In Fig. 10 è riportato il rivelatore CHIMERA dei Laboratori del Sud, un multirivelatore 4π dotato di rivelatori a Silicio (particelle cariche) e di un rivelatore a scintillazione CsI(Tl) per neutroni e gamma.



Di qui gli ulteriori sviluppi che non necessitano maggiori dettagli e spiegazioni. I rapporti attuali della Commissione III dell'INFN fanno testo.⁵

In Fig.11 sono riportati gli elementi portanti degli sviluppi futuri dei LNL (SPES e AGATA) e dei LNS (potenziamento del CS) con particolare riguardo alla nuova frontiera dei fasci radioattivi.

INFN CSN3 **NUCLEAR STRUCTURE AND REACTION MECHANISM**

AGATA - GAMMA @ LNL SPES

Investigating the nuclear structure far from the stability, mainly by means of gamma-ray spectroscopy of exotic nuclei produced in nuclear reactions with stable and radioactive ion beams.

Of relevance, the Advanced Gamma Tracking Arrays – AGATA detector will be upgraded from the present 20 triple Ge detectors → to 60 (4π coverage) by 2035

Data Taking at LNL in 2022-2025

NUMEN @ LNS POTLNS cyclotron upgrade (by 2023)

Use of nuclear reactions (Double Charge Exchange reactions) to measure in the laboratory the same nuclear transition occurring in Double Beta decay $0\nu\beta\beta$

Start run at LNS in 2024

Mognex Spectrometer

Fig. 11. Esempificazione degli sviluppi futuri ai LNL e LNS (cfr. Commissione Scientifica Nazionale III INFN).

Presso i Laboratori di Frascati, l'attuale *facility* è costituita da DAFNE (Fig. 12), collisionatore elettroni-positroni con energia nel centro di massa di 1.02 GeV, che è stata utilizzata anche per esperimenti di Fisica Ipernucleare.

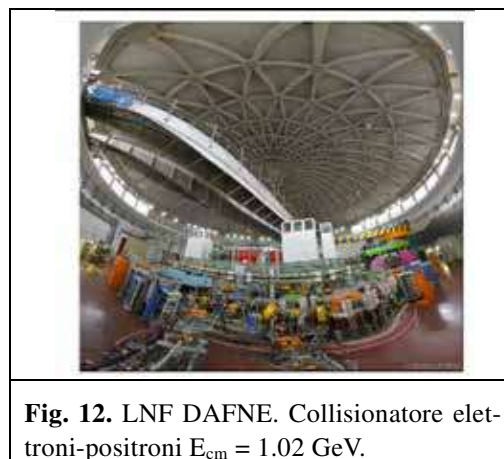


Fig. 12. LNF DAFNE. Collisionatore elettroni-positroni $E_{cm} = 1.02$ GeV.

⁵ R. Nania, comunicazione privata con l'autore, email del 16 Agosto 2021.

In particolare, l'esperimento FINUDA (FISica NUcleare a DAFNE), mostrato in Fig. 13, studia l'interazione forte mediante la tecnica degli ipernuclei: gli ipernuclei lambda, ad esempio, vengono prodotti attraverso il meccanismo $K^- n \rightarrow \Lambda \pi^-$ in cui un nucleone viene sostituito da una particella lambda.



Fig. 13. Esperimento FINUDA (Fisica Ipernucleare, gruppo T. Bressani), installato presso il collisionatore DAFNE dei LNF.

Presso i Laboratori del Gran Sasso si sono sviluppati e perfezionati gli studi su problemi di astrofisica nucleare. In particolare, l'esperimento LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics, (Fig. 14) si occupa di riprodurre in laboratorio le reazioni nucleari che generano la maggior parte dell'energia prodotta dalle stelle, permettendo la sintesi degli elementi.



Fig. 14. L'esperimento LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) ai Laboratori Nazionali INFN del Gran Sasso.

Trattandosi di sezioni d'urto molto piccole, l'esperimento è condotto in un laboratorio sotterraneo per poter captare i deboli segnali attesi.

6. Gli anni 2000 e oltre: terza svolta – la Fisica Nucleare italiana al CERN

Quanto esposto finora rende chiara l'evoluzione della Fisica Nucleare in Italia. E non ha bisogno di ulteriori illustrazioni. Basta riferirsi al programma chiaramente indicato dalla Commissione III dell'INFN⁶ che si basa sostanzialmente sulle indicazioni del "Long Range Plan" del NuPECC: vale comunque la pena di rilevare che anche nel settore delle energie intermedie, dalle prime e sporadiche partecipazioni di piccoli gruppi (esempio Trieste, gruppo Cernigoi), si è passati a importanti esperimenti al CERN. Rilevante la partecipazione, decisa a livello nazionale, di gruppi italiani ad esperimenti presso LEAR (Low Energy Antiproton Ring) per l'utilizzo di fasci di antiprotoni (e antineutroni) in reazioni antinucleone – nucleo, con particolare riguardo agli effetti di isospin e alla produzione di particelle strane con l'apparato OBELIX (Fig. 15). La collaborazione OBELIX ha interessato le sedi INFN di Frascati, Torino, Bologna, Pavia, Padova, Legnaro, Cagliari, Trieste, in collaborazione con Dubna (Russia). Tra i ricercatori impegnati: C. Guaraldo, T. Bressani, A. Bertin, A. Vitale, N. Semprini-Cesari, A. Zoccoli, R.A. Ricci, P. Boccaccio, C.C. Bonazzola, L. Busso, S. Costa, A. Ferrero, R. Garfagnini, U. Gastaldi, E. Lodi Rizzini, G. Maron, I. Massa, B. Minetti, M. Morando, G. Pauli, M. Piccinini, G. Piragino, M. Poli, G. B. Pontecorvo, A. Rotondi, M. G. Sapozhnikov, S. Serci, F. Tosello, L. Vannucci, G. Vedovato, G. Zavattini, A. Zenoni.

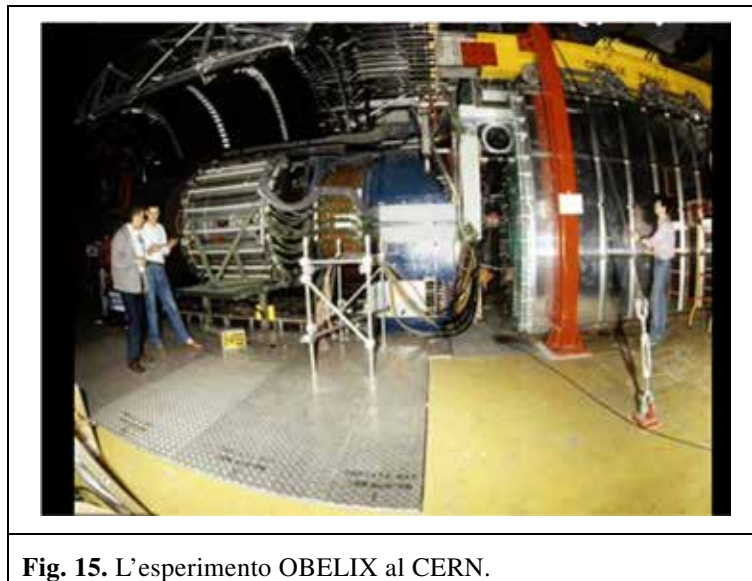


Fig. 15. L'esperimento OBELIX al CERN.

L'altra importante spedizione della Fisica Nucleare italiana al CERN riguarda i primi esperimenti di approssimazione ai processi di deconfinamento del plasma di quark-gluoni, con ioni pesanti relativistici all'SPS (esperimenti NA57 e WA97), che hanno aperto la strada alla grande collaborazione ALICE (A Large Ion Collider Experiment) ad LHC in esperimenti di collisione tra ioni pesanti ad altissime energie dell'ordine del TeV (ad esempio Piombo su Piombo), con lo scopo primario dello studio del plasma di

⁶ R. Nania, comunicazione privata con l'autore, email del 16 Agosto 2021.

quark-gluoni, ma anche con risultati collaterali rilevanti quali la produzione di antinuclei e anti-ipernuclei e misure di estrema precisione di CPT. In Fig. 16 è riportata un'immagine frontale dell'apparato installato sulla linea di fascio. Il fatto che i Responsabili Internazionali della collaborazione siano stati recentemente tutti italiani (ad esempio P. Giubellino, F. Antinori, L. Mesa), dimostra l'importanza del contributo italiano a tale impresa.

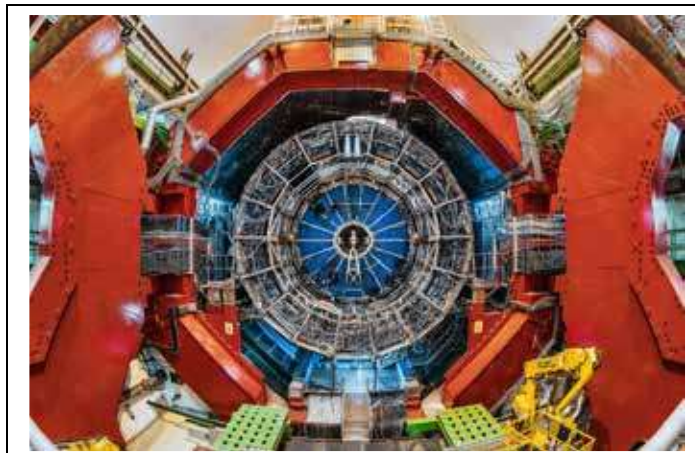


Fig. 16. L'esperimento ALICE al CERN LHC (transizioni di fase nella materia adronica)⁷.

7. Conclusioni

Non ci sono particolari conclusioni da trarre se non che l'evoluzione qui illustrata per sommi capi ha portato alla importante situazione attuale, che non ha bisogno di essere più a lungo descritta, tanto è evidente e vissuta. È da augurarsi che tanto presente sia foriero di un altrettanto importante futuro. A me personalmente, che ne sono stato in parte protagonista in parte testimone e ormai ne sono solo spettatore, non resta che ringraziare gli organizzatori e la SISFA per il cortese invito (in particolare, per l'attenzione ricevuta da Adele La Rana e Angelo Pagano).

Mi resta da scusarmi per le lacune e le eventuali dimenticanze che sono inevitabili nel condensare e restare nei limiti di tempo e di spazio richiesti (pur avendo io certamente ecceduto), in particolare per ciò che riguarda le persone, anche se in ogni caso sono presenti nei fatti e negli accadimenti. Non mi è rimasto spazio per parlare se non per cenni del contributo della parte teorica ed applicativa. Chiedo venia e spero che altri possano farlo certamente meglio di me.

Mi preme però dedicare questo lavoro ai 70 anni dell'INFN e ai 60 dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

⁷ Sedi interessate: Bari, Bologna, Cagliari, Catania, LNF, LNL, Padova, Pavia, Roma1, Salerno, Torino, Trieste. *Spokespersons* degli ultimi anni: P. Giubellino, E. Antinori, L. Musa.

Bibliografia

- Acerbi E., Aghion F., Baccaglioni G., Bellomo G., Birattari C., Castiglioni M., De Martinis C., Fabrici E., Pagani C., Resmini F., Salomone A., Varisco G. (1981). “The Milan superconducting cyclotron project”. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, NS-28 (3), pp. 2095-2097.
- Amaldi E. (1963). “L’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare”. *Notiziario CNEN*, 9 (1), pp. 4-27.
- Amaldi E. (1979). “Gli anni della ricostruzione”. *Il Giornale di Fisica*, 20 (3), pp. 186-232.
- Amaldi E., Bocciarelli D., Rasetti F., Trabacchi G.C. (1939). “Generatore di neutroni da 1000 kV”. *La Ricerca Scientifica*, 10, pp. 623-632.
- Amaldi U., Campos Venuti G., Cortellessa G., De Sanctis E., Frullani S., Lombardo R., Salvadori P. (1966). “The (e,e’p) reaction in calcium induced by 580–750 MeV electrons”. *Physics Letters*, 22, pp. 593-595.
- Blasi P. (2008). *Renato Angelo Ricci e il periodo fiorentino*, in Gramegna F., Cinausero M., Fabris D. (eds.), *The Nuclear Physics from the f7/2 nuclei to Quark-Gluon-Plasma: Workshop in honor of the 80th birthday of Renato A. Ricci* (Legnaro-Padova, May 17-18, 2007). Italian Physical Society Proceedings, Vol.96. Bologna: SIF. Vedere anche referenze ivi citate.
- Bromley A. (1984). *Nuclear Physics: Challenges and Opportunities*, in Blasi P., Ricci R. A. (eds.), *Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics* (Florence, August 29-September 3, 1983). Bologna: Tipografia Compositori, pp. 3-44.
- Costa S. (1972). *Ricerche di fisica nucleare a energie medie e alte*, in *Relazioni presentate al Convegno Scientifico dell’INFN* (Frascati, 21-22 Novembre, 1972). Nota interna dei LNF, Dicembre 1973.
- European Science Foundation (1984). *NUCLEAR PHYSICS IN EUROPE, Present State and Outlook: a report of the Working Group on Nuclear Physics of the European Science Foundation*, pp. 1-129.
- European Science Foundation (2017). *NuPECC Long Range Plan 2017. Perspectives in Nuclear Physics*. ELI-NP, pp. 1-235.
- La Rana G., Ambrosio M., Barbarino G., Campana D., De Pasquale S., D’Ettore Piazzoli B., Esposito G., Fiorillo G., Gialanella G., Marmo G., Mastroserio, Masullo M.R., Merola L., Napolitano M., Osteria G., Paolucci P., Perillo E., Ricci R.A., Strolin P.E., Vilasi G. (2019). *INFN Napoli. Ricordi e immagini di 50 anni di storia dal 1963 al 2013*. Napoli: Satura Editrice.
- Lattuada M. (2012). “The INFN Laboratori Nazionali del Sud”. *Nuclear Physics News*, 22 (1), pp. 5-12.
- Migneco E., Dal Piaz P., Ricci R.A. (1990). “Heavy-ion Physics in Italy”. *Nuclear Physics News*, 1 (2), pp.12-15.
- Pagano A. (2012). “Studies of Nuclear Reactions and Time Scale with the 4 π Detector CHIMERA”. *Nuclear Physics News*, 22 (1), pp. 28-33.
- Rapporto CNEN-EURATOM (1966). *EUR 2465-I: Ricerche sulla Fisica dei Nuclei. Lavori svolti nel triennio 1961-1963 dall’INFN*. Associazione N. 002-63-11 MPAI.

- Resmini F., Bellomo G., Fabrici E., Blosser H.G., Johnson D. (1979). "Design characteristics of the K = 800 superconducting cyclotron at M.S.U.". *IEEE Transactions on Nuclear Science*, NS-26 (2), pp. 2078-2085.
- Ricci R.A. (1973). *Ricerche e risultati sperimentali nel campo della fisica dei nuclei a bassa energia*, in *Relazioni presentate al Convegno Scientifico dell'INFN* (Frascati, 21-22 Novembre, 1972). Nota interna dei LNF, Dicembre 1973.
- Ricci R.A. (1993). *Nuclear Physics at the Fermi Time and today*, in *Atti dei Convegni Lincei 104. Symposium dedicated to Enrico Fermi on the occasion of the 50th anniversary of the first reactor* (Rome, December 10, 1992). Roma: Bardi Edizioni.
- Ricci R.A. (2017). "L'evoluzione della Spettroscopia Nucleare in Italia dal 1950 agli anni 2000". *Quaderni di Storia della Fisica*, 19, pp. 93-135.
- Ricci R.A. (2019). *65 years with Nuclear Physics*, in Gramegna F., Van Duppen P., Vitturi A., Pirrone S. (eds.), *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"*, Vol. 201. Amsterdam: IOS Press, pp. 401-448.
- Ricci R.A., Trivero G. (1955). "Revision of the β -ray spectrum of $^{83214}\text{Bi}(\text{RaC})$ ". *Il Nuovo Cimento*, 1 (4), pp. 717-721.
- Rostagni A., Kusstatscher P., Paolucci A. (1962). "I Laboratori dell'Acceleratore da 5,5 MeV dell'Università di Padova". *Notiziario CNEN*, 12.
- Rostagni A., Villi C. (1967). *I Laboratori di Legnaro* (Nota interna). Università di Padova-Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.
- Ruhla C., Arditi M., Doubre H., Jacmart J.C., Liu J.C., Ricci R.A., Riou M., Roynette J.C. (1967). "Réactions (p, 2p) À 156 MeV: (I). Noyaux de Z=20 à Z=28". *Nucl. Phys. A*, 95, pp. 526-544.
- Salvini G. (1971). *L'attività di ricerca dell'INFN dal 1966 al 1969*. Relazione del 3 marzo 1971 al Consiglio Direttivo dell'INFN.
- Stefanini A.M., Fortuna G., Lunardi S., Ricci R.A. (1995). "The Laboratori Nazionali di Legnaro". *Nuclear Physics News*, 5 (2), pp. 9-22.
- Tagliaferri G. (1973). *Analisi dei mezzi tecnici e finanziari dell'INFN e prospettive future per la fisica dei nuclei*, in *Relazioni presentate al Convegno Scientifico dell'INFN* (Frascati, 21-22 Novembre, 1972). Nota interna dei LNF, Dicembre 1973.
- Tagliaferri G. (1995). *Le scienze esatte all'Università di Milano*, in AA.VV., *Storia di Milano*, Vol. 18. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana, p. 659.
- Villi C. (1976). *La fisica nucleare fondamentale in Italia. Relazione sul complesso dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare nel Periodo 1970-1975* (in occasione del XXX Anniversario INFN - Roma 1975). Padova: CLEUP.
- Weisskopf V.F. (1969). *The relevance of nuclear physics*, in *Future of Nuclear Structure Studies. Proceedings of a panel on the future of nuclear structure studies* (Dubna, July 1-3, 1968). Panel Proceedings Series. Vienna: IAEA, pp. 3-7.

La genealogia accademica di Enrico Fermi

Paolo Rossi - Dipartimento di Fisica, Università di Pisa - paolo.rossi@unipi.it

Adele La Rana - Dipartimento di Informatica, Università di Verona - adele.larana@roma1.infn.it

Abstract: The history and main scientific features of the three main schools of physics operating in Italian Universities (Pisa, Rome and Turin) in the XIX century are briefly sketched, showing the role played by the local masters (Felici, Blaserna and Naccari) and by their most important students (Roiti, Bartoli and Stracciati, Macaluso and Corbino, Battelli and Puccianti). The different contributions given by all these teachers to the scientific formation of Enrico Fermi are discussed

Keywords: Scuola di Pisa, Scuola di Roma, Scuola di Torino, Enrico Fermi

1. La scuola di Pisa

La scuola pisana di fisica nasce nel 1840, quando il granduca Leopoldo fa chiamare Ottaviano Fabrizio Mossotti (1791-1863) sulla cattedra di Fisica matematica e Carlo Matteucci (1811-1868) sulla cattedra di Fisica sperimentale. La prima iniziativa di Matteucci fu l'edificazione dell'Istituto di Fisica, il primo in Italia, completato nel 1844. Ma il momento topico nella nascita della scuola è il 1848, quando Mossotti, Matteucci, Felici e Betti partecipano alla spedizione che culminerà nella battaglia di Curtatone e cementano un sodalizio che va ben al di là dei comuni interessi scientifici.

Riccardo Felici (1819-1902) è il primo e più maturo frutto della scuola. Allievo in pari grado di Matteucci (di cui eredita la cattedra nel 1859) e di Mossotti, sviluppa una visione della ricerca in fisica in cui gli aspetti teorici si coniugano a quelli sperimentali, e obiettivo del fisico non è soltanto la raccolta di dati sempre più accurati ma anche la loro modellazione matematica, alla ricerca di "leggi" che abbiano carattere di generalità e potere predittivo, recuperando in tal modo l'originaria lezione galileiana, spesso smarrita nell'empirismo dei contemporanei. Il suo "capolavoro" è la teoria matematica dell'induzione elettromagnetica, che, fondata su solida base sperimentale, supera i limiti concettuali delle teorie di Neumann e di Weber. Questo atteggiamento si riflette nella didattica, al punto che molti suoi allievi sono da lui spinti a laurearsi con Enrico Betti (1823-1892), valentissimo matematico e successore di Mossotti per la fisica matematica, anche perché Felici era riluttante ad "aprire le porte del laboratorio agli studenti" (Cantone 1920). Un ruolo cruciale nella formazione delle nuove leve di fisici ebbe anche la presenza della Scuola Normale Superiore, riorganizzata da Matteucci e diretta da Betti fin dal 1865. Tra i numerosi importanti allievi di Felici (che però per qualche mo-

tivo non furono a loro volta capaci di creare nuove generazioni di fisici), ci preme qui ricordare soprattutto, anche perché furono i più vicini alla lezione metodologica di Felici, Adolfo Bartoli (1851-1896), Vito Volterra (1860-1940) ed Enrico Stracciati (1858-1937), collaboratore del primo e compagno di studi del secondo.

Di Volterra è già stato detto molto e in molte sedi, mentre Bartoli ha attirato minore attenzione, anche per la brevità della sua carriera e della sua vita. Laureato nel 1874, fu assistente di Villari a Bologna per due anni, poi insegnò per un biennio all'Istituto tecnico di Arezzo, dove tra i propri allievi ebbe Enrico Stracciati, e nel 1879 passò all'Istituto tecnico di Firenze, dove rimase fino al 1886, quando vinse e accettò la cattedra di fisica sperimentale all'Università di Catania. Nel 1893 fu chiamato a Pavia, ma dopo appena tre anni morì, a soli 42 anni d'età. Oltre che per notevoli studi di elettrochimica, fu ai suoi tempi conosciuto per i suoi lavori di calorimetria e anche per un importante lavoro giovanile (1876) di natura soprattutto teorica, sulla pressione di radiazione. Nel periodo fiorentino e in quello catanese gli fu accanto nella ricerca Enrico Stracciati, che si laureò a Pisa nel 1882 dopo un biennio alla Scuola Normale, fu poi assistente all'Istituto tecnico di Firenze e nel 1885 divenne professore di ruolo all'Istituto tecnico "Gemmellaro" di Catania, dove rimase fino al 1892 per poi spostarsi a Venezia e subito dopo a Roma. Nel periodo più fertile per la loro ricerca, Bartoli e Stracciati pubblicarono in una decina d'anni 21 articoli sul *Nuovo Cimento*.

2. La scuola di Roma

La scuola di Roma nasce a tutti gli effetti subito dopo l'annessione al neonato Regno d'Italia con la chiamata di Pietro Blaserna (1836-1918) sulla cattedra di Fisica sperimentale nel 1872. Blaserna, nato cittadino austriaco, si era laureato a Vienna nel 1854 ed era stato assistente di von Ettingshausen a Vienna dal 1857 al 1859 e di Regnault a Parigi dal 1859 al 1862, per poi essere chiamato nel 1863 sulla cattedra di fisica sperimentale dell'Università di Palermo, che tenne per un decennio, avendo tra i suoi allievi in particolare Damiano Macaluso (1845-1932), che fu poi a sua volta professore di fisica sperimentale a Catania dal 1875 al 1886 e a Palermo dal 1886 al 1914.

Quanto a Blaserna, il suo ruolo fu cruciale nella progettazione e nella realizzazione dell'Istituto fisico di via Panisperna, inaugurato nel 1881. Blaserna fu fortemente critico delle condizioni dell'insegnamento della fisica nelle università italiane, sottolineandone il carattere cattedratico, in opposizione alla pratica di laboratorio comune nei Paesi d'Oltralpe in cui aveva studiato e lavorato. Nell'organizzazione degli studi di fisica a Roma grande enfasi era quindi posta sulla partecipazione di tutti gli allievi (e non solo degli assistenti e di pochi studenti selezionati) alle attività del laboratorio. Blaserna era tuttavia consapevole dell'importanza di offrire uno spazio adeguato alla fisica matematica, e creò un gabinetto per tale insegnamento, che fu affidato nel 1891 a Eugenio Beltrami (1835-1900) e dal 1900 fu gestito da Vito Volterra, in precedenza titolare di meccanica razionale a Pisa dal 1883 al 1893 e a Torino dal 1893 al 1900.

Nel 1899 Blaserna ottenne per il proprio Istituto una seconda cattedra di fisica, che fu denominata "Fisica complementare" e affidata ad Alfonso Sella (1865-1907), che

seppe combinare metodi matematici all'approccio sperimentale, soprattutto nel campo della cristallografia, ma morì anch'egli molto giovane a 42 anni d'età.

Tra i numerosi allievi di Blaserna dobbiamo ricordare soprattutto, oltre al già citato Macaluso, Michele Cantone (1857-1932), Quirino Majorana (1871-1957), Alfredo Po-chettino (1876-1953), Domenico Pacini (1878-1934) e Laureto Tieri (1879-1952), che a loro volta, tramite i numerosi allievi, possono considerarsi i progenitori di un'importante frazione di tutti i fisici italiani.

3. La formazione di Corbino

Un capitolo a parte merita la formazione scientifica di Orso Mario Corbino (1876-1937), che frequentò il Liceo di Catania tra il 1887 e il 1892. Come egli stesso ricorda in una lettera a Stracciati del 1911, Corbino “marinava” le lezioni al Liceo per poter seguire clandestinamente quelle di Stracciati all'Istituto tecnico, che lo affascinarono al punto da spingerlo verso i successivi studi universitari di fisica, quando la cattedra era ancora tenuta da Bartoli. Poiché sia Stracciati sia Bartoli abbandonarono Catania tra il 1892 e il 1893, Corbino si trasferì a Palermo dove divenne allievo di Macaluso, laureandosi con lui nel 1896 e diventandone in seguito assistente. La collaborazione portò alla scoperta di un importante effetto magneto-ottico (effetto Macaluso-Corbino). Cattedratico a Messina dal 1905, nel 1908 si trasferì a Roma, dapprima come comandante e in seguito come titolare della cattedra di fisica sperimentale dal 1918, succedendo a Blaserna, maestro del suo maestro.

4. La scuola di Torino

Tra i capostipiti della fisica sperimentale italiana, a Pietro Blaserna si deve necessariamente affiancare Andrea Nàccari (1841-1926). Fu allievo di Francesco Rossetti (1833-1885), amico di Blaserna e titolare della cattedra di Fisica sperimentale di Padova, trasferendone a Torino, dove fu titolare della cattedra dal 1878 al 1916, la mentalità radicalmente empirista e positivista, secondo la quale compito precipuo del fisico era quello di effettuare misure e raccogliere dati sempre più accurati, riservando a pochi e sporadici momenti l'elaborazione di leggi capaci di raccogliarli in una sintesi. In questa prospettiva l'emergere della “legge” dai dati appariva come un processo quasi spontaneo e inevitabile. Come si vede, siamo ben lontani dal modello “galileiano” di interazione tra teoria ed esperimento che caratterizzava in particolare i maggiori esponenti della scuola pisana. Quanto all'ambito degli interessi scientifici, Nàccari si occupò prevalentemente di elettrologia e di termodinamica, mostrando scarso interesse, se non addirittura resistenza, come nel caso della relatività, verso gli sviluppi più recenti della ricerca internazionale, un tratto, questo, purtroppo comune a gran parte dei fisici italiani del tempo e dovuto in parte alla povertà dei mezzi a disposizione, ma in parte anche a una certa arretratezza culturale, alle cui cause non era certo estraneo l'atteggiamento di estrema diffidenza nei confronti di tutto ciò che appariva come speculazione teorica. Tra le rea-

lizzazioni di Nàccari va annoverata certamente anche la costruzione dell'Istituto di Fisica, inaugurato nel 1898.

Numerosi furono i suoi allievi, tra cui Giovanni Guglielmo (1853-1935), professore a Cagliari, Antonio Garbasso (1871-1933), cattedratico a Genova (1903-1913) e a Firenze (1913-1933) e Alessandro Amerio (1876-1935), professore al Politecnico di Milano, ma allievo prediletto di Nàccari fu Angelo Battelli (1862-1916), che dopo aver brevemente tenuto la cattedra a Cagliari (1889-1891) e dopo un periodo di straordinario a Padova (1891-1893) fu chiamato a Pisa nel 1893 a seguito del pensionamento di Felici. Per quanto riguarda il piano metodologico e l'empirismo radicale, Battelli non si discostò dalla dottrina del suo maestro, mentre si mostrò certamente più aperto nei confronti delle novità sperimentali. Nel 1896, con la collaborazione di Antonio Garbasso, fu uno dei primi studiosi, non solo italiani, dei raggi X. Si occupò anche a fondo di radioattività, oltre che dei tradizionali temi di elettrologia e termologia. Suo fu anche il merito di un deciso ampliamento dell'Istituto, che per un cinquantennio era rimasto ancora come l'aveva voluto Matteucci.

Lunga la lista dei suoi allievi, tra cui i più importanti furono Raffaele Augusto Occhialini, Eligio Perucca e Rita Brunetti, ma a noi interessa in particolare Luigi Puccianti (1875-1952), laureatosi nel 1898 e destinato a subentrargli nella cattedra pisana nel 1917. Abilissimo sperimentatore, e in gioventù spettroscopista di fama internazionale, Puccianti non era però culturalmente allineato con l'empirismo di Battelli, e nutriva invece una profonda ammirazione per l'opera e il pensiero di Felici, oltre che per Ampère, di cui era addirittura "fanatico". Merita ricordare anche che Puccianti per diversi anni a Firenze fu assistente e aiuto di Roiti, un altro allievo di Felici. Per quanto dopo aver ottenuto la cattedra egli abbandonasse quasi completamente l'attività di ricerca in prima persona, era comunque sempre attento all'evoluzione della ricerca e pronto a offrire nuovi spunti di ricerca ai suoi allievi: basti ricordare la tecnica di misura della lunghezza d'onda dei raggi X suggerita a Carrara e l'idea delle lenti magnetiche trasmessa tramite Bernardini a Bruno Rossi e da questi a Conversi per i fondamentali esperimenti del 1945-46. Una traccia della sua competenza con la diffrazione da reticoli appare anche nel primo lavoro di meccanica ondulatoria di Enrico Fermi, certamente il più celebre dei suoi allievi. La sua fu comunque una scuola straordinaria, favorita anche dall'esistenza della Scuola Normale Superiore: basti ricordare, oltre i già citati, Polvani, Ronchi, Rasetti, Bolla, Gentile jr, Bernardini, Budinich, Borsellino, Gozzini, Verde, Castagnoli, Derenzini, etc.

5. La chiamata di Fermi a Roma

La storia del primo concorso di fisica teorica è stata raccontata molte volte, a partire dall'esito negativo del concorso di fisica matematica di Cagliari del 1925, in cui la commissione, presieduta da Giovanni Guglielmo, preferì a Fermi Giovanni Giorgi, malgrado il sostegno a Fermi di Volterra e Tullio Levi-Civita. Di quest'ultimo è importante ricordare che era a sua volta allievo di Ricci Curbastro, un altro laureato della

scuola pisana e allievo della Scuola Normale Superiore, e che Fermi si ispirò ai suoi lavori per alcuni dei suoi primi articoli sulla relatività generale.

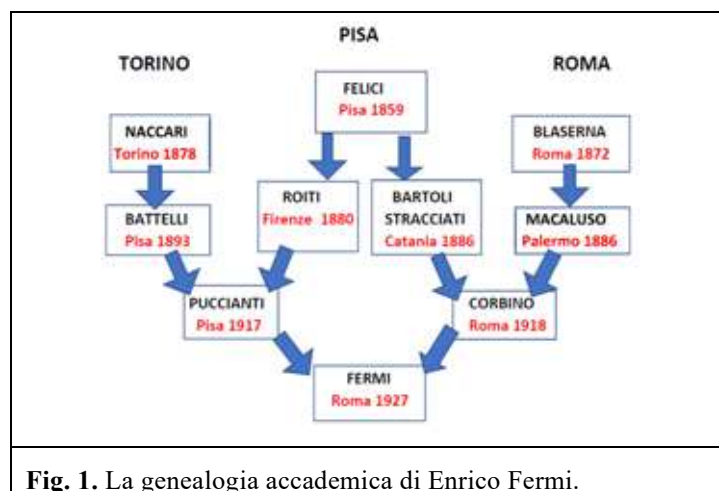
Sappiamo della successiva azione di Corbino per la creazione di una cattedra di fisica a Roma, e del sostegno nuovamente offerto da Volterra e Levi-Civita, oltre che dal matematico Guido Castelnuovo, malgrado la resistenza corporativa dei fisici matematici, esplicitata ancora nel 1939 a molti anni di distanza da Carlo Somigliana.

Ma ci sembra opportuno sottolineare che, oltre gli indiscutibili e già evidenti meriti del giovane Fermi, giocò certamente in suo favore il nuovo clima culturale condiviso dai protagonisti della vicenda, che come abbiamo visto furono tutti influenzati, in una forma o nell'altra, da una visione della fisica che si ispirava non soltanto ai più avanzati modelli internazionali, ma anche a un modello già presente, anche se minoritario, nella comunità dei fisici italiani, a partire dalla figura di Felici e dei suoi allievi diretti e indiretti, compresi, come si è visto, Corbino e lo stesso Puccianti.

6. Epilogo

Resta da ricordare un episodio assai curioso, ma sintomatico del tipo di legami anche sotterranei che si erano creati tra alcune figure significative di questa vicenda

Nel 1928, raggiunta l'età di settant'anni, Enrico Stracciati dovette lasciare l'insegnamento scolastico e fu posto a riposo. Ma alla fine di quello stesso anno Franco Rasetti, che occupava il posto di aiuto all'Istituto fisico di Roma, chiese e ottenne un anno di congedo per poter proseguire i propri studi e ricerche negli Stati Uniti. A quel punto Corbino, contro ogni prevedibile logica, chiese e ottenne dalla Facoltà di Scienze di poterlo rimpiazzare con Stracciati per tutto l'anno accademico 1928/29. Ricordiamo che in Facoltà sedeva anche Volterra, vecchio amico di Stracciati. E quando l'anno dopo Rasetti fece ritorno, ma Emilio Segrè, che era assistente, dovette partire per il servizio militare, Corbino ottenne che l'incarico a Stracciati fosse rinnovato per il 1929/30. Tale era il debito di gratitudine scientifica dell'antico allievo nei confronti dell'antico maestro.



Bibliografia

- Amaldi E., Segreto L. (1983). *Corbino, Orso Mario*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 28. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Battimelli G. (2013a). “Tra fisica sperimentale e fisica teorica: mutamenti nella fisica italiana del primo Novecento”, *Quaderni di Storia della Fisica*, 18, pp. 95-105.
- Battimelli G., Ianniello M.G. (2013). *Fermi e dintorni. Due secoli di fisica a Roma (1748-1960)*, Milano: Mondadori.
- Battimelli G., La Rana A., Rossi P. (2020). “Masters and Students in Italian Physics between the 19th and the 20th centuries: The Felici-Bartoli-Stracciati-Corbino case”. *European Physical Journal H*, 45, pp. 107-121.
- D’Agostino S., Leva S., Morando A.P., Rogante G., Rossi A. (2008). *Adolfo Bartoli e la pressione di radiazione*, in *Atti del XXV Congresso SISFA* (Milano 10-12 novembre 2005). Milano: SISFA, pp. C19.1-C19.6.
- Dragoni G. (1989). *Per una storia della fisica italiana tra la seconda metà dell'Ottocento e la Prima guerra mondiale (1850-1915)*, in Maccagni C., Freguglia P. (a cura di), *La storia della scienza in Italia*. Milano: Edizioni Bramante, pp. 306-353.
- Focaccia, M. (2016). *Uno scienziato galantuomo a via Panisperna. Pietro Blaserna e la nascita dell'Istituto fisico di Roma*, Firenze: Olschki.
- 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*, 19 (1), pp. 115-136.
- Giuliani, G., Marazzini, P. (1994). “The Italian physics community and the crisis of classical physics: New radiations, quanta and relativity (1896–1925)”. *Annals of Science*, 51 (4), pp. 355–390.
- Gliozzi M. (1964). *Bartoli, Adolfo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 6. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Guerraggio A., Paoloni G. (2008). *Vito Volterra*, Roma: Muzzio.
- Maiocchi R. (1996). *Felici, Riccardo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 46. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana (*ad vocem*).
- Occhialini R.A. (1914). *Notizie sull'Istituto di Fisica dello Studio pisano*. Pisa: Mariotti.
- Puccianti L. (1939). *Il contributo della scuola di Pisa alla fisica italiana*. Roma: SIPS.
- Reeves Buck B. (1980). *Italian Physicists and their Institutions* (PhD thesis). Harvard University.
- Rossi P., Iurato G. (2018). *La Scuola pisana di Fisica (1840-1950)*. Pisa: Pisa University Press, pp. 61-96.
- Rossi P. (2019). *Il primo concorso di fisica teorica in Italia*, in Casalbuoni R., Dominici D., G. (a cura di), *Enrico Fermi a Firenze*. Firenze: Firenze University Press, pp. 89-96.
- Rossi P. (2020). *The figure and the work of Riccardo Felici in the 200th anniversary of his birth*, in *Atti del XXXIX Congresso SISFA* (Pisa September 9-12 2019), pp. 21-28.
- Stracciati E. (1896). “Adolfo Bartoli”. *Il Nuovo Cimento*, s. 4, IV, pp. 211-224.

“With a source so small to fit in one hand”: Fermi and the Discovery of Neutron-induced Radioactivity

Nadia Robotti - Dipartimento di Fisica, Università di Genova -
robotti@fisica.unige.it

Abstract: On the 120th anniversary of the birth of Enrico Fermi (1901-1954), we will try to reconstruct the extraordinary discovery of neutron-induced radioactivity made by him, working alone, in March 1934.

For this discovery, together with that, in the following October, of the effect of the slowing down of neutrons in activating various substances, Fermi was awarded the Nobel Prize for Physics in 1938. This was the second Nobel Prize given to an Italian in this discipline, after that to Guglielmo Marconi in 1909, on an equal merit with Carl Ferdinand Braun.

In this contribution, we will focus mostly on the experimental equipment Fermi used, like the original neutron sources preserved in Italy and abroad. Particular attention is paid to the role played by the Radium Office of the Istituto Superiore di Sanità in Rome in providing Fermi with the “radium emission” (Radon-222) used to make his radon-beryllium neutron sources. This particular type of investigation allows us to reconstruct what Fermi actually achieved in his laboratory, to gain a better insight into his methodological choices, and, ultimately, to understand how special circumstances conspired to make the discovery of neutron-induced radioactivity possible.

Bruno Touschek (1921-1978). The Path toward Electron-Positron Collisions. Sources and Bibliography

Luisa Bonolis - Max Planck Institute for the History of Science, Berlin -
lbonolis@mpiwg-berlin.mpg.de

Abstract: The 100th anniversary of Bruno Touschek's birth also marks 60 years since the first beams of electrons and positrons circulated in AdA, the first matter-antimatter collider built in Frascati National Laboratories following Touschek's visionary proposal of February 1960. A brief biography, an extensive bibliography, and a description of archives containing documents related to the life and science of the father of electron-positron colliders are presented.

Keywords: Colliders, High-energy physics, Antimatter.

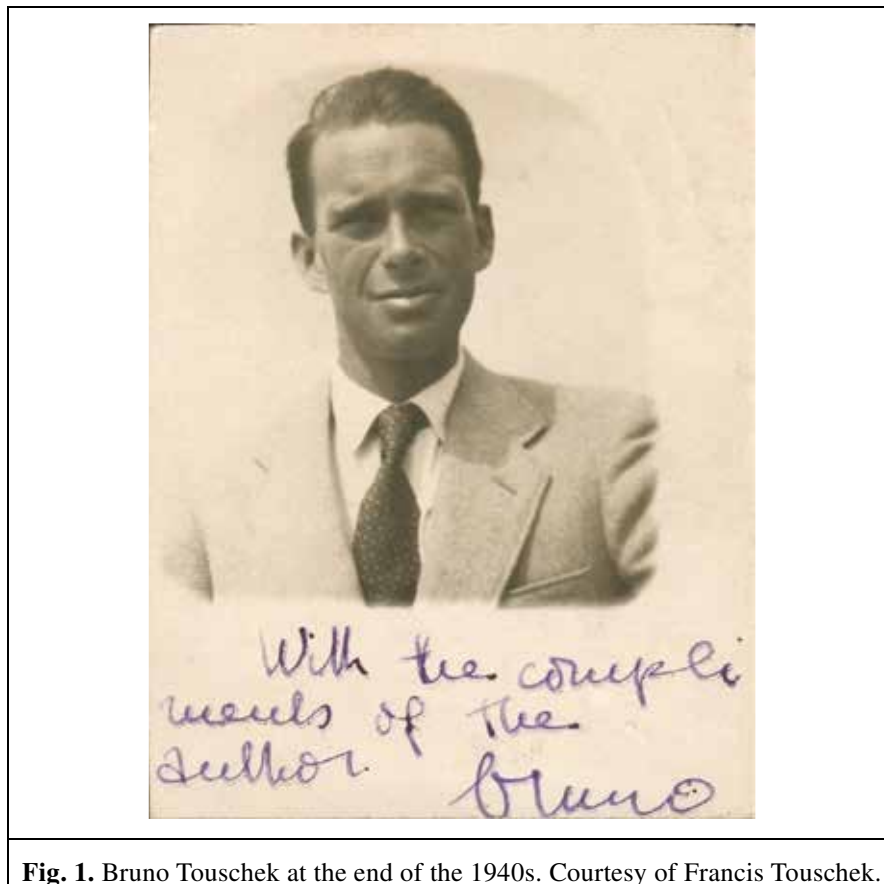


Fig. 1. Bruno Touschek at the end of the 1940s. Courtesy of Francis Touschek.

1. Introduction

Bruno Touschek's life unfolds across Europe in space and time, going through a terribly dramatic period of the last century. He was born on February 3rd, 1921, in Vienna, where he spent his childhood and early youth.

Between the end of the 19th century and the beginning of the First World War, the Austrian capital was a center of creation for modernity, the cradle for a number of ideas which shaped the whole 20th century and flourished in art, architecture, literature, science, philosophy and music. Touschek's own family was actively involved in this scenario. His mother Camilla Weltmann and his aunt Ella – and Ella's own husband, the architect Josef Margold – were active in the circle of the Wiener Werkstätte, the association evolving from the Vienna Secession as an alliance of artists, architects, designers and artisans which pioneered modern design and eventually influenced the Bauhaus movement and the Art Deco style. Touschek grew up in such amazing cauldron of great cultural movements. At the epicenter of this multifaceted world was the writer and essayist Karl Kraus. His caustic satirical spirit and his cultural engagement in the fundamental ideological issues of his time, had a profound influence on Touschek's intellectual formation, in parallel with the early imprinting he derived by the innovative expressionism of Egon Schiele and the famous psychological portraits of Oskar Kokoschka, which in turn influenced his precocious talent for drawing. The style of his own drawings – well-known among friends and colleagues – testifies the persistence during his whole life of such strong and lively bonds with the rich cultural and intellectual world of his home town, that subtly blended in his personal and very original style.

However, due to his Jewish origin on the maternal side, the annexation of Austria into Nazi Germany in 1938 completely turned his life upside down and dramatically affected his future. He was no longer able to attend classes as a regular student either at school or at the University of Vienna, which he had to leave, even ending up abandoning his home country.

He experienced firsthand, part of the horror that millions of people experienced across war-ravaged Europe, as preys of Germany's delirium, but he courageously pursued his passion for physics also during the war years, when he continued his studies in Germany (despite still being unable to attend classes as a regular student) protected by Arnold Sommerfeld's colleagues and friends in Hamburg and Berlin, and at the same time worked to support himself. During those difficult times, he had the chance to come in contact with some of the most influential European physicists, and found himself involved in the construction of a 15-MeV *betatron*, a pioneering accelerator designed by the Norwegian scientist Rolf Widerøe. He also went through extremely distressing experiences, such as being imprisoned by the Gestapo and being shot during a march towards the Kiel concentration camp.

He miraculously survived such dreadful events and, after the war, finally obtained his Diploma in Physics at the University of Göttingen with a dissertation on the theory of the *betatron* and for some time was Werner Heisenberg's assistant at the Max Planck Institute for Physics, continuing his formation under the influence of the great German theoretical school. Despite having lost several years of his youth, he re-emerged from

the war and early-post war years as one of the first physicists in Europe endowed with a unique expertise about the theory and functioning of accelerators. Such difficult period in his life proved to be a major step along his path to the conception of the first ever matter-antimatter collider which he eventually proposed and built in Frascati National Laboratories in 1960.

In early 1947 Touschek moved to Glasgow University and in 1949 was awarded a PhD in Physics with a dissertation on *Collisions between electrons and nuclei*, while being involved in theoretical studies and in the building of a 300-MeV electron *synchrotron*, also consulted as a *betatron* expert by other research centers in UK. In Glasgow, he became a full-fledged theoretical physicist. At that time, he came in contact with Max Born, one of the fathers of the new quantum mechanics, who had emigrated to UK after having been suspended from his position at the University of Göttingen being of Jewish origin. Touschek collaborated with him writing an appendix for a new edition of Born's book *Atomic Physics*.

In the very early 1950s, he met the well-known Italian theoretical physicist Bruno Ferretti, with whom he shared lively discussions on quantum field theory and from whom he also heard about the great plans and expectations for the reconstruction and revival of Italian physics, after the disaster of World War II. Edoardo Amaldi and Gilberto Bernardini, both heirs of the scientific tradition established by Enrico Fermi and Bruno Rossi in the 1930s, were in complete harmony in their efforts to restore the pre-war excellence of Italian and European physics. Amaldi, in particular, was one of the promoters and founding fathers of CERN, where Bernardini soon became Director of Research. On the other hand, as we know from letters to his father and especially to Arnold Sommerfeld, since some time Touschek felt that in Glasgow he was rather far from the mainstream of theoretical physics and was considering other possible positions in Europe. Full of enthusiasm about the idea of Italy, a country he knew since his childhood, when he visited his maternal aunt Ada married with an Italian, he decided to obtain a leave of absence and move to Rome. Amaldi, deeply aware of Touschek's potential, invited him officially with an INFN contract.

When Touschek arrived in Italy at the end of 1952, the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare had just been founded and Italian physicists were deciding to establish a national laboratory in order to host an electron synchrotron, a new-generation machine they had planned to build as a powerful tool for high-energy physics. After having been for many years at the frontier of nuclear and cosmic-ray research, Italy hoped to regain a prominent position in the sub-nuclear realm and indeed Touschek's unique expertise was destined to have a profound influence on the future of this field in Italy, both theoretically and experimentally.

He continued to play a role in the process of reconstruction and revival of physical sciences in Europe, and further evolved as a theoretician, giving relevant contributions to the study of discrete symmetries in particle physics and to neutrino physics. During the 1950s, while being actively involved in the life of the Italian scientific community, Touschek closely experienced the birth and development of Frascati National Laboratories. But between the end of 1959-early 1960, when the 1100 MeV electron synchrotron had just gone on line, Touschek surprised everybody proposing to go far beyond exper-

iments with gamma beams obtained by hitting electrons against a fixed target inside the *synchrotron*, or even experiments such as those US physicists were scheduling at Stanford with two colliding beams of electrons stored in two tangent rings. According to Touschek, what would really be worth exploring, instead, was the physics of electron-positron annihilations, which would allow to open a channel to the hadronic world through the quantum numbers of e^+e^- . The colliding beam technique, which other physicists were planning to exploit both in USA and USSR – basically to obtain a larger center-of-mass energy or to perform high-precision experiments to test the predictions of QED – was definitely moving towards a conceptually novel stage. Moreover, because of the CPT symmetry, an e^+e^- machine could be realized with a single magnetic ring, ensuring that electrons and positron could circulate in the same orbit. Following his challenging ideas – based on his firm belief in CPT and QED – the first matter antimatter collider AdA (for *Anello di Accumulazione, Storage Ring*) was built, inaugurating a brand-new research line at Frascati National Laboratories and heralding a new era in high-energy physics. The team led by Touschek, including Carlo Bernardini, Giorgio Ghigo, Gianfranco Corazza, Ruggero Querzoli and Giuseppe Di Giugno, was able already on February 1961 to observe the light signal from a single circulating electron after its capture in the ring as a pulse in the phototube output, or even as a white-bluish spot that could be seen with the naked eye through a small porthole. In Orsay, at the Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, where AdA was moved in 1962 to optimize the injection process into the storage ring, Touschek and his team, now including Pierre Marin and Jacques Haïssinski, were able to demonstrate that the two beams had actually collided, thus proving the feasibility of such machines. They also discovered an unexpected effect, a loss of particles from the stored beams reducing their lifetime, whose origin was immediately explained by Touschek. The so-called *Touschek effect* luckily becomes less pronounced with increase of energy.

After Touschek's new proposal for a larger and more powerful electron-positron collider presented at the end of 1960, ADONE (1.5 GeV per beam, 105 m in circumference) was built in Frascati and became operational in 1969. ADONE eventually discovered the multi hadron production making electron-positron physics a field of major interest, further encouraging the construction of a large family of high-energy colliders all over the world, where new states of matter were detected. In 1974, ADONE confirmed the existence of the J/Ψ , a bound state of a charm quark and a charm anti-quark, discovered at the Brookhaven National Laboratory and at the Stanford Linear Accelerator Center, for which Samuel Ting and Burton Richter were awarded the 1976 Nobel Prize in Physics.

In the following years, Touschek made a fundamental contribution to the formation of a theoretical school in Rome and Frascati. In particular, he was Nicola Cabibbo's thesis advisor in 1958. While AdA was being built, Cabibbo and Raoul Gatto's investigations on the physics of electron-positron annihilations resulted in a seminal paper universally known as the "Bible". Touschek was particularly valued also as very brilliant teacher and in the early 1970s was elected as Foreign Member of the "Accademia Nazionale dei Lincei".

Between 1977-1978, Touschek spent the last months of his life as visiting scientist at CERN, at a time when early plans for a giant electron-positron collider were being discussed. However, when LEP, with an energy of 50 GeV per beam and a circumference of about 27 km, eventually came into operation in 1989, Touschek was no more there. He had prematurely passed away, on May 25th 1978, while he was participating in the planning of the proton-antiproton collider proposed by Carlo Rubbia. Unfortunately, he did not live enough to witness the discovery of the W and Z bosons and the related 1984 Nobel Prize in Physics to Rubbia and Simon van der Meer.

Bruno Touschek's small AdA (about 1.3 meters in diameter, storing beams of 250 MeV) has opened the way to new bigger matter-antimatter colliders and precision measurements which have been instrumental in confirming our understanding of the basic building blocks of matter in the Universe and the fundamental forces that operate between them. The detection of the long-sought Higgs boson at the Large Hadron Collider at CERN in 2012, has eventually completed the Standard Theory of particle physics.

2. Documents and Sources

Immediately after his death, the first to write on Bruno Touschek and AdA was his colleague and friend Carlo Bernardini (Bernardini 1978).¹ Soon after, Edoardo Amaldi published a long biography (Amaldi 1981), which includes a list of Touschek's papers as well as examples of his famous drawings.

A fundamental source is the publication *Le carte di Bruno Touschek*, a catalogue describing in detail his personal papers preserved at the "Edoardo Amaldi Archives", Physics Department of Sapienza University in Rome (Battimelli *et al.* 1989). Information on this collection, which can be consulted at the Library of the Physics Department, is also available online.²

Other archives containing documents related to Bruno Touschek are CERN Archives (correspondence with Wolfgang Pauli and Léon Van Hove), the Max Planck Society Archives in Berlin (correspondence with Werner Heisenberg), the Deutsches Museum Archives in Munich (correspondence with Arnold Sommerfeld and his son Ernst Sommerfeld), the University of Glasgow Archives & Special Collections (documents related to his years in Glasgow), Churchill Archives Centre in Churchill College, Cambridge (correspondence with Max Born). Copies of reports on the theory of the betatron written by Touschek during and immediately after the war are preserved in Rolf Widerøe's papers at the Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) in Zurich. The bulk of this material became part of his dissertation in Göttingen. Widerøe's autobiography edited by Pedro Waloschek contains several pages mentioning Touschek and their relationship (Widerøe 1994). Waloschek's *Death-Rays as Life-Savers in the Third Reich* is

¹ The references mentioned in this Section are included in the general bibliography listed in Section 3.

² See: <https://archivisapienzasmfn.archiui.com/oggetti/5-bruno-touschek>.

also a valuable source on Bruno Touschek's life and the context he lived during the war (Waloschek 2012).

The establishment of the "Bruno Touschek Memorial Lectures" at INFN National Laboratories in Frascati – promoted in 1987 by Giulia Pancheri, a former collaborator of Bruno Touschek – was marked by a conference whose proceedings include valuable contributions which can be consulted online (Greco, Pancheri 2004).

Several recollections by Touschek's colleagues are contained in a volume edited by V. Valente (*Adone, a milestone on the particle way*, Frascati Physics Series Vol. VIII, 1997), but especially in a dedicated volume edited by G. Isidori (*Bruno Touschek and the birth of e^+e^- physics*, Frascati Physics Series Vol. XIII, 1998).

More systematic historical studies began in the early 2000s, during the realization of the docu-film *Bruno Touschek and the Art of Physics* (Agapito, Bonolis 2004) also thanks to Touschek's widow, the late Elspeth Yonge, who kindly gave access to extremely relevant papers, correspondence and photos still preserved by the family.

Since 2009, an in-depth historical analysis has been conducted by Bonolis and Pancheri resulting in several contributions reconstructing different phases of Bruno Touschek's life, especially emphasizing his formation both as a theoretical physicist and an expert in accelerator science and showing how the merging of such articulated competences became the origin of his visionary proposal to build the first electron-positron collider and investigate the matter-antimatter physics (see articles in the Bibliography). Further relevant documents, such as the collection of Touschek's letters to his father put at disposal by Elspeth Touschek, have been instrumental for such research work, in particular because they have thrown light upon his crucial war and early post-war years, which had remained rather unknown apart from the very few episodes he had told Amaldi during the last days of his life. Part of the results of these studies were used during the realization of a second docu-film: *Bruno Touschek with AdA in Orsay* (Agapito *et al.* 2013).

A comprehensive biography of Bruno Touschek by Giulia Pancheri is under publication with the title *Bruno Touschek's Extraordinary Adventure – from death-rays to anti-matter* (Springer).

3. Bibliography on Bruno Touschek and AdA

The following fairly complete bibliography in chronological order is meant as a hopefully useful tool to learn about the life and science of this extraordinary protagonist of 20th century physics.

Whenever possible, a link to each reference has been provided, including the two docu-films, which are both accessible and visible online (access date for all links: 30/10/2021).

Agapito E., Bonolis L. (2004). Docu-Film *Bruno Touschek and the Art of Physics*. Original idea and screenplay: L. Bonolis. Directed by E. Agapito. [online]. URL: <<https://www.youtube.com/watch?v=R2YOjnUGaNY>>.

- Agapito E., Bonolis L., Pancheri G. (2013). Docu-Film *Touschek with AdA in Orsay*. Original idea and screenplay: L. Bonolis and G. Pancheri. Directed by E. Agapito. [online]. URL: <http://www.lnf.infn.it/edu/materiale/video/AdA_in_Orsay.mp4>.
- Amaldi E. (1981). *The Bruno Touschek Legacy (Vienna 1921 – Innsbruck 1978)*. Geneva: CERN Yellow Reports, No. 81-19 [online]. URL: <<http://cdsweb.cern.ch/record/135949/files/CERN-81-19.pdf>>.
- Amaldi E. (1982). “L’eredità di Bruno Touschek”. *Quaderni del Giornale di Fisica*, 5 (7), pp. 3-72.
- Amaldi U. (2004). *Remembering Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 89-92.
- Amman F. (1989). *The early times of electron colliders*, in De Maria M., Grilli M., Sebastiani F. (eds.), *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States, 1945-1960*. Singapore: World Scientific, pp. 449-476.
- Battimelli G., De Maria M., Paoloni G. (1989). *Le carte di Bruno Touschek*. Rome: Sapienza University.
- Bernardini C. (1978). “Storia di AdA”. *Scientia*, 113, pp. 27-38.
- Bernardini C. (1986). “Storia dell’anello AdA”. *Il Nuovo Saggiatore*, 27 (6), pp. 23-33.
- Bernardini C. (1989). *AdA: the smallest e^+e^- ring*, in De Maria M., Grilli M., Sebastiani F. (eds.), *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States, 1945-1960*. Singapore: World Scientific, pp. 444-448.
- Bernardini C. (1991). *From the Frascati Electron Synchrotron to Adone*, in Bacci C., Bernardini C., Diambri Palazzi G., Pellizzoni B. (eds.), *Present and Future of Collider Physics: Conference in honour of Giorgio Salvini’s 70th birthday* (Rome, September 20-22, 1990). Bologna: SIF, pp. 3-15.
- Bernardini C. (1997a). *Bruno Touschek and AdA*, in Valente V. (ed.), *Adone, a milestone on the particle way*. Frascati Physics Series, Vol. VIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 1-21.
- Bernardini C. (1997b). *AdA e Frascati*, in *Quark 2000*. Milano: Le Scienze, pp. 58-65.
- Bernardini C. (1998). *Remembering Bruno Touschek, his work and personality*, in Isidori G. (ed.), *Bruno Touschek and the birth of e^+e^- physics*. Frascati Physics Series, Vol. XIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 9-16.
- Bernardini C. (1999). “Bruno Touschek”. *Il Nuovo Saggiatore*, 15 (3-4), pp. 29-33.
- Bernardini C. (2002). *La nascita degli anelli di accumulazione per elettroni e positroni*, in Leone M., Paoletti A., Robotti N. (eds.), *Atti del XXII Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell’Astronomia* (Genova-Chiavari 6-8 giugno 2002). Napoli: Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, pp. 27-36 [online]. URL: <<http://www.sisfa.org/wp-content/uploads/2013/03/002-BERNARDINI-DEFINITIVO.pdf>>.
- Bernardini C. (2004). “AdA: the first electron-positron collider”. *Physics in Perspective*, 6, pp. 156-183 [online]. URL: <<https://doi.org/10.1007/s00016-003-0202-y>>.
- Bernardini C. (2004). *The AdA Storage Ring*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*, Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 77-79.

- Bernardini C. (2005). “Bruno Touschek visto da vicino”. *Analysis*, 4, pp. 4-7 [online]. URL: <http://www.analysis-online.net/wp-content/uploads/2013/03/bernardini_tous.pdf>.
- Bernardini C. (2007). *Bruno Touschek*, in Koertge N. (ed.), *New Dictionary of Scientific Biography*. New York: Charles Scribner’s Sons, pp. 68-73.
- Bernardini C. (2008). “Bruno Touschek: pensare fisica in grande”. *La Fisica nella Scuola*, 41 (4), pp. 153-159.
- Bernardini C., Pancheri G., Pellegrini C. (2015). “Bruno Touschek: From Betatrons to Electron-Positron Colliders”. *Reviews of Accelerator Science and Technology*, 8, pp. 269-290 [online]. URL: <<https://doi.org/10.1142/S1793626815300133>>.
- Bonolis L. (2005a). “Bruno Touschek vs. machine builders: AdA, the first matter-antimatter Collider”. *Rivista del Nuovo Cimento*, 28 (11), pp. 1-60 [online]. URL: <<https://www.sif.it/riviste/sif/ncr/econtents/2005/028/11/article/0>>.
- Bonolis L. (2005b). “Una rivoluzione culturale nel mondo degli acceleratori di particelle: Bruno Touschek e il primo anello di collisione materia-antimateria”. *Analysis*, 4, pp. 16-34 [online]. URL: <http://www.analysis-online.net/wp-content/uploads/2013/03/bonolis_rivoluzione.pdf>.
- Bonolis L. (2007). *Bruno Touschek e la genesi di un’idea: AdA, il primo anello di accumulazione per elettroni e positroni*, in Leone M., Preziosi B., Robotti N. (eds.), *L’eredità di Fermi e Majorana, e altri temi*. Napoli: Bibliopolis, pp. 217-222.
- Bonolis L. (2008). “Bruno Touschek, un mitteleuropeo ai Laboratori Nazionali di Frascati”. *Sapere*, pp. 6-13.
- Bonolis L., Pancheri G. (2009). “Bruno Touschek and the Birth of Electron-Positron Collisions”. *Forum on International Physics – The American Physical Society. International Newsletter*, pp. 16-18 [online]. URL: <<https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/APS/5850cbf5-d2ca-4fe3-9812-9b34f575294f/UploadedImages/Documents/dec09.pdf>>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2011). “Bruno Touschek: particle physicist and father of the e^+e^- collider”. *European Physical Journal H*, 36 (1), pp. 1-61 [online]. URL: <<http://dx.doi.org/10.1140/epjh/e2011-10044-1>>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2017). “The path to high-energy electron-positron colliders: from Widerøe’s betatron to Touschek’s AdA and to LEP” [online]. URL: <<https://arxiv.org/abs/1710.09003>>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2018a). “Bruno Touschek and AdA: from Frascati to Orsay. In memory of Bruno Touschek, who passed away 40 years ago, on May 25th, 1978”. Report INFN – 18-05/LNF, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati, May 25, 2018 [online]. URL: <<https://arxiv.org/abs/1805.09434>>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2018b). “Touschek with AdA in Orsay and the first direct observation of electron-positron collisions”. Report INFN – 18-12/LNF, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati, December 31, 2018 [online]. URL: <<https://arxiv.org/abs/1812.11847>>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2019a). “A Tale of Two Scientists and the Development of Particle Colliders”. *Viewpoint*, 118, pp. 7-9 [online]. URL: <<https://www.bshs.org.uk/>>

- wp-content/uploads/Viewpoint_118_Web.pdf>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2019b). “Bruno Touschek in Germany after the War: 1945-46”. Report INFN – 19-17/LNF, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati, and MIT-CTP/5150, 10 October, 2019 [online]. URL: <<https://arxiv.org/abs/1910.09075>>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2019c). *Touschek Bruno*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 96 [online]. URL: <https://www.treccani.it/enciclopedia/bruno-touschek_%28Dizionario-Biografico%29/>.
- Bonolis L., Pancheri G. (2020). “Bruno Touschek in Glasgow. The making of a theoretical physicist” [online]. URL: <<https://arxiv.org/abs/2005.04942>>.
- Cabibbo N. (1997). *e⁺e⁻ Physics – a View from Frascati in 1960’s*, in Valente V. (ed.), *Adone, a milestone on the particle way*. Frascati Physics Series, Vol. VIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 219-225.
- Calogero F. (2004). *Remembering Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, p. 96.
- CERN Courier (1999). “Electron-positron pioneer” [online]. URL: <<https://cerncourier.com/a/electron-positron-pioneer/>>.
- CERN Courier (2014). “AdA – the small machine that made a big impact. The first electron-positron collisions at a storage ring were observed 50 years ago” [online]. URL: <<https://cerncourier.com/a/ada-the-small-machine-that-made-a-big-impact/>>.
- Gatto R. (2004). *Memories of Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 69-76.
- Greco M., Pancheri G. (eds.) (2004). *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica [online]. URL: <<http://www.lnf.infn.it/frascatiseries/Volume33/volume33.pdf>>.
- Greco M., Pancheri G. (2008). “Frascati e la fisica teorica: da AdA a Dafne”. *Analysis*, 2-3, pp. 21–38 [online]. URL: <http://www.analysis-online.net/wp-content/uploads/2013/03/greco_pancheri.pdf>.
- Haïssinski J. (1998). *From AdA to ACO, Reminiscences of Bruno Touschek*, in Isidori G. (ed.), *Bruno Touschek and the birth of e⁺e⁻ physics*. Frascati Physics Series, Vol. XIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 17-31 [online]. URL: <<https://cds.cern.ch/record/400685?ln=en>>.
- Iarocci E. (2015). “AdA: il successo di un’idea”. *Il Nuovo Saggiatore*, 27 (1-2), pp. 17-28 [online]. URL: <<https://www.ilnuovosaggiatore.sif.it/download/14>>.
- Morpurgo G. (2004). *My work with Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 80-88.
- Pancheri G. (1998). “Il grande Touschek, ‘Signore degli anelli’”. *Corriere della Sera* [online]. URL: <<https://cds.cern.ch/record/718672?ln=en>>.
- Pancheri G. (2004). *Bruno Touschek and the Frascati Theory Group*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol.

- XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 101-104.
- Pancheri G. (2005). “Bruno Touschek e la nascita della fisica e^+e^- : una storia europea”. *Analysis*, 4, pp. 8-15 [online]. URL: <http://www.analysis-online.net/wp-content/uploads/2013/03/pancheri_tous.pdf>.
- Picasso E. (1998). *Electron-Positron storage rings from AdA to LEP*, in Isidori G. (ed.), *Bruno Touschek and the birth of e^+e^- physics*. Frascati Physics Series, Vol. XIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 39-50.
- Rossi G. (2004). *Remembering Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 99-100.
- Rubbia, C. (2004). *The role of Bruno Touschek in proton-antiproton collider physics*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 57-60.
- Sacerdoti G. (2004). *Remembering Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 93-95.
- Salvini G. (1998). *The Frascati decision and the AdA proposal*, in Isidori G. (ed.), *Bruno Touschek and the birth of e^+e^- physics*. Frascati Physics Series, Vol. XIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 1-8.
- Salvini G. (2004). *Matter-antimatter collisions from Frascati to the outside world*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 61-68.
- Testa M. (1998). *The Adone results and the development of the Quark Parton Model*, in Isidori G. (ed.), *Bruno Touschek and the birth of e^+e^- physics*. Frascati Physics Series, Vol. XIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 33-38.
- Valente V. (2007). *La rivoluzione di AdA*, in V. Valente (ed.), *Strada del Sincrotrone km 12*, Ch. 4. Frascati: INFN.
- Waloschek P. (2004). *Remembering Bruno Touschek*, in Greco M., Pancheri G. (eds.), *Bruno Touschek Memorial Lectures*. Frascati Physics Series, Vol. XXXIII. Frascati: INFN – Ufficio Biblioteca e Documentazione Scientifica, pp. 97-98.
- Waloschek P. (2012). *Death-Rays as Life-Savers in the Third Reich*. Hamburg: DESY [online]. URL: <<http://www-library.desy.de/preparch/books/death-rays.pdf>>.
- Widerøe R. (1994). *The Infancy of particle accelerators. Life and work of Rolf Widerøe*, P. Waloschek (ed.). Braunschweig: Vieweg +Teubner Verlag [online]. URL: <<https://doi.org/10.1007/978-3-663-05244-9>>.

4. Conclusion

The Memorial Symposium held in Rome in December 2021 to celebrate the centennial of Bruno Touschek's birth, inaugurated a new phase in the historical studies on one of the most original figures of 20th century physics. As historians, we are still left with the task of in-depth investigations related to the evolution of Touschek's theoretical thought during the twenty years or so between the war years – and his work on the *betatron* theory – to the late 1950s, when such a long process finally materialized into his daring and drastic proposal, that he considered “the future goal” of Frascati Laboratories: transform the electron *synchrotron*, that had just begun to function, into an electron-positron collider and explore the physics of matter-antimatter annihilations. His bold idea was wisely and enthusiastically converted into the decision to build a dedicated small prototype, AdA, the first ever matter-antimatter machine, which in the early 1960s set the stage for a new era in particle physics. The period from Touschek's arrival in Italy at the end of 1952, to the end of the 1950s, during which he fully developed into a mature theoretical physicist dialoguing with prominent theoreticians of his time, has not yet been thoroughly studied. In particular, his scientific production as well as his scientific correspondence with Heisenberg, which dates back to the early post-war period, and continued during the 1950s, has yet to be analyzed, as well as his exchange of letters with Wolfgang Pauli, himself born in Vienna from a prominent Jewish family. Touschek had always been an attentive follower of Pauli's work since his early youth. They had an intense scientific correspondence during 1957-1958, at a time when much of Pauli's research activity was centered on quantum field theory – and had already resulted in two fundamental pillars of the theory: the spin-statistics theorem and the CPT theorem – but in particular when the shocking discovery of Parity violation in weak interactions was increasing interest in the discrete symmetry operations, the charge conjugation C and time reversal T . Such interaction is also testified by the joint paper “Report and comment on F. Gürsey's group structure of elementary particles” published in 1959 as a contribution to the *International School of Physics “Enrico Fermi”* (8th Course: “Mathematical problems of the quantum theory of particles and fields”) when Pauli had already passed away. The analysis of how Touschek's interaction with Pauli and other theorists (such as Walter Thirring, Charles Enz, Gerhart Lüders, Markus Fierz, Kurt Symanzik, Luigi Radicati) became instrumental for the development of his ideas on symmetry and in triggering his own reflections on the CPT theorem – the solid conceptual base for AdA – is to be pursued as one of the main keys to a deeper understanding of all the implications of his unique path towards what became a standard practice: using matter-antimatter annihilations to probe the ultimate nature of the basic building blocks of the Universe and their interactions.

HISTORIOGRAPHY OF PHYSICS

Towards a Biography of the Ether

Theodore Arabatzis - National and Kapodistrian University of Athens -
tarabatz@phs.uoa.gr

Abstract: In this talk I will make a case for the pertinence of a biographical approach to the history of the concept of ether. In the first half of the talk, I will lay out the rationale of that approach by revisiting and extending my earlier work on the topic. I will consider the characteristics of scientific objects that motivate the biographical metaphor, and I will indicate its virtues and limitations by bringing out the positive and negative analogies between biographies of scientific objects and ordinary biographies. I will then point out various ways in which scientific objects may pass away and argue that their demise should be conceptualized as a process. In the second half of the talk, I will sketch the history of the concept of ether in 19th and early 20th century physics and suggest that it lends itself particularly well to a biographical treatment. To that effect, I will discuss three aspects of the ether: its identity over time, its heuristic role in the practice of physics, and its recalcitrance as an object of theoretical and experimental research. Finally, I will close by examining the reasons that may have led to the ether's passing.

***Il Nuovo Cimento* in the Changing Landscape of Physics: A Network-Historical Analysis**

Roberto Lalli - Max Planck Institute for the History of Science, Berlin -
rlalli@mpiwg-berlin.mpg.de

Abstract: In the last years, historians have increasingly turned to network concepts and methods for analyzing historical sources and assessing past dynamics. Our group has further extended these approaches by applying multi-layer network techniques to the study of recent science combining social network analysis, citation network analysis and the analysis of the knowledge space generated by scientific publications. This approach, called socio-epistemic networks, is particularly useful to evaluate the role of specific journals in the general system of knowledge production.

In this talk, I use this approach to analyze the changing position of *Il Nuovo Cimento* in the global field of physics through the 20th century. I discuss how the role of the journal of the Italian Physical Society developed both in the publications' co-citation network and in the knowledge space of topics created by all physics journals indexed by on-line repositories. By comparing these results with those retrieved from the analysis of Physical Review journals, this approach allows to highlight the specificities of *Il Nuovo Cimento* and to identify crucial moments of transformation.

Franco Selleri Revealed: What his Unpublished Archives Said

Luigi Romano - Università degli Studi di Bari - luigiromano2012@yahoo.it

Abstract: In the doctoral work I completed last October, I analyzed for the first time in a comprehensive manner the role of the Italian physicist Franco Selleri (1936-2013) in the fields of particle physics, foundations of quantum mechanics and foundations of the theory of relativity during the years 1960-2010. Having had access to his unpublished archives, I found a considerable amount of contributions, handwritten notebooks and correspondence with scientists and Nobel laureates around the world. It emerged the deep connection between Selleri's research and historical and philosophical approach, and the contemporary socio-political environment in which he worked. All the results of this research as well as the historiographic followed approach will be shown here. The complete bibliography of all his scientific works will also be presented, as well as a series of annexes with all his writings, the conferences in which he participated and some of the above-mentioned correspondence.

Looking Stereoscopically at Goethe vs. Newton: Heisenberg and Pauli on the Future of Physics

Stefano Furlan - Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin -
sfurlan@mpiwg-berlin.mpg.de

Rocco Gaudenzi - Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin -
rgaudenzi@mpiwg-berlin.mpg.de

Abstract: Goethe's polemics against Newtonian optics is not rarely mentioned as a singular instance of incompetent stubbornness, or quickly disposed of as an embarrassing incident, not worthy of Goethe's stature. Nonetheless, Goethe's presence in the mind of 20th-century physicists is not a negligible chapter, not only due to the pre-eminence of his literary work but to a suffused *Naturphilosophie* as well. Even more significantly, physicists of the calibre of Heisenberg and Pauli, while openly recognizing the 'mistakes' of the Goethean polemics in optics, tried to extract from that episode important lessons and expectations about the future of science.

Keywords: Weltformel, W. Heisenberg, J.W. Goethe, Naturphilosophie, W. Pauli, future of physics.

1. A question of methodology (or: did Heisenberg retire at age 26?)

One of the key figures of 20th-century physics, Werner Heisenberg, speaking about a peak of world literature and one of the highest symbols of his culture, Johann Wolfgang von Goethe: is it not a very intriguing topic? If, as we shall discuss, Heisenberg's reflections on Goethe did receive some attention, the way they were (not!) contextualized leaves many perplexities and, with that, much work to do. In this paper, we aim at sketching a hopefully fruitful framework to address such perplexities. Today, Goethe's polemics against Newtonian optics is often dismissed, not rarely with scientific overtones, as the stubbornness of an exceptional *dilettante* with no exceptional inclination for mathematized science. And yet, if we look at what very distinguished 20th-century physicists thought about it, we easily realize how simplistic and untenable this *idée reçue* is. To see that, it would be sufficient to collect various Goethean references (of course not limited to the *Farbenlehre*) among those physicists, from Schrödinger to London, from Sommerfeld to Born, from Heitler to Weisskopf, from Bethe to Teller, from Pauli to Fierz, from Heisenberg to Weizsäcker, from von Neumann to Nambu – just to go outside of the German-speaking area. While such an operation would perhaps not shed particular light on the history of physics itself, it would at least counterbalance the systematic omission of this important cultural aspect: an omission that has regularly taken place, and still does, among historians of physics, and not only.

In a sense, one might say that this hypothetical survey would not reveal anything shocking: after all, it is hardly surprising to find Goethe's spectre among those educated people of the German-speaking area who grew up in the late 19th or early 20th century and were thereby influenced, one way or another, by the Goethean ideal of *Bildung*. Is it not, one might ask, the same sort of influence that, say, made the *ragazzi di via Panisperna* regularly quote Dante, despite the quite narrow cultural interests of some of them? Although tempting, the analogy does not hold to a less superficial inspection and, in fact, instructs on the disanalogies. If Fermi or Segré would not have even dreamt of discussing Dante's *Quaestio de aqua et de terra* in relation to their physics, the same did not happen with Goethe. Part of the reason is – it goes without saying – the temporal distance, but the main one is that Goethe himself engaged with a tradition, that of modern science, which physicists of the 20th century still felt themselves belonging to, notwithstanding the conceptual shifts that had meanwhile occurred. Plus, many of the mentioned physicists were in different measure imbued with the relationship with nature as expressed by Goethe's lyrics. This is particularly clear in the case of Heisenberg. His collections of speeches and essays, aimed at larger audiences, have been translated and commented upon. Most of the times, however, these attempts at commenting Heisenberg's thought for how it shows through his speeches and essays – whether they were dedicated to ancient philosophy or to Goethe – are very poor and almost completely a-historical, as if the years in which Heisenberg had written them represented mere numerical labels with no intertwinement with his intellectual journey, nor, in particular, with the new physics that he was busy developing and that would culminate, during the '50s, in the so-called *Weltformel* (no less ambitious than a “world formula”: see Blum (2019)). In international literature (but what follows applies to the Italian situation as well, just to make an example) such commentaries reduce to more or less faithful paraphrases accompanied by some vague invocation of well-known and over-abused keywords such as “uncertainty”, “observer”, and so on. Otherwise, as we shall discuss, we can find some purely externalist contextualizations that seem to ignore both Heisenberg's life of the mind and what Goethe could represent there. That Heisenberg's philosophical reflections proceeded in parallel with his work as a physicist seems, *de facto*, totally ignored: if he had retired from physics in 1927, at age 26, and started to tour around the world just holding conferences at “cultural clubs”, the resulting picture would not look very different from the one emerging from those commentaries. In the following, by focusing on a specific example of his Goethean speeches, we address more precisely the aforementioned shortcomings, and point out what in our opinion represents a much richer and interesting direction of research. Since we believe that the distortions that affect Heisenberg's case are not restricted to it, by way of Heisenberg's example we wish to give a wider methodological message as well.

2. Yearning for Goethe's nature, towards the future: from the war to the *Weltformel*

The year is 1941: in the current popular imagination, that is the hour of M. Frayn's *Copenhagen*. Earlier there seems to be just the young Heisenberg of the uncertainty principle, later only silence; as for that historically dramatic moment suspended between the

two, “uncertainty” gets applied to Heisenberg’s own persona with some by now quite trite and abused conflation. Period. Of course, nobody here intends to deny that there is some degree of ambiguity – which might also be considered as complexity – in Heisenberg. However, it is not in our interest to add yet another ethical or political consideration to a debate which not rarely turns out to be quite gross and oversimplistic and, in any case, we believe that before judging one should understand. The reason we are bringing up all this is that we *can* actually try and say something more substantial than an uncertainty joke about what was going on in Heisenberg’s mind during that period, as well as later. While, obviously, any text, naïvely taken at face value, can mislead about the author’s intentions, nonetheless there are enough elements, over the *longue durée*, to plausibly assess the importance and recurrence of some thought, instead of claiming its opportunistic contingency with some more or less automated “method of suspicion”. Heisenberg’s confrontation with Goethe was certainly a trait that accompanied him throughout his life, from his youth until the last days of his life in 1976 (Heisenberg 1989, pp. 130-ss.): still, when we read some of the aforementioned contextualizations (occasionally well-documented, nevertheless) in the political and public sphere, we get the impression that Heisenberg must have felt forced more to speak about Goethe due to some “agenda” than to take part in the nuclear project during the war (see Carson (2010); actually, on p. 54, there is some insightful remark in the direction we point out in the following). This being said, we can take as a paradigmatic example a conference that during the same year we were mentioning, 1941, Heisenberg held in Budapest: it is actually one of the main texts of his reflection on Goethe and its title is *The Teachings of Goethe and Newton on Colour in the Light of Modern Physics* (Heisenberg 1952, pp. 60-76). Perhaps also because of the fact that it got later included into a collection of essays spanning many years, the chronological indication has been almost totally neglected by people who dealt with the content of the speech (even in respectable ways, such as Cappelletti (2001)). If the year gets underlined, however, it is even taken by some with acrimony (as we ourselves can testify from recent scholarly events), as if to say: “They were in the middle of World War II, and Heisenberg was entertaining himself with such amenities?” Leaving aside similar remarks, that clearly show a degree of confused hostility and ignorance, it is precisely that historical context that has to be kept in mind while reading the speech. Heisenberg was not merely giving his illustrious opinion on an episode of the past, which, by his own admission at the very beginning, had already been settled very clearly (“That battle is over. The decision on ‘right’ and ‘wrong’ in all questions of detail has long since been taken” (Heisenberg 1952, p. 60)): all his speech is pervaded by a sense of urge, by a yearning for the future (which cannot but appear even more intense, keeping in mind the historical context), by the need of bringing to an end what was started, so that, finally, there would be room to develop a new worldview and a Goethean-like relation with nature. Heisenberg was using these expressions with reference to classical physics, of which the new quantum lessons represented both the completion (still to be brought to the extreme) and the overcoming, but it is difficult not to perceive other connotations as well, given the historical moment and the thorny situation Heisenberg himself was in; after all, in 1941 the impression that the war could soon be over was conceivable – and, once it was over, developing a new worldview would indeed have been an urgent task. In the

midst of all this, science (no doubt a driving force) had to be strongly defended – Heisenberg was saying in the speech – against some “voices” that had been making accusations about the alienation of mankind, the sterility of abstractness, and so on. Whose voices were those? That is another element of contextualization which is missing in the available literature and, to our perplexity, has been simply ignored. Heisenberg does not make any explicit name there, but he was clearly taking stance in a debate that was certainly well alive in the German world of the previous twenty years. Even in absence of a direct contact or reference, it would be stimulating to put Heisenberg’s position in discussion with the criticisms advanced, just a few years earlier, by Husserl in a series of conferences that constitute his famous *Crisis of European Sciences*; a confrontation which is meaningful not only as a tension, but also for the contact points, such as Heisenberg’s awareness (as displayed in the much more articulated and extended “1942 Manuscript”, itself permeated with a Goethean inspiration – see Heisenberg (2019)) that the methods of physics do not grasp the *plenum* (or *holon*) of things and cannot exhaust nature. Other voices, against which Heisenberg’s position is more of an assertive opposition, are definitely those of Spengler and his epigones, with very arbitrary (to say the least) “interpretations” of the rise of quantum physics as the self-annihilation of science and various orgies of irrationalism: the West was at the sunset... In a sense, there seems to be a sort of battle for the soul of Goethe between Heisenberg and Spengler, since they both claim its importance for the future. Other interesting confrontations could be made with Thomas Mann’s speeches, between the ’20s and the early ’30s, where he reconsidered the old Goethe’s premonitions of technology and mass society, and so on. Heisenberg, in any case, was making no concession to points of view that could be characterized as “there is too much science” or “science has to be abandoned”; this, of course, was to be expected, but the outline that he sketched (and that we could oppose to a Spenglerian narrative) is more original and interesting. The only way out is through. The basic conceptual features of the tradition from which the worldview of classical physics sprang have to be identified and brought to the extreme; once this is done and put well in order, there will be no confusion or improper overlapping between the experience of our senses and what the practices of physics deal with (where our ordinary life-based notions are meaningful only up to a point and in some degree, as clearly shown by quantum mechanics), leaving instead room to a Goethean relation with nature. Far from disrupting natural unity, modern science – Heisenberg says with an argument in a sense more Goethean than Goethe – has since the early 19th century revealed us a deeper level of understanding of this unity, that would have been unachievable through other means. As for the repel that some felt towards abstraction or even mathematization, Heisenberg concedes that not anyone may like walking down that path, but once its fruits are mature, all of mankind will benefit from them. Not only: claiming again, in a sense, Goethe on his side, Heisenberg contests that the latter’s science is actually without mathematics and underlines the crucial role of symmetries – notion that, by the way, was going to grow dramatically in importance in the following decades, both in Heisenberg’s own theories and in mainstream research about particles. We have thus touched upon three strata of contextualization, which go well beyond some bland paraphrase which just remarks that Heisenberg was saying, somehow *super partes*, that Newton’s and Goethe’s optics belong to different

levels. There is a level of historical contextualization, which is certainly not irrelevant; in this very limited space we have just, of course, given some suggestion or offered some conjecture, but the main goal is to open such a discussion, instead of merely commenting, from an external when not alienated point of view, that Heisenberg's speeches about Goethe were part of some political agenda and so on. Surely many scientists, from the 19th century on, confronted themselves publicly with the delicate question of Goethe's crusade against Newton; politics and regimes changed, but they continued to do so. While of course it is to be expected that political and cultural powers try to give their own version of the national poet, the aforementioned search for agenda behind Heisenberg's Goethean references seem mainly to reveal a deep ignorance or misunderstanding of what Goethe could represent for Heisenberg (and not just for him). After all, one of Heisenberg's main biographies at the moment defines Goethe "a romantic poet" who – it is suggested – had an antiscientific influence on Heisenberg (Cassidy 2009): besides being cringeworthy, this is *not even wrong*, as Pauli would say. A second level of contextualization deals with the "voices" of his age; however, if we were to stop at this point, we would simply remark (still a respectable task, for sure) the cultural value of science. What we find most interesting and, at the same time, perhaps most lacking in the current literature is the third level of contextualization, where the intertwining between Heisenberg's reflections on Goethe or philosophy and his attempts at building a new physics gets manifested. The identification of the fundamental traits of scientific thought, which according to Heisenberg have to be brought to completion, led him to confront himself with the philosophical tradition, in particular the ancient Greek one. The reflections on Goethe are of course intertwined with such a task, but what is important to understand and highlight is that they are also referred to a *future* Goethean phase. In-between, building on the quantum lessons that he himself had largely contributed to unveil, Heisenberg would try to develop a new kind of physics, that he announced in the late '50s and came to be known as his *Weltformel* (Blum 2019). Those same years, not by chance, saw the appearance of his famous lectures on *Physics and Philosophy*. The often-surprising parallelism between the two is one of the tasks we will face in forthcoming work; for now, suffice it to say that the "philosophical" commentators of those lectures seem to even ignore the existence of Heisenberg's *Weltformel* – as if he, indeed, retired from physics at age 26. Just to make an already foreshadowed example: if Heisenberg invited to choose Plato over Democritus and claimed that a new conception of particles was required, he was making a reference to a conceptual shift somehow implemented in his new theory. Particles were no longer considered "atomistically" (in the etymological sense), as minimal parts or blocks of matter, but as forms of a single substance (*viz.*, a single fermionic field in the *Weltformel* Lagrangian). Forms and symmetries against an atomistic way of thinking: hence Plato over Democritus.

3. Pauli's aspiration to the *Unus Mundus*

After remarking on the kind of intimate dialogue that Heisenberg's Goethean reflections entertained with the projects of his own physics, we may highlight, as a conclusion, some

hitherto-unnoticed parallelism with another great physicist. If, as we have seen, it is easy, at least for those who know which authors they are talking about, to associate Heisenberg with Goethe's lyrical feeling for nature and aspiration towards an integration of human faculties, but also, after the shadows of the war were cast on his figure, with Faust (according to a stereotypical juxtaposition that, by the way, would deserve a less superficial use and consideration), Pauli's character immediately suggests another side of Goethe and his work: Mephistopheles – again, not in a banal or generic sense as the popular devil, but as that distillate of worldly wisdom and irreverence which was nicely underlined, among others, by V. Mathieu in *Goethe e il suo diavolo custode*. Indeed, to reinforce this impression, we may also recall the *Faust*-inspired parody staged in Copenhagen, at Bohr's court in 1932, with Pauli's participation (as Mephisto, needless to say). In any case, Pauli too had his own version of Goethe, as can also be seen by mentions here and there in his beautifully written epistolary, where at some point Pauli and his assistant Fierz even started roleplaying, cheek-in-tongue, as Goethe and Eckermann (Pauli 2005, p. 108; 226). Beyond all these connotations, which in any case would require more extensive and systematic analysis, we can find a remarkable convergence of views with Heisenberg about the future of physics. Despite the heated and, on Pauli's side, quite harsh conflict between the two of them regarding the *Weltformel* or, we could say, about the way to reach that future, they definitely shared, under the aegis of Goethe, the aspiration towards a kind of unity and integration that went far beyond the mere unification of fundamental interactions, as we would say today. The fact that Heisenberg himself was well aware of this lesser known aspect of Pauli cannot be deduced solely from their personal relations, but can be also inferred from the essay he dedicated to Pauli's "philosophical outlook" right after his death, shortly after the *Weltformel* events (Heisenberg 1974, pp. 30-38). Of course, their influences and viewpoints were different, or at the very least well distinct, given – *inter alia* – Jung's influence on Pauli. The passage that we wish to bring attention to, in fact, comes from a 1955 text which is deeply imbued with Jung's thought and his archetypes. In the wake of the latter, Pauli had spent some time to examine the Kepler-Fludd dispute, where he believed he could find manifestations of archetypal images as well as of "complementary" attitudes (i.e., Kepler's and Fludd's) towards the world, at that point when the waters of alchemy and the emerging new science (the moment of *Dämmerung*, when the contours become dim) were still mixed. Pauli resorted to a sort of generalized version of the principle of complementarity, as Bohr himself had done in other areas of knowledge by the way, in order to take into account both conflicting viewpoints. In this way, he was invoking for the future a new unitary view of nature, of psyche and matter, as once upon a time realized – at least in the Jungian reading – by the alchemists' *Unus Mundus*, where "unus" really stands for "single one", beyond dualisms. In the middle of these considerations, Pauli made a parallelism between the Kepler-Fludd dispute and Goethe's polemics against Newtonian optics, and suggested reading the latter analogously, in terms of complementarity. After remarking on Goethe's "intuitive" power (notion that, of course, can be read with Jungian connotations, but we also underline that, according to Pauli and not only, it was a defining feature of Heisenberg as well) in relation to Nature, he adds (Pauli 1994, p. 146):

But the general attitude of man towards nature which alchemy expresses, directed as it is towards the experience of unity, should not simply be equated to its outgrowths, among which was the familiar ever fruitless and often fraudulent fabrication of gold. Goethe's scientific conceptions, which were so often in opposition to official science, become more comprehensible in the light of their alchemical sources, the terminology of which comes to light quite plainly, especially in "Faust". Goethe was an emotional type and hence more susceptible to the experience of unity – "nichts ist drinnen, nichts ist draußen, denn was innen, das ist außen" (nothing is inside, nothing is outside, for what's inside that is outside) – than to critical science. In this regard it was alchemy alone that suited his emotional attitude. This is the background of Goethe's antagonism to Newton, a topic upon which much has been written. Less well-known are the earlier polemics between Kepler, representing the science which was just developing, and the English physician Robert Fludd, who belonged to the order of Rosicrucians and represented the Hermetic tradition. I believe that one is justified in applying to Kepler-Fludd and Newton-Goethe the old saying "Was die Alten sungen, das zwitschern die Jungen" (the young twitter as the old folk sang).

This is a nice and quite significant resonance with Heisenberg and, we think, it would not be an easy task to reduce all this to some contingent political agenda. For sure, we may at least say that both Pauli and Heisenberg could agree with Nietzsche (*Human, All Too Human* §221) that the age of Goethe was still to come.

References

- Blum A.S. (2019). *Heisenberg's 1958 Weltformel and the Roots of Post-Empirical Physics*. Berlin: Springer.
- Cappelletti V. (2001). *Dall'ordine alle cose. Saggio su Werner Heisenberg*. Milano: Jaca Book.
- Carson C. (2010). *Heisenberg in the Atomic Age. Science and the Public Sphere*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cassidy D.C. (2009). *Beyond Uncertainty. Heisenberg, Quantum Physics, and the Bomb*. New York: Bellevue Literary Press.
- Heisenberg W. (1952). *Philosophic Problems of Nuclear Science*. London: Faber & Faber.
- Heisenberg W. (1974). *Across the Frontiers*. New York: Harper & Row.
- Heisenberg W. (1989). *Encounters with Einstein*. Princeton: Princeton University Press.
- Heisenberg W. (2019). *Reality and Its Order*. Berlin: Springer.
- Mathieu V. (2002). *Goethe e il suo diavolo custode*. Milano: Adelphi.
- Pauli W. (1994). *Writing on Physics and Philosophy*. Berlin: Springer.
- Pauli W. (2005). *Scientific Correspondence with Bohr, Einstein, Heisenberg, a.o.*, Volume IV, Part IV A: 1957. Berlin: Springer.

The Last 30 Years of Historiography of Physics: *Quo Vadis?*

Antonino Drago - Università “Federico II” Napoli - drago@unina.it

Enrico Giannetto - Università di Bergamo - enrico.giannetto@unibg.it

Abstract: In the period 1960-1980 the panorama of the historians of science was dominated by an effort to connect history of physics with either social drives (according to an externalist view) or philosophy (internalist view). But the former one was unsuccessful in establishing a determined link, whereas the latter one was only partially successful. Mainly Koyré, Kuhn and Lakatos made well-known their viewpoints on classical physics. But they left many unresolved questions, which undermined their results. Disenchantment followed. Assuming that classical physics is unproblematic, a growing number of professional historians focused attention on the quantitative growth of historical case studies on physics of recent times, although history of physics has not still achieved a defined methodology. In the present communication we will quickly review the main attempts over the past 30 years to renew the program of answering the questions that this history suggests. At the end we look for the possibility of a new conceptual frame for the history of science.

Keywords: History of Physics, Historiography, Physics, Logic, Mathematics, Experiments, Philosophy, Historical method in science, Professionalization.

1. Introduction

“History of science without philosophy of science is blind. Philosophy of science without history of science is useless”. This motto of Imre Lakatos (of Kantian origin) dominated the panorama of the historians of science in the past period 1960-1990. However, this effort to connect together history and philosophy on the study of physics was only partially successful. A period of uncertain perspective followed. In the present communication we will analyze the main attempts of the last thirty years to renew the program of achieving an account of history of physics capable of answering the great questions that this history suggests.

2. The externalist view of history of physics

Externalist historians of science (mainly Marxist ones) wanted to link through deterministic causes economic events with scientific events. A celebrated instance of this story is represented by the communications of the Soviet Union delegation to the Second International Conference in London 1931 (Bukharin et al. 1971).

Prominent scholars were the following ones: Hessen, Bukharin, Hogben, Bernal, Haldane, Lilley, Farrington, Needham. The latest relevant ones are Sohn-Rethel (1975) and those of the Italian group of *L'ape e l'architetto* (Ciccotti et al. 1975).

3. The internalist view. The “new historiography of science”. Koyré, Kuhn, Lakatos

The internalist view was the most relevant one. Within it, Alexander Koyré's study on the birth of modern science represented a decisive step to start what has been called a “new historiography of science”. His study gained the position of a classic. In the '60s Thomas S. Kuhn's book on the history of classical physics and chemistry obtained enormous resonance in the scientific world and throughout the world. It represented a cornerstone in the historical development of the history of science. Lakatos then suggested a softer interpretative scheme which in principle is applicable to an unlimited number of research situations. In the '70s a “structuralist view” of science was born through a full mathematical translation of physical theories. Structuralist scholars showed that a study of history of science through a mathematical framework is possible because they obtained a complete system of relationships among the physical theories, in relevant agreement with the historical development.

4. The unresolved problems left by the historians of this period (1960-1990)

Let us first consider the problems left open by externalist historians. After Stalin retreated from proletarian science in 1952, only the non-Stalinist people, i.e., Marxist students and theorists, fought against science declared neutral to the world class struggle. The leaders of the student movement started to study the history of science from scratch without any support from Marxist philosophers of science (who had sided with Stalin's move) and academia (which at the time almost excluded Marxist scholars). The common tenet was that Engels-Marx's philosophy was enough, that is Engels's tenet that Marx represents the apex of German philosophy; moreover, this philosophy represents the apex of the entire modern philosophy. In the end, they all applied the usual (i.e., Friedrich Engels' *Anti-Dühring*) externalist view of the relationship (the history of science, being a cultural superstructure, is determined by the structure of economic factors). Therefore, after the '60s Marxist historiographers elicited an attempt at a new historiography, yet by lacking of a previous philosophical study. No surprise that these historians were unable to suggest a new critical analysis of Marx's and Engels' writings

on science, nor the suggestion of an interesting analysis of a scientific case-study concerning a period of time less than 250 years.

Let us now consider the problems left open by internalist historians. Koyré's history concerned nothing more than the birth of modern science only, not even the entire case of Newton (Koyré 1957; Koyré 1975). This study concerned too specific a period of time to establish a well-defined methodology for interpreting the entire history of science. The next, Kuhn's celebrated analysis (Kuhn 1969) met with radical criticisms of his at all new categories. Moreover, he failed to apply his celebrated categories to the very impressive revolution generating modern physics, the birth of quantum mechanics; he reduced the goal of his book (Kuhn 1978) to establishing a mere priority. The application of Lakatos' suggestions on historiography was partially or totally unsuccessful in all the case-studies which is was applied to (de Regt 1996, p. 31). The structuralist historians of physics built a brilliant web which however, like a spiderweb, is detached from the common view on the physical theories. In addition, many specific problems have remained unsolved, notwithstanding even harsh debates on them: 1) The "idealism" of Koyré's categories, in particular the attribution of a Platonic attitude inherent in Galilei's mathematics. 2) Accurate definitions of Kuhn's categories (normal science, paradigm, anomaly, crisis, revolution, Gestalt, succession of paradigms). 3) The failure of Kuhn's attempt to apply his categories to the birth of quantum mechanics. 4) Kuhn's thesis of the non-cumulativity of scientific knowledge; 5) Kuhn's notion of incommensurability between two theories; 6) A clear instance of Lakatos's methodology. 7) The mutual relationships of all these historiographies. 8) Their relationships with the past philosophies of science (in particular, Kant's one).

5. The disenchantment

Disenchantment followed. We recognize the following causes.

1) A first cause of the institutional growth of science. In the past 60 years, 90% of all-time scientific production has been produced. It is natural to try to register and summarize this flow of scientific production without caring for its interpretation.

2) A second cause of an institutional nature. The exceptional growth of the fascinating studies on astronomy and astrophysics allowed physicists to tackle problems of general nature at low professional costs, i.e. without acquiring an entirely new expertise in both the history of science and the philosophy of science.

3) A cause of a technical nature. In the '30s a program was indirectly launched by Albert Einstein and espoused by mainly Marxist scholars; they all wanted to change the most relevant theory of modern physics, i.e., quantum mechanics by discovering its hidden variables of a classical nature and hence change the entire history of the relationship between classical and modern physics. But they have not been able to indicate new foundations of quantum mechanics, which, despite all criticism, works perfectly. Moreover, due to negative experimental evidence, after the year 1999 this program was abandoned by almost all of its supporters.

4) A mathematical cause. In the '70s the novelty of catastrophe theory promised a

radical change in the mathematics of theoretical physics. Yet, after two decades this new theory manifested its nature as a mere variant of traditional formalism, without an alternative role for mathematics in physics and eventually the foundations of both physics and history of physics.

5) The weakness of the previous history of physics. Beyond the aforementioned works by Koyré, Kuhn and Lakatos, the influence of Feyerabend was great. Furthermore, he did not clearly define his philosophical and methodological position, which however was of a radical nature; his imprecision allowed critics to consider him an anarchoid and an irrationalist. Even the attempt of the new historiography to link history and philosophy outside any previous philosophy of science met with the accusation of “irrationality” (which in Kuhn’s case concerns the ill-defined concepts of non-cumulativity and incommensurability). Solons were unleashed in defense of the uniqueness of reason (in Italy the book, *L’ape e l’architetto* by Cini and others was beaten by the humanists: Colletti, Paolo Rossi, etc.).

6) A row philosophy of physical history. An unavoidable growth. Almost all scholars followed the idea of a theoretical scientific progress without internal alternatives, that is they thought that classical physics was irreversibly outdated (no attention to divergent theories in classical physics: e.g., thermodynamics) and that after 1905 physics was completely new and hence constituted the only subject for an investigation into the foundation of physics.

7) A new technical-philosophical address. Complexity theory. The application of complexity theory to the history of science led to the deconstruction of some “great narratives”: scientific method, modern science, scientific revolution, incommensurability became lost concepts. But little was added as either new analyses of study-cases or methodology.

8) A common scientific academic failure on the investigation of the foundations of mathematics and logic. Historians of physics have also been engulfed by the crisis of research on the foundations of logic and mathematics. This research has undergone major crises, but the mainstream was successful in pursuing previous programs by merely “relaxing” their requirements, so that to de-value new research on the foundations.

9) A great widening of the field of the history of science. Over the past few decades, the field to be examined greatly widened due to the birth of many other specific disciplines of history (and philosophy) of branches of science: chemistry, biology, neurophysiology, psychology, cognitive sciences, etc. At present the experience accumulated by the history of physics was not transferred to the other fields or simply transmitted.

10) A sociological cause. After the ’60s in each Physics department and slowly afterwards also in each branch of science the “little science” ended. A free choice on the part of a researcher on the subject of his/her research was no longer possible; rather, he/she was pushed to produce as much as possible for an already planned kind of career. Hence, the number of historians of physics slowly decreased.

11) A cause of a metaphysical nature. Having been surpassed in the period 1930-1990 by historians of physics of the “new historiography”, the philosophers of science re-gained relevance by relaunching the great neo-positivist dream of an essential unity

of science to be achieved through a series of more adequate definitions of the notion of inter-theoretical reduction. In this reductionist program the possibility of an incommensurability is cancelled a priori. A succession of paradigms (Kuhn's thesis) is considered never to have occurred. The scientific revolution (an expression born in the 18th century) is no longer remembered. This program prompted a great and harsh debate which absorbed a great deal of attention. A specific debate became ever more relevant; its attention is on the following dilemma: unity or pluralism in science? In the case of pluralism, the history of past science, implicitly supposing a unitary science, would be rewritten entirely: a gigantic task.

6. Professionalization wanted

A last but not least cause was the aim of historiographers themselves; they finalized their great effort to develop the "New historiography" in search of an academic stability for their knowledge so accumulated, and therefore a stable position in the academic institution. A number of chairs of History of Science and History of Physics have been instituted. At the same time a book (Kragh 1987) appeared which first discussed the method of historiography, but almost ignoring both the externalist historiography and the new historiography, to describe a historiography of physics as a mere branch of the more stable and accredited academic field, the general historiography.

7. A new course after 1990

After this date a new panorama started. Assuming once again that classical physics is substantially unproblematic, a growing number of professional historians focused their efforts on accumulating even more studies of quantum mechanics and – almost for the first time – on contemporary physics. What was unachievable from the top of philosophical categories was searched from the bottom through an inductive attitude, i.e. by detailed studies of as many as possible historical cases and events. In such a way it was hoped that what has not been achieved from the aforementioned historical-philosophical viewpoint [i.e., decisively turning the attention of the physics community to the history of physics] will be achieved by a quantitative growth of historical case-studies on the physics of recent times. This situation is unsatisfactory also because the new humanist historians of science have no detailed mathematical and scientific knowledge, whereas the physicists who devote themselves to history, write little more than chronological reports; i.e. without a real history. History of science, and in particular history of physics, was reduced to a mere "historical history", i.e., a philosophically neutral history preserving some foundation myths (Galileo, Newton, Darwin, Einstein) and accumulating micro-histories without any macro-historical meaning.

Notice that whereas in the previous period the crucial case-study was considered the birth of quantum mechanics, the present widely scattered research manifests no preferred case-study.

8. A new conceptual frame for the history of science. For a re-starting of a self-reliant historiography of physics

At present there is no longer a general frame for historiographic work in physics. But in such a way history of physics remains under-theorized, when compared with other fields because it lacks a defining methodology.

In the following we want to sketch a new conceptual framework for the work of history of science: the theological, philosophical (ontological and gnoseological), ethical, conscious and unconscious presuppositions of physics, and the technical-experimental, mathematical, logical practices of modern physics as a new philosophy of Nature with its syntactic, semantic and pragmatic dimensions. This course can start when a basic problem among those that remained unresolved in the previous period 1960-1990 will be tackled and solved. Surely, the main problem to be solved, as it constitutes the same *raison d'être* of the discipline, is its method of historical interpretation (see sect. 6 of Kragh's book: *How many problems to be solved in order to accurately define a historical method in Physics?*). The following list of questions tries to define this method.

1) The first problem is to decide the relationship between externalist and internalist methods: two viewpoints, to be considered completely separate? Or should we consider them related to each other (in a way to be discovered)?

2) If the gap between a socio-political theory of knowledge and the philosophy of (the history of) knowledge is too deep to be filled, must the method of history of physics derive rather from a philosophy of knowledge? If so, has one to follow a classical philosophy (Descartes, Leibniz, Kant, Hegel, Engels, etc.) or a new one (maybe still to be suggested)? Are there philosophical categories which can be conclusively applied to the history of physics (even to that of modern physics)? More in general, are there Buddhist, Taoist categories useful for interpreting the history of modern physics?

3) If the past philosophy of knowledge on the entire historical development of science is appraised as inconclusive, is the wanted method a question to be resolved by historians themselves? If so, must this innovation derive from the historical method of general history, in particular the history of the humanities? Yet, is this general method unique, or does one have to choose the most appropriate one? On what kind of operating parameters?

4) If, on the contrary, the gap between the humanities and the scientific studies is too deep, do the historians of science (and, in particular, of physics) have to discover their method by themselves?

5) How to decide the validity of the legacies of the main historiographers of the past (from Mach to Kuhn) on this point? Could a study of the categories of all historians be the starting point for a new method?

6) Since all the methods (hinted) of the past were partial and/or inconclusive, are those of Koyré and Kuhn sufficient to suggest a decisive improvement? In other terms, how do the two main different historiographical methods of science – that of Koyré (characterized by such an idealistic mathematics in theoretical physics as to involve a

connection with (classical) philosophy) and that of Kuhn (characterized by a set of categories connecting theoretical physics with sociological-historical notions) advance?

7) Since the historiographic method is interrelated to the foundations of theoretical physics, how to discover them through empirical studies of a specific prominent case-study of a decisive theory? In other words, which physical theory is the most promising subject for discovering the foundations of physics through an empirical historical and philosophical analysis? One can consider: i) Newtonian mechanics. ii) The first different kinds of mechanics (those depending on extremants or on the principle of virtual works); are their differences of a technical relevance only (Mach) or do they suggest the foundational issues? iii) Physical optics as breaking the monopoly of Newtonian mechanics on the theorization in physics. iv) Thermodynamics, as the first theory breaking the monopoly of Newtonian mechanics over theoretical physics. v) Electromagnetism as the first theory built from outside the world of all our sensations. vi) Special relativity as the breaking point in the historical development of theoretical physics due to its revolution with respect to Newton's mechanics. vii) Quantum theory, as it was born as the most relevant revolution in the history of physics and as the more accurate theory of modern physics. viii) Or rather, do the best advancements in present theoretical physics promise to give the suitable suggestions on the foundations of physics and also on the methodology of history? In other words, is the history of the big-bang, or the string theory, or the quark theory instructive for the historical method?

8) Given the advancements of the mathematics of the 20th century, one can ask: is the kind of mathematics (either differential equations or symmetries; either classical mathematics or constructive mathematics) a basic parameter of the foundations of theoretical physics and hence of the historical method?

9) Given the advancements of mathematical logic in the 20th century, one can ask: is the kind of logic (either classical logic or intuitionist or even paraconsistent logic) a basic parameter of the foundations of theoretical physics and hence of the historical method?

10) Given the inconclusiveness of the long search for a historical method inside physics, can its relationships with the (history of) biology, psychology, sociology, politics suggest a general historical method for science?

11) Is the unity of science the basic issue of the foundations of science and hence of the historical method, or on the contrary is the pluralism of the foundations the unavoidable situation of science, and hence of physics, and hence of the historical method too?

References

- Batterman R.W. (2001). *The Devil in the Details. Asymptotic reasoning in explanation, reduction, and emergence*. Oxford: Oxford University Press.
- Bukharin N.I. et al. (1971). *Science at Crossroad*. London: Frank Cass.
- Cerreta P., Drago A. (2016). *History and Reason. The Three Historiographic Paradigms Extracted by Kuhn from three Scientific Theories* [online]. URL:

- <<http://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=67844>> [access date: 30/06/2021].
- Ciccotti *et al.* (eds.) (1975). *L'ape e l'architetto*. Milano: Feltrinelli.
- de Regt, H. (1996). "Philosophy of the Kinetic Theory of Gases". *British Journal for the Philosophy of Science*, 47, pp. 31-62.
- Drago A. (1982). "Le implicazioni teoriche dei manoscritti matematici di Marx". *Testi e Contesti*, 8, pp. 107-116.
- Drago A. (2004). *Storiografia della fisica classica e teoria del Caos: Prigogine e Cini*, in Leone M., Paoletti A., Robotti N., *Atti XXII Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia* (2002). Recco: Micorart, pp. I 75-194.
- Drago A. (2017). *Koyré's Revolutionary Role in the Historiography of Science*, in Pisano R., Agassi J., Drozdova D. (eds.), *Hypotheses and Perspectives in the History and Philosophy of Science. Homage to Alexandre Koyré 1892-1964*. Berlin: Springer, pp. 123-141.
- Koyré A. (1957), *From the Closed World to the Infinite Universe*, Baltimore: The John Hopkins Press.
- Koyré A. (1965), *Newtonian Studies*, Cambridge Mass.: Harvard University Press.
- Kragh H. (1987). *An Introduction to the Historiography of science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn T.S. (1969). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago University Press,
- Kuhn T.S. (1987). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*. Chicago: University of Chicago Press.
- Smith C., Wise M.N. (1989). *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sohn-Rethel A. (1975). "Science as an Alienated Consciousness". *Radical Science Journal*, 2/3, pp. 65-101.

HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF PHYSICS

A Transition in the Notion of Interaction in Classical Mechanics

Angelo Pagano - INFN; Dipartimento di Fisica e Astronomia Università di Catania - angelo.pagano@ct.infn.it

Emanuele V. Pagano - INFN, Laboratori Nazionali del Sud - epagano@lns.infn.it

Abstract: In Newton's early mechanics, the two notions of *impenetrable body* or *solid* and *interaction by shock* or *contact* had the role of elementary concepts. The modern notion *interaction at a distance* had the value of *phenomenological* model, useful provisory to describe the measurable effects of accelerations of separated (in space) bodies. In the post-Newtonian mechanics, the notion of *interaction at a distance* assumes the value of *fundamental* assumption. As a consequence, a transition in the notion of *interaction* among bodies from early Newtonian to Post-Newtonian theory of (non-relativistic) mechanics is evidenced in this paper.

Keywords: Classical mechanics, Interactions bodies-point like particles.

1. Introduction

The law of Universal Gravitation was the first example of *interaction at a distance* between two spatially separated celestial bodies, although (*Hypotheses non fingo*) it was not interpreted by Newton (1642-1726). In Laplace's (1749-1827) *Mécanique céleste* (Laplace 1798) a new step was achieved by the reduction of all natural phenomena to mutual actions between (any) two massive bodies. However, no ontological position was assumed by Laplace (Evans 2002, pp. 30-33). Indeed, Laplace considered gravitation as "a general phenomenon which, being subjectable to rigorous calculation, gives the complete explanation of all the celestial phenomena... it is uniquely under this point of view that I have envisaged (gravitational) attraction in my work". The English translation of the original France letter of Laplace to Le Sage (Laplace 1797) is from (Evans 2002, p. 33).

The notion of *interaction at a distance* found some relevant oppositions, e.g., by Leibniz (1646-1717) (Vailati 1997). Newton himself clearly declared his unsatisfactory position:

That gravity should be innate, inherent, and essential to matter, so that one body may act upon another at a distance through a vacuum, without the mediation of anything else, by and through which their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical

matters a competent faculty of thinking can ever fall into it. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws; but whether this agent be material or immaterial, I have left open to the consideration of my readers (IV letter of Newton to Bentley. February 25th, 1693).

Interesting observations on the argument are found also in (Janiak 2004; Gerstein 1989).

From a logical point of view, a contradiction between the early notion of *impenetrable solid* and the modern concept of *energy conservation* has been argued (Pagano A., Pagano E.V. 2022): if any transfer of kinetic energy from relative motion to internal degrees of freedom is not allowed by the notion of *solid*, then the mutual *impenetrability* between the interacting bodies would imply the destruction of their relative kinetic energy, i.e., two *impenetrable solids* coming into contact with opposite velocity will be positioned at rest by the shock. This latter result has been found by d'Alembert (1758, Problem IX). Evidently, the finite size of the solid (having a volume) and the interaction by shock are incompatible with the notion of conservation of the energy.

On the other hand, the success of the notion of *interaction at a distance* in explaining the phenomena of celestial mechanics changed the opinion of undecided savants and the new concept became progressively a common concept in mechanics (Hesse 1955). At the same time, the notion of solid and the mathematical treatment of inelastic collisions by shocks between two solids, as formulated in (d'Alembert 1758) have been abandoned. Consequently, *point-like particles* (no size) and *interaction at a distance* replaced the notions of *impenetrable solid* and *interaction by shock* in the foundation of mechanics. The historical result was that the elements of the foundation of the mechanical theory, as it is today understood, are substantially different from the ones of the pioneers, like Galileo (1564-1642), Newton, d'Alembert and others. Unfortunately, the presentation of Newtonian theory in the frame of its historical evolution in educational textbooks is not adequately treated as an evolutionary system of thought. Rather it is presented in a way that appears as a preparatory phase to the modern paradigms: relativity (for particle velocity close to the speed of light in vacuum) (Einstein 1905) and quantum mechanics (Heisenberg 1927).

From a historical point of view, the term of point-like particle in Newtonian physics was firstly introduced by Boscovich (Boscovich 1763; Guzzardi 2019). Lagrange (Lagrange 1788; Gallavotti 2013) in his treatise did not use the term point-like particle. D'Alembert used the terms *particules*, *corpuscules*, *petit corps* to indicate bodies of vanishing volumes (d'Alembert 1758); Laplace in his *Celestial mechanics* dealt with "l'équilibre et de la composition des forces qui agissent sur un point matériel" (Laplace 1798, p. 3) without explanations, as well he did in the *Exposition du système du monde* (Laplace 1827, p. 186).

The transition from the concept of *solid* to *point-like* particle had important consequences: if the elementary objects of post-Newtonian mechanics had no sizes (i.e., they are point-like particles) any contact by shock between two of them is not logically permitted. The notion of physical interaction should be guaranteed only by an *interaction at a distance*. So, we observe a transition in the mechanical theory, with the abandon of

the elementary notions of solid (having volume), impenetrability and interaction by a shock (contact) in the foundation of mechanics. Historical examples of the new foundation of the mechanical theory by the concepts of point-like particles and interaction at a distance can be found also in Euler's (1736) and Hertz's (1894) treatises.

In modern textbooks dedicated to educations, the interaction by shocks among bodies (having size) is still treated; but only as a useful phenomenology in describing the collisions between macroscopic bodies (e.g., billiard balls) where empirical *ad hoc* constraints are used.

In sect. 2 the notion of *interaction at a distance* is discussed in the framework of the classical mechanical model of gravitation. In sect. 3 the conclusions of the present research are given.

2. The notion of interaction at a distance and the gravitation

The term of *interaction at a distance* in modern Newtonian mechanics is understood as an action (vector-force) \mathbf{F}_{ij} between two *point-like particles* i and j , satisfying the action-reaction III Newtonian law. Typically, the vector $\mathbf{F}_{ij} = f_{ij}(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|)\hat{\mathbf{r}}_{ij}$ is a suitable conservative time-independent model, where f_{ij} is a scalar quantity as a function of the distance between particle i and j , by assuming the physical prescription of vanishing forces at large distance: $f_{ij}(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|) \rightarrow 0$, for $|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j| \rightarrow \infty$ and $\hat{\mathbf{r}}_{ij}$ is the unitary vector along with the direction $i \rightarrow j$. In an isolated system of finite number $N \geq 2$ of particles (as for example the solar system), the action (force) acting on a particle j is given by the vector sum: $\mathbf{F}_j = \sum_{i \neq j}^{N-1} \mathbf{F}_{ij}$. As a consequence of Newton's second law, the motion of the N particles (with no constraints, for the sake of simplicity) has to be determined by solving the system of differential equations:

$$\begin{cases} m_1 \mathbf{a}_1 = \mathbf{F}_1 \\ \dots \dots = \dots \\ m_N \mathbf{a}_N = \mathbf{F}_N \end{cases} \quad (2.1)$$

where m_i and \mathbf{a}_i are masses and accelerations of the particles $i = 1, 2, \dots, N$. In the case of two-body dynamics, as relevant historical example, by assuming Kepler's and Tycho Brahe's observational laws, it was possible to deduce the law of the attractive force (gravitation) between the sun and the planets (Speiser 1996; Lipking 2020).

Unfortunately, analytical solution to the full mathematical problem (2.1) (when all the forces are known) is not known and, consequently, methods of approximations (such as perturbation methods for instance) have been introduced in the theory, at different times.

A significant example of this classical perturbation procedure was given in solving the famous problem of the anomaly of Mercury's perihelion (Le Verrier 1859; Clairaut 1749; Marcolongo 1914). For particles interacting by a gravitational force whose inten-

sity is inversely proportional to the square of the distance between the two particles, the law of force between the two particles \mathbf{i} and \mathbf{j} of masses m_i and m_j is given by:

$$f_{ij}(|r_i - r_j|) = G \frac{m_i m_j}{|r_i - r_j|^2} \quad (2.2)$$

In (2.2) the dimensional constant G is known as universal gravitational constant.

The disagreement between experimental data of Mercury's perihelion and the classical perturbation model in the case of Eq. (2.2) was 42.9 ± 0.2 seconds of arc per century. However, this very small deviation ($< 4\%$) from the perturbative Newtonian model was generally interpreted as one of the proof of Einstein's general relativity (Dicke 1964, p. 1). At the atomic and nuclear levels, the modern *scattering theory* (Taylor 1972) was started by Rutherford's famous experiment (Rutherford 1911) by assuming a repulsive Coulomb force between an α particle and a charged nucleus similar to formula (2.2) where the masses are replaced by the charges $Q_\alpha = 2e$ and $Q_{nucleus} = Ze$, e is the elemental charge and Z is the atomic number of the nucleus (gold in Rutherford experiment) and the constant G is replaced by the universal electrostatic constant K in vacuum.

In the modern quantum mechanics, the interaction among particles is understood by the notion of *interaction by a field*. Each field is associated with a virtual field-particle or carrier that is virtually exchanged among the interacting particles during an interaction time δt linked with the corresponding energy scale δE by the so-called Heisenberg's uncertainty principle (Heisenberg 1927): $\delta E \times \delta t \geq h$; where $h = 6.62517 \times 10^{-34} Js$ is the Planck constant (universal constant). Example of field-particles are: photon (electromagnetic field), graviton (gravitational field), gluon (quark field), etc.

However, is out of the purpose of the present paper to describe the complex theoretical treatment of the modern quantum field theory. For an elementary description of this fundamental argument, consult the textbooks: (Mann 1947) and (Weinberg 2015).

3. Conclusion

The early concept of interaction by shock (i.e. *contact action*) among *impenetrable bodies* or *solids* of Laplace's mechanics has been examined. It is argued that those early concepts became in conflict with the modern principle of energy conservation. Consequently, with the advent of the ideal concepts of *point-like particles* and *interaction at a distance* in the modern description of the measurable reality, the foundation of mechanics has undergone a paradigmatic change: from *action by a contact* between solids to *interaction at a distance* between *point-like particles*. This change is outlined in this paper.

References

- Boscovich R. G. (1763). *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*. Venice: Remondini.
- Clairaut A. (1745). “Du system du monde dans les principes de la gravitation universelle”. *Mémoires de l’Académie Royale des Sciences*, pp. 329-364.
- d’Alembert J. (1758). *Traité de dynamique*. Paris: David.
- Dicke R. H. (1964). *The theoretical significance of experimental relativity*. London: Blackie and Son Limited.
- Einstein A. (1905). “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”. *Ann. Phys*, 17, pp. 891–921.
- Euler L. (1736). *Mechanica sive motus scientia analytice*, <https://archive.org/details/mechanicasivemot02eule>
- Evans J. (2002). *Gravity in the century of light sources, construction and reception of Le Sage’s theory of gravitation*, in Edwards M. R. (ed.), *Pushing Gravity: new perspectives on Le Sage’s theory of gravitation*. Montreal: Apeiron.
- Gallavotti G. (2013). “Aspects of Lagrange’s mechanics and their legacy”. *Eur. Phys. J. H*, 38, pp. 595–615.
- Gerstein D. (1989). *Science and philosophy: Past and present*. London: Penguin.
- Guzzardi L. (2019). *Points, distances, determinations: Ruggiero Boscovich’s theory of natural philosophy*. Dordrecht: Springer.
- Heisenberg W. (1927). “Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik”, *Z. Physik*, 43, pp. 172-198.
- Hertz H. (1894). *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*, Band III. Leipzig: Barth.
- Hesse M.B. (1955). “Action at a distance in classical physics”. *Isis*, 46 (4), pp. 337-353.
- Janiak A. (2004). *Isaac Newton: Philosophical writings*. Cambridge: University Press.
- Lagrange J.L. (1788). *Mécanique analytique*. Paris: Desaint.
- Laplace P.S. (1797). Laplace to Le Sage (letter), 17 germinal an 5 (6 April 1797). Genève, BPU: Collection de dossiers ouverts d’autographes (D.O. 25/59).
- Laplace P.S. (1798). *Traité de mécanique céleste*. Paris: Duprat.
- Laplace P.S. (1827). *Exposition du système du monde*, 6th ed. Bruxelles: De Vroom.
- Le Verrier U. (1859). “Lettre de M. Le Verrier à M. Faye sur la théorie de Mercure et sur le mouvement du périhélie de cette planète”. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences*, 49, pp. 379–383.
- Lipking L. (2020). “Johannes Kepler and twenty-first-century science”. *Nuncius*, 35 (2), pp. 411-428.
- Mann R. A. (1947). *The classical dynamics of particles*. New York: Academic Press.
- Marcolongo R. (1914). “Il problema dei tre corpi da Newton ai nostri giorni”. *Atti della R. Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche*, Serie 2a, 25 (6), pp. 1-77.
- Pagano A., Pagano E.V. (2022). “Democrito: Una rivisitazione del modello meccanico”, *Quaderni di Storia della Fisica*, 26, pp. 3-20.
- Rutherford E. (1911). “The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom”. *Philosophical Magazine*, 21, series 6, pp. 669-688.

- Speiser D. (1996). “The Kepler problem from Newton to Johann Bernoulli”. *Archive for History of Exact Sciences*, 50, pp. 103–116.
- Taylor J.R. (1972). *The quantum theory of non-relativistic collisions*. New York: Wiley.
- Weinberg S. (2015). *To explain the world: The discovery of modern science*. London: Allen Lane.
- Vailati E. (1997). *Leibniz and Clarke: A study of their correspondence*. New York-Oxford: Oxford University Press.

Dirac's Book of Quantum Mechanics According to Two Recent Results

Antonino Drago - University "Federico II" of Naples - drago@unina.it

Abstract: In the first edition of his book *The Principles of Quantum Mechanics* Dirac implicitly approached a new model of theoretical organization, which has been later recognized through a comparison of some past theories. Moreover, in 2009 Strocchi found out a suitable Poisson algebra inside which Dirac's analogy between commutators and Poisson brackets is an exact proportion. These two novelties suggest to rationally re-formulating Dirac's book as entirely based on the mathematics of the algebras and formally organized in the new alternative way. The result is a sketch of an up-to-date and innovative textbook on quantum theory. It is remarkable that its logic is the intuitionist one.

Keywords: Dirac's book, Dirac's analogy, Its Morchio and Strocchi's improvement to a proportion, Poisson algebras, Alternative model to an axiomatic organization, Intuitionist logic, New formulation of quantum mechanics.

1. Introduction

In a previous paper (Drago 2021) I remarked that the first edition of the celebrated Dirac's book (Dirac 1930) on quantum theory (QT) explicitly rejected the axiomatic organization. Although he was unsuccessful in offering an alternative organization, however his theory was based on an (incompletely proved) analogy, which may be translated into the proposition: "It is not false that...", i.e. a doubly negated proposition whose corresponding affirmative proposition, "Commutators are equal to Poisson brackets", is not semantically equivalent to the former one owing to the lack of evidence of the latter one. Hence, in this case the double negation law fails and the former proposition pertains to intuitionist logic (Dummett 1977, p. 24). A proposition of this kind will be called DNP. Moreover, Dirac's book makes use of several DNP and an *ad absurdum* proof (Drago 2021). All these features pertain to the alternative organization to the axiomatic one: a problem-based organization (PO) (Drago, Perno 2004) (Drago 2012). In addition, Giovanni Morchio and Franco Strocchi obtained (2018, ch. 7) a suitable Poisson algebra inside which Dirac's analogy between commutators and Poisson brackets is an exact proportion.

The present paper is aimed at showing that a re-formulation of Dirac's book according to the two novelties is possible.

In the following, the suggestions for the re-formulation of Dirac's book will be written in a different typeface, Times New Roman 10.

2. The introductory part of the re-formulated theory

Like each well-formulated textbook, Dirac's book starts with a short historical introduction. The "Preface" of his book underlines the cultural leap represented by quantum theory (QT) within the history of theoretical physics.

The arguments of a PO theory are based on DNPs. Since in the original texts of both Dirac's book and Strocchi's texts DNPs already occurred, although the authors were unaware of them, in the following these DNPs will be reiterated inside the new formulation.

1. Dirac's three pages of "Preface" may be quoted not only as homage to Dirac, but also as a historical introduction. However, one has to re-structure its periods, perform minor changes of some words and disregard the last period of p. viii.

One can add the introductory Section 1.1 of (Strocchi 2010, pp. 7-10) which offers many clarifying remarks of historical nature.

It is remarkable that since the first pages of the "Preface" Dirac made use of (four) DNPs. "... we cannot form a mental picture [of the microscopic substratum] without introducing irrelevances." (\neq we form a picture by introducing irrelevances) (Dirac 1930, p. v, l. 13); "in-variants" (\neq constants) (Dirac 1930, p. v, l. 16, 19, 25); "...the mathematical required... is not essentially different from what has been current for a considerable time." (\neq is the same...) (Dirac 1930, p. vi, ll. 2-4); "in-avoidable [\neq assured] consequence..." (Dirac 1930, p. vi, l. 16).

3. The first step of a PO theory: The presentation of the common knowledge on the subject

At its starting point, a PO theory does not assume a complete set of axioms; rather, its background is constituted by the common knowledge of the field at issue.

Chapter I of Dirac's book may be considered as a presentation of the common knowledge on quantum phenomena and theory. He states that "the most striking differences from old mechanics apparently show a discontinuity in certain physical processes and a discreteness in certain dynamical variables" (but between commas he adds that this is not the "most important" difference (Dirac 1930, p. 1)). Moreover, in order to stress in intuitive terms this difference, Dirac describes the conjunction of the classical notions of wave and particle, and also the impossibility of giving a full description of the new notion (wave-particle).

In addition, common knowledge includes the subject of the results of quantum measurements; in Section 1.4 of Chapter I Dirac points out the disturbance that a measurement causes to the state of the system; hence the theory has to represent the outcomes of measurements through probabilities. He defines the new notion of state three times (in pp. 5, 7, and 8), yet always in intuitive terms. Hence, he obtains this crucial theoretical notion at the cost of some inaccuracy (which together with other sensitive points has been criticized by some scholars).

But one has to take into account that Dirac's Chapter I is aimed to emphasize what, according to him, represents the borderline between classical mechanics (CM) and QT,

i.e. the superposition of quantum states; so that at the end of Chapter I he assumes as a principle the state superposition, rather than the principle of indeterminacy (Dirac 1930, p. 16). (Yet, in Chapter VI Dirac's proof of his analogy does not directly depend on the superposition principle).

2. The new formulation of QT may include as an elementary introduction to the subject the first chapter of Dirac's book by interpreting it as recalling the common knowledge on quantum phenomena and the theoretical novelties originated by them with respect to classical ones (however, one has to disregard the second paragraph and one proposition between commas in the semi last paragraph of Section 1.1 on "Wave and particles"); it includes the notions of measurement, state, uncertainty, operators, probability. The other sections deal with 1.2 "Polarization of photons", 1.3 "Superposition and indeterminacy", 1.4 "Compatibility of two observations", 1.5 interference ("Further discussion on photons"). However, one has to reword the entire chapter and attribute the basic role of QT to the indeterminacy principle (which occurs in pp. 10-15) rather than – as Dirac does – the superposition principle.

One may deal with the same subject through the illustration by (Strocchi 2012, sect. 2.1, apart the first proposition till up to "Clearly..."), provided that the text is reworded in less formal terms.

About the DNPs, Dirac wrote that in the polarization process a photon is "partly in each of the two states" (Dirac 1930, p. 5). Notice that "partly" is a modal word; it means that a state of a quantum system is not separated from any other state of the same system; that is a DNP, because the corresponding affirmative proposition ("a photon is in each of the two states") lacks evidence and hence is not equivalent to it.

4. The second step of a PO theory: the basic problem

A PO theory is essentially aimed at looking for a new method capable to resolve a basic problem, which is unsolvable through the usual tools. Hence, after having recalled the common knowledge, the next step of the theoretical development of a PO theory is to declare its basic problem. As a historical fact, quantum phenomena have introduced entirely new problems with respect to the classical ones. Which is the basic problem of QT? Above it was already remarked that Dirac under evaluated the theoretical role of quantum indeterminacy. Instead, Strocchi (2010, pp. 9-10) stressed the uncertainty relations as the basic problem (he also suggests how to translate them into a new mathematical formula).

3. The theory has to declare the basic problem in accurate terms. It is the following one: how to overcome the uncertainty relations, which apparently bar the scientific knowledge of quantum phenomena? The uncertainty problem and its mathematical formula are presented by the pp. 37-40 of (Strocchi 2010, ch. 2).¹

¹ In a first time one may assume as first basic problem Dirac's one, the superposition of quantum states. (Then, one may follow Dirac's book in constructing a vector space of quantum states and its dual space). Yet, the relationship between the superposition principle and the indeterminacy principle has then to be clarified.

It is remarkable that in Strocchi's text the statement of the uncertainty is represented by the following DNPs: "there is an intrinsic [read: in-avoidable] limitation in the relative precision..." (Strocchi 2010, ch. 2.1, pp. 37-40); "cannot take sharp [read: absolutely exact = not relatively exact] value" (Strocchi 2012, p. 8).

5. The third step of a PO theory: A methodological principle (the analogy between commutators and Poisson brackets; the Hamiltonian)

In order to search for a new scientific method capable to solve the stated problem, a principle is needed; but in a PO theory the meaning of the word "principle" is not that of an axiom, but that of a guide-line, that is a theoretical proposition giving a direction to the following investigative research, aimed at discovering a new method; hence, a methodological principle.

What is the methodological principle of Dirac's QT? Dirac investigated the analogy between commutators and Poisson brackets (PB) in order to build an entire QT. Then, in his book, Chapter VI introduces a clear problem: to determine "the quantum conditions" for obtaining the dynamics of the theory. In order to solve this physical problem, he suggests his analogy; hence, this analogy constitutes the crucial methodological principle of the entire theory. In Chapter VI he suggested a proof of the analogy, but it was proved insufficient (Ali, Englis 2005). Since the analogy concerns the PB it is natural to assume as theoretical framework of the new physical theory the Hamiltonian formalism; hence, the latter one constitutes a further methodological principle of the entire theory.

4. The methodological principles of the new theory are the analogy between commutators and PB on one hand and on the other hand the classical Hamiltonian, which represents the best formalization of classical theories.

Dirac's pp. 92-93 (introducing the Hamiltonian in order to answer the problem of recognizing the "quantum conditions") may be reiterated, but they have to be more suitably rephrased in order to clarify that one has to answer the indetermination problem, or the non-commutativity of the variables. Alternatively, one can reiterate without modifications Section 1.2, "Mathematical description of classical Hamiltonian systems", of (Strocchi 2010), except for part III, "Algebraic Dynamics". Let us recall that an analogy represents a DNP. About the Hamiltonian let us notice the following proposition of the "Preface" of Dirac's book: "... the mathematical required... is not essentially different from what has been current for a considerable time." (Dirac 1930, p. vi) Here, he refers to the entire mathematical structure of QT, in which Dirac surely includes the Hamiltonian too. Hence, the above proposition actually refers to the Hamiltonian which here he considers as a methodological principle supporting his analogy. Notice that also this Dirac's proposition is a DNP. We can introduce the use of the Hamiltonian through the following DNP, which is more accurate than previously quoted Dirac's proposition: "It is not false that QT may be formulated through a Hamiltonian". In sum, Dirac based his theory on the introduction of two essential methodological principles correctly expressed by two DNPs (the analogy, and "... not... different...").

6. The fourth step of a PO theory: the choice of the kind of mathematics. The C*-algebra of operators

The discovery of discrete quanta of light questioned the same basic notion of traditional mathematics of theoretical physics, the continuum; afterwards, the physicists no longer could consider as unavoidable the traditional mathematics. Rightly, Dirac's "Preface" underlines that QT abandons the mathematical descriptions which are typical of classical physics, relying on the continuum of both space and time; but he then does not introduce the mathematical discrete, because, as it was remarked in Section 3 of present paper, he attributes a subordinate role to this novelty (p. 1). However, through the vector spaces he introduces the traditionally "corresponding" mathematical approach to the discrete, i.e. the algebraic one.

In Chapter I Dirac suggests that the quantum novelty of state superposition constitutes the borderline between CM and QT. After having investigated on this point and having discovered that this superposition is linear on the states, he raises it to an axiom for the construction of a vector space, as the most natural mathematical representation of the linearity of the new physical situation; there each point is no longer an absolute entity, but is equipped with an oriented segment; it now represents a physical state. (Notice that this space includes as a particular case the non-commutative matrices, i.e. the basic mathematical notion of Heisenberg-Born-Pauli foundation of QT). But let us remark that this mathematical framework nothing says about what constitutes the main physical problem of QT, i.e. how to overcome the uncertainty relations.

After Dirac's book, slowly scholars recognized as main problem of QT the unavoidable uncertainty relations. Some of them addressed their attention on the physical instruments through which a physicist asks questions to the microscopic reality, i.e. experimental apparatuses. This reflection on everything a theoretical physicist has at his disposal in order to put questions to reality arrived at adding one more mathematical tool. In the years '30s first von Neumann introduced as a basic mathematical notion for theorizing the quantum world the algebra of operators. In 1947 Segal suggested an axiomatic of QT according to this algebraic approach, whereas the analytical tools, in particular Hilbert space, play a subordinate role. Also Morchio and Strocchi's theoretical result is based on a C*-algebra of operators as Segal's.

5. In order to prepare the mathematical approach to QT, Strocchi (2010, pp. 11-14) describes the algebraic properties of the classical observables and defines the states as linear functionals and then the probabilistic results of measurements. (Also pages 4-6 of (Strocchi 2012) quickly summarize the notion of a C*-algebra of operators). Section 1.3 presents his approach to theoretical physics by describing a physical system through a C*-algebra. (In particular, pages 22-23 illustrate the general problem of the introduction of such algebra in QM). Both next sections, "1.4 Appendix A: C*-algebra" and "1.5 Appendix B: Abelian C*-algebra", by suggesting in a more detailed way the basis of the mathematical theory, familiarize the student with C*-algebras. Section "1.5 Appendix C: Spectra and states" shows the main mathematical results obtained by such a mathematical approach. Notice that a simplification of the formalism at the undergraduate level is desirable.

Alternatively, one may take the first part of Dirac's book (the construction of the mathematical framework) not only as a historical reading, but as a long pedagogical anticipation of the C*-algebra approach for QT. In such a case, Dirac's treatment of states through the mathematics of vector space (i.e. Chapter "II. Symbolic algebra of states and observables", Chapter "III. Eigenvalues and eigenstates", Chapter "IV. Representations of states and observables" and Chapter "V. Transformation theory") is preserved. But then one has to introduce C*-algebras and explain that the latter ones generalize Dirac's algebra of the observables as they are defined in vector spaces (Sections 7-11 of Chapter II).

7. Morchio and Strocchi's improvement of Dirac's quantization to a proportion. Fourth and fifth steps of a PO theory

Morchio and Strocchi obtained an accurate definition of Dirac quantization by suggesting a suitable kind of algebra where Dirac's analogy is an exact proportion (Strocchi 2018, ch.7) (Drago 2020). Let us investigate whether such an improvement may be proved according to the last two steps of a PO: an *ad absurdum* argument (AAA) and an application of the principle of sufficient reason to its conclusive DNP. Remarkably, these two steps will appear already included in the proof of (Strocchi 2018, Section 7; summarized by Drago 2020). (In the following of present section I will freely quote some of his passages).

In \mathbf{R}^N as the position space Strocchi builds the momentum p_i from the infinitesimal translations q_i , whose actions define real vector fields and a PB. That allows introducing the abstract free polynomial real associative algebra generated by both coordinates q_i and p_i as a Poisson algebra, where, contrarily to the assumption of tentative Dirac's "proof", $PB = \{q_i, p_i\} = \mathbf{1}$, hence it is invertible. Thus Proposition 7.1.1 (p. 95) states the existence of a central variable Z of the algebra; that is, the commutator is related to the Lie product by a central variable Z (summation over repeated indices is understood):

$$Z \equiv [q_i, p_i] \{q_i, p_i\}^{-1} = [q_i, p_i] = [q_j, p_j].$$

Hence,

$$[q_i, q_i] = 0, \quad [q_i, p_j] = Z \{q_i, p_j\} = Z \delta_{ij}$$

Step 3 of the proof of this Proposition is proved by applying Dirac's identity to the quadruple (which actually is composed by two only elements) of elements of the algebra: C, D, C, D . Then one obtains

$$[C, D] = \{C, D\}[C, D]\{C, D\}^{-1} = [C, D] + \{C, D\}[[C, D], \{C, D\}^{-1}].$$

Hence, $\{C, D\}[[C, D], \{C, D\}^{-1}] = 0$; since $\{C, D\}$ is invertible, $[[C, D], \{C, D\}^{-1}] = 0$.

The last row is accepted without problem by classical mathematicians; but constructive ones contest it.² However, in constructive mathematics the double negation translation of the classical result holds true (Troelstra, van Dalen 1988, pp. 56.ff): since $ab=0$ and $a \neq 0$, then it is absurd that $b \neq 0$; therefore we have a DNP: b cannot be different from 0.

Then steps 4 and 5 of the proof of the same Proposition 7.1.1 follow also in constructive mathematics provided that one translates through the double negation translation Morchio and Strocchi's conclusions into the corresponding DNPs. Consistently with the first DNP, the conclusion of Proposition 7.1.1 is the following DNP: "It is not true that a central variable Z of the algebra does not exist." Eventually, one obtains again a DNP: "It is not true that commutators do not play the same role played by Poisson brackets within the above characterized Poisson algebra (and hence in the theoretical framework of the Hamiltonian)".

Being this *predicate* derived from an AAA and being a decidable one, we are entitled (Drago 2012) to apply *the principle of sufficient reason* to it; the result is the affirmative proposition which expresses the classical result: the attribution to the two mathematical operations, i.e. PB and commutator, of the same mathematical role within a Hamiltonian. Hence, there exists *a common Poisson algebra \mathcal{A} of classical mechanics and quantum mechanics* in which Dirac's analogy is formalized as an exact canonical structure of this algebra \mathcal{A} .

In the irreducible representations of the algebra \mathcal{A} the central variables are represented by only the multiples of identity: $Z = \lambda \mathbf{1}$, λ a complex number (the scale of Z being clearly undetermined). The case $Z = 0$ gives the commutative and hence the classical case, whereas $Z \neq 0$ corresponds to the non-commutative, hence the quantum case.

Here we can reiterate Strocchi's main ideas: as an astonishing consequence, the two cases of classical (Hamiltonian) mechanics and QT correspond to two representations of \mathcal{A} according to a two values parameter Z (respectively 0 and $ih/\mathbf{1}$). Amazingly, as it may *a posteriori* appear, at a *formal level* the theoretical revolution of QT is reduced and fully accounted for, merely by replacing within the Hamiltonian formalism commutators for classical Poisson brackets $\{ , \}$.

The only relation between CM and QT is that they correspond to inequivalent realizations of the Poisson algebra \mathcal{A} defined above. The inequivalence of the two realizations precludes the existence of a mapping between them (as for inequivalent representations of a Lie algebra). This purely algebraic result frees the foundation of QT from both all past tentative analogies and also the rough limit process $\hbar \rightarrow 0$. Moreover, the not null value of Z also explains on general grounds the origin and need of a complex structure in the formulation of QT, in contrast with the real realization of CM.

² We know that both ab is null and a is not null; but the classical conclusion $b = 0$ (let us call B this classical property) is not valid in constructive mathematics, because it pertains to particular algebras. See for instance (Romano 1988, p. 38): "Def. 6. Let A be a ring. We say that A is balanced iff $[B$ is true]." One more instance is (Mines *et al.* 1988, p. 47): "Show that a commutative ring is an integral domain iff the following conditions hold: [...] (iii) $[B$ is true]."

6. Previous result may be reiterated, provided that one adds a treatment of the representations of algebras.

The new formulation may continue through the following part of Dirac's book (yet it is better to choose its IV edition) provided that one previously interprets within a Poisson algebra the states as represented by a vector space with its dual (bra and ket vectors). That amounts to the chapters VI and VII of the first edition.

Alternatively, one can continue with Section 2.4 "The probabilistic interpretation" of (Strocchi 2010), plus its chapters 3-5, which deal with almost the same subjects of Dirac's book.

8. Conclusions

In previous sections we have shown that Dirac's formulation of QT may be formulated in such a way to share the five steps of a PO; in particular: 1) to start from common knowledge; 2) to put a basic problem; 3) to choose a methodological principle; 4) to reason through several DNPs composing at least one AAA, 5) whose final conclusion, a DNP, is translated by the principle of sufficient reason into an affirmative proposition (the equality between the commutators and the PB apart a factor $Z = \text{either } i\hbar/4\pi \text{ or } 0$). Hence, Dirac's tentative new organization of the theory has been improved to an accurate PO theory.

One can ask: In what sense the new formulation reiterates Dirac's 1930 formulation of QT?

1) It reiterates (with minor changes) the same "Preface" of the I edition of Dirac's book.

2) It may reiterate great part of his Chapter I (apart Section 6, defining the superposition principle), provided that one intends the principle of superposition as a methodological principle.

3) It reiterates its Sections 1.1-1.5 as a common knowledge preparing the new theory (although Dirac did not indicate as such them).

4) It is again based on algebra (although of a different kind).

5) According to Dirac's rejection (in book's first edition, 1930) of the axiomatic and his search of a new organization of a theory, the new formulation is based on a kind of organization, i.e. PO, which represented a possible target of his search.

6) Again it is based on classical Hamiltonian.

7) Again it starts from dynamics (the Hamiltonian), not statics.

8) It is based on the same crucial Dirac's idea, the relationship between P.B. and commutation relations, yet now improved by Morchio and Strocchi to an accurate relationship of a proportion.

9) It gives great importance to Dirac algebraic identity.

10) It again applies group theory, called by Dirac's "transformation theory" (actually, he applied the group of unitary transformations).

11) It may reiterate the theoretical development which follows the no. 6.3 of the Chapter VI of the original book.

12) Provided that one recovers the notion of vector space, it is possible to continue with Sections 34 and ff. of Dirac's book.

More in general, we can state that there exists a *PO formulation of QT*. By the way, through *previous investigation we have proved that the logic of the new formulation of QT is the intuitionist one* rather than a kind of logic based on the failure of the distributivity law. This result puts an end to a many decades long research on which is *the correct kind of quantum logic*.

In sum, we have obtained a new formulation of QT which is alternative to von Neumann's one in the sense that its organization is PO instead of axiomatic and, as even von Neumann wanted to build in his later years, it is entirely algebraic in nature instead of analytic (as Hilbert space). Since von Neumann's axiomatic formulation of QT was under evaluated by the author himself (who confessed to disbelieve in Hilbert space), this formulation of QT is *the sole completely satisfying formulation of QT*.

It may be called "Dirac-Strocchi's formulation of QT" and be titled by means of words which, instead of alluding to an axiomatic organization theory (as the words *The Principles of Quantum Mechanics* do), allude to a PO theory: *New Method for Founding Quantum Theory according to Dirac's Viewpoint*.

References

- Ali S.T., Englis M. (2005). "Quantization Methods: A Guide for Physicists and Analysts". *Review of Mathematical Physics*, 17, pp. 391-490.
- Dirac P.A.M. (1930). *Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press; first edition [online]. URL: <<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.177580/page/n27/mode/2up>>; the last edition is the fourth one of the year 1958.
- Drago A. (2012). *Pluralism in Logic. The Square of Opposition, Leibniz's Principle and Markov's Principle*, in Beziau J.Y., Jacquette D. (eds.), *Around and beyond the Square of Opposition*. Basel: Birckhauser, pp. 175-189.
- Drago A. (2020). *Dirac's quantization improved by Morchio & Strocchi to an algebraic structure founding both classical mechanics and quantum mechanics*, in Esposito S., Fregonese L., Mantovani R. (eds.), *Atti del XXXVIII Convegno Annuale SISFA* (Messina, Reggio Calabria 3-6 ottobre 2018). Pavia: Pavia University Press, pp. 65-73.
- Drago A. (2021). "Dirac's Book *The Principles of Quantum Mechanics* as presenting the alternative organization of a theory" [online]. URL: <<http://arxiv.org/abs/2101.09565>>.
- Drago A., Perno A. (2004). "La teoria geometrica delle parallele impostata coerentemente su un problema (I)". *Periodico di Matematiche*, 4 (ott.-dic.), pp. 41-52.
- Dummett M. (1977). *Principles of Intuitionism*. Oxford: Clarendon.
- Mines R., Richman F., Ruitenburg W. (1988). *A Course in Constructive Algebra*. Berlin: Springer.
- Romano D.A. (1988). "Rings and Fields, a constructive view". *Mathematical Logic Quarterly*, 34, pp. 25-40.

- Strocchi F. (2010). *An Introduction to the Mathematical Structure of Quantum Mechanics*. Singapore: World Scientific.
- Strocchi F. (2012). “The Physical Principles of Quantum Mechanics. A Critical Review”. *The European Physical Journal Plus*, 127 (12), pp. 1-13.
- Strocchi F. (2018). *A Primer of Analytical Mechanics*. Berlin: Springer.

Einstein, Husserl, and Neelamkavil: Physical Unobservables Via Essences, Possibilities, and Extension–Change

Ruth Castillo Ochoa - Universidad de Alicante; Università degli studi Roma Tre - ruthcarolina.castilloochoa@uniroma3.it

Abstract: The development of physics shows its highly theoretical character through the participation of unobservable entities in opposition to the physicalist conception. In this sense, the problem of unobservables becomes a core issue, opening fierce debates in the philosophy of science. Despite the positions and ideologies, men of science construct unobservable entities from certain indicative manifestations of a possible existent. Under this perspective, intelligibility in the sciences must admit the participation of ‘unobservable intelligible’. From this point of view, Husserl’s phenomenology is presented as a possible philosophical framework to elucidate meanings of foundational theoretical terms in relativistic physics, emphasizing their a priori character, its contingent aspect (language) and the intersubjectivity of intelligible unobservables. Assuming the consideration of the phenomenon–subject–object trinomial, the action of phenomenological intersubjectivity in the constitution of essences proposed by Giorgio Jules Mastrobisi is illustrated. I consider the constitution of intersubjective essences as a possible case to build a real world and show the meaning of theoretical terms (space, time and field) in intelligible ways. I specifically assume two key theoretical terms in general relativity and cosmology: matter and field. I take as a starting point the physical nature of space–time and the use, by physics, of notions of symmetry and invariance, accounting for unobservable or foundational theoretical terms through the pure phenomenological analysis of essences. In reference to the manifestations of an existent (which is illustrated from the intersubjective essences of Mastrobisi) we approach the processual character of the subject and reality through the ontological categories of extension–change in Raphael Neelamkavil.

Keywords: Extension, Change, Matter, Field, Phenomenology, Physics.

1. Husserl and Neelamkavil: Perspective about unobservables and Einstein’s general theory

Most physical theories presuppose the ‘theoretical’ existence of space–time. The dynamics of physical processes are developed in this framework, where representing events, processes, objects, and space–time phenomena does not respond properly to theoretical devices created by scientists since space and time are epistemic/cognitive conditions

through which we ‘detect’ the reality that surrounds us. Although space–time are epistemic conditions, the need arises to propose physical–ontological categories that make it possible to develop and maintain the guarantee, scope, and projection of physical theories.

These categories are postulated by Raphael Neelamkavil under the denominations extension–change. The point is to subordinate and specify ontological universals (universals in external things, in their processual junctions and in common with things similar in some respects to the processes at question), connotative universals (consciousness–based representations of ontological universals), and things/processes themselves under the metaphysical categories of extension–change. These categories lead to the space–time representations (space–time as mental–connotative) present in physical theories and not in the reverse direction, that is, not that space–time leads to the categories. There is no dichotomy between the two. Neelamkavil creates an ontological similarity: ‘Extension’ to ‘space’ and ‘change’ to ‘time’, with the exception that the former (extension–change) are not cognitive/epistemic conditions (Neelamkavil 2018, p. 23). This allows the empowerment of physicists in relation to the argumentative line of processes existing outside the mind. The evolutionary transition of our understanding towards these foundational conceptions supposes having a more clarified vision of reality. Along with this evolution of our ‘vision’ of reality, the language of physics is also transformed. Understanding the principles, notions, theories and perspective of the physicist goes through adaptation to the language used by it. It is an objective that demands dedication even more so when it is about offering a perspective framed in another area of equal importance, i.e., the philosophy of science.

A common space between both disciplines is classical physics. Through the comparison between classical worldviews of physics and current postulations, one can gain access to the understanding of the language of recent physical theories. A comparative vision enables access to the construction of a bridge between the languages of philosophy and physics. In this way, and from the review of Galilean space–time under the current perspective and language of physics (i.e., the differential geometric vision), the principles that support Einstein’s general theory of relativity are approached to later add a new philosophical understanding of the current cosmological approaches under the relativistic framework. It cannot be a simple revision due (as we have previously established) to the requirement that particularly involves the philosophical language of Husserl–Neelamkavil and the mathematical–geometric language of Einstein’s theory. In what follows, we will approach Einstein’s theory of general relativity under the Husserlian concept of essence and the extension–change categories, identifying in the principles of gravitation and Einstein’s field equations Husserl’s phenomenological postulations with the inclusion of the physical–ontological categories of Neelamkavil.

2. Field equations from a phenomenological perspective

The *principle of minimum action* (hereinafter PMA) postulated by Maupertuis became a basic assumption of classical and relativistic mechanics that describes the evolution over time of the state of motion of a particle in a physical field, showing that the path that the

particle follows must always be minimal. From this perspective, it turns out that a particle under gravitational effects describes a ‘minimum’ trajectory that turns out to be the geodesic one. Mathematically we can express distances as follows:

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 \quad (1)$$

for the flat space in two dimensions, and:

$$(ds)^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (2)$$

for the curved space in four dimensions.

Charles Misner, Kip Thorne and John Wheeler explain the geodesy of a free particle through the *parable of the apple*:

Once upon a time a student lay in a garden under an apple tree reflecting on the difference between Einstein’s and Newton’s views about gravity. He was startled by the fall of an apple nearby. As he looked at the apple, he noticed ants beginning to run along its surface. His curiosity aroused, he thought to investigate the principles of navigation followed by an ant. With his magnifying glass, he noted one track carefully, and, taking his knife, made a cut in the apple skin one mm above the track and another cut one mm below it. He peeled off the resulting little highway of skin and laid it out on the face of his book. The track ran as straight as a laser beam along this highway. No more economical path could the ant have found to cover the ten cm from start to end of that strip of skin. Any zigs and zags or even any smooth bend in the path on its way along the apple peel from starting point would have increased its length (Misner et als 1973, p. 28).

This example makes it possible to clarify that in nature (even for ants) ‘economy’ is sought through ‘minimal action’. From a mathematical point of view, the action is calculated through an integral of action.

Since the gravitational field is conceived as a manifestation of the curved geometry of space–time, the expression ds changes depending on the dx^i (Wald 1984, p. 9). Thus, in a gravitational field, the particle moves in such a way that its point of the universe travels through a geodesic of space in four dimensions x^0, x^1, x^2, x^3 (or t, x, y, z). This equation:

$$g_{il} \frac{du^i}{ds} + \Gamma_{l,ik} u^i u^k = 0 \quad (3)$$

is the geodesic expression in relativistic mechanics for a particle that moves within a gravitational field.

The geodesic equation (3) is composed of the metric tensor g_{il} , the derivative $\frac{du^i}{ds}$, the Christoffel symbol $\Gamma_{l,ik}$, and the product $u^i u^k$. Then a question arises: If the tensor form of the geodesic describes the minimum trajectories of a particle, being founded on the conceptions of space–time, and if space and time are epistemic/cognitive conditions, then is it correct to continue naming the positional foundations as four–dimensional in

terms of epistemic conditions, debarring a generalization more in line with reality? We could clarify this question, taking the ‘parable of the apple’ from Misner et al. The parabola of the apple refers to the representation of the Riemannian geometry of space–time of GTR symbolized by means of the two–dimensional geometry of the surface of an apple. The geodesic tracks followed by the ants on the surface of the apples symbolize the line of the universe followed through space–time by a free particle.

In any sufficiently localized region of space–time, the geometry can be idealized as flat. Now, if we extend the region even further, the vision through the magnifying glass is no longer useful. The curvature of the manifold (four–dimensional space–time in the case of the real physical world; curved two–dimensional geometry in the case of the apple) becomes apparent. We no longer observe as ‘straight lines’ the paths of the ants across the surface of the block. Perception changes and with it the ‘form’ of representation of the phenomenon. In this way, we have two different observations of the same event: (1) the ‘effect of geometry on matter’ that causes the originally divergent geodesic to intersect, and (2) the ‘effect of matter on geometry’ that causes the bending of space–time initiated by mass concentration, symbolized by the effect of the stem on the nearby surface of the apple.

Under the phenomenological perspective and, considering space and time as epistemic–cognitive conditions, these two effects, namely: (1) the ‘effect of geometry on matter’ and (2) the ‘effect of matter on geometry’ suggest interesting considerations. First, let us distinguish that effect (1) refers to the Newtonian perspective, while effect (2) refers to Einstein’s point of view. Effect (1) responds to a local observation of the entire complex, showing the effect of the mass due to the ‘Extension’ of space in each variation or ‘change’ of time. Effect (2) considers the whole as a whole, accounting for the effect on the ‘Extension’ of measured space in each variation or ‘change’ of measured time due to the presence of the mass. Establishing the affectation in the geometry–mass coupling, from one perspective or another, makes it possible to postulate that both descriptions (through space–time as intentional objects of acts of consciousness) account for the ‘extension’ and ‘change’ in the whole reality. For physics, the geometry–mass involvement allows (from both perspectives) to postulate the understanding about the behaviour of space–time. However, here is the paradigm shift that must be considered: Space–time are epistemic conditions (connotative universals/essences), which are accessed under the intentional attitude and assuming them as intentional objects of acts of consciousness.

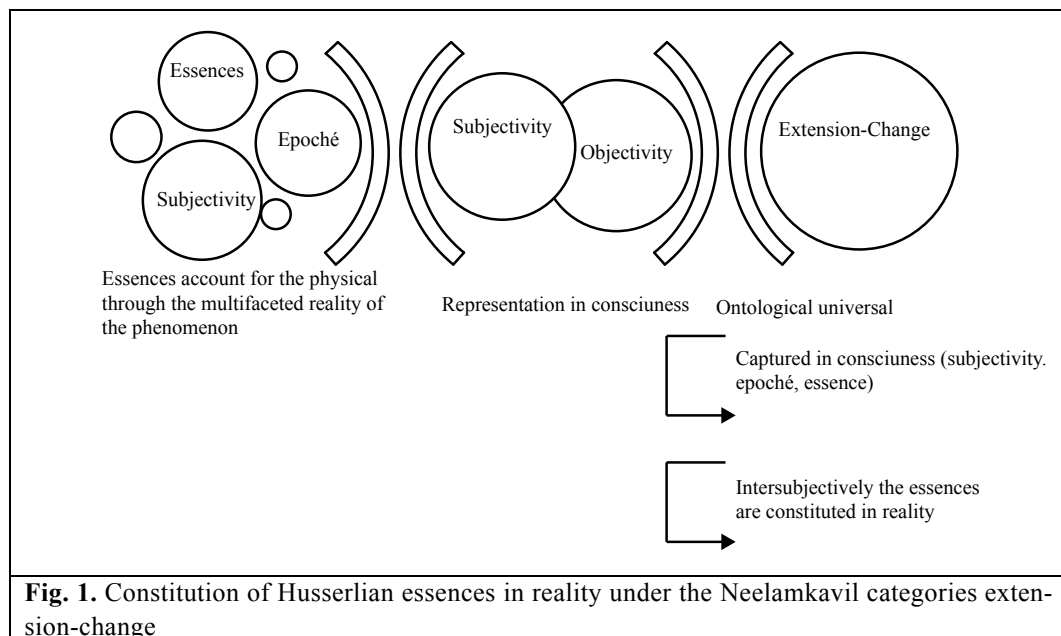
Geometry is described in positional terms precisely because of the cognitive–epistemic character of space (and of time in the case of differential geometry). But the ontological (‘real’) changes in the geometry–mass coupling are not obtained through connotative universals (i.e., space–time) but through ontological universals (i.e., extension–change). Not space–time but processes ‘extend’ under each instant of ‘change’. Therefore, generalizing the description must go beyond our epistemic conditions (space, time) and lead to a rethinking under universal ontological categories, namely, extension–change. In other words, although we have access through epistemic conditions (space–time) in communion with the intentional attitude to essences (connotative universals), it is the constitution of essences (through intersubjectivity) that makes it possible to obtain a ‘intentional view’ of ontological universals in processes. In this case, the geometry–

mass involvement must be rethought in terms of extension–change, rather than space–time.

In this way, we can rethink, in terms of extension–change the affectation (1) and (2) in the following way: The effect (1) shows the affectation of the mass due to the ontological universals, namely, extension–change of the gravitational field, where the particle is found by consciousness through the connotative universals (essences), namely, space–time. Effect (2) considers the affectation in the extension–change of the field due to the presence of the mass, by means of the connotative universals (essences) space–time.

Extension–change categories allow us to contemplate a broader generalization in the phenomenological description of entities present in reality. In this way, and unlike space–time, the field is an existent entity and not an epistemic (space–time) condition. When describing the effects of the ‘geometry–mass’ affectation due to the fact that it is undeniable (and impossible) to leave being subsumed under the spatiotemporal ‘perceptions’, the affectation in its two connotations responds not to the space but rather to the field. It is the field, the unobservable (entity) that affects and is affected by the mass.

Under this postulation, we can identify within the current tensor form of the geodesic equation the phenomenological elements, as well as the aspects that account for the connotative and ontological universals. Space–time can be identified as an epistemic condition that allows the perception of the four–dimensional variations of the field that are categorized under extension–change. Giving an account of the ontological existent field is possible through essences (space–time/connotative universals). The previous re–identification responds to Husserl’s phenomenology and to the physical–ontological categorization proposed by Neelamkavil. These elements can be represented in Fig. 1.



Accessing the essences is possible through the intentional attitude. Space–time are intentional objects of acts of consciousness and, as epistemic conditions, represent the way through which the different multifaceted forms of reality that are ‘extensionally changed’

are ‘perceived’. Space–time are essences/connotative universals/epistemic conditions. Field, symmetry, energy, etc., as unobservables, are ontological existents that are also subsumed under extension–change.

The variations of Reality–in–total that are realized through extension–change are represented by the observer through epistemic conditions. Hence, the essences (connotative universals) are constituted ‘objectively’ in phenomena from real processes under the ‘subjectivity’ of the different representations covariant with each other. In addition to the key notion of space–time, other terms are found within the foundational conceptions of relativistic physics. Mass, field, energy, symmetry, are theoretical entities (unobservable, ontological universals) that account for the extensional–changing variations (extension–change) of the ‘reality-in-total’ defined by Neelamkavil:

[...] ‘ways of being of processes’ interpretation of ontological universals that are the basis for the connection between matter and form, and staticity and fluency in Reality. To Be, which belongs to reality-in-total, is the fundamentally causal-processual and relational universality of ontological universals/essences active in particular processes in their totality that is Reality (Neelamkavil 2015, p. 6).

In this way, universality under: (1) causal–processual and (2) relational aspects of ontological universals active in particular processes in their entirety (which is Reality), makes it possible to analyze theoretical entities, as unobservable, under a phenomenological framework, using essences in the cogito.

When Neelamkavil considers the processual character of particulars in what he defines as ‘Reality-in-total’, he harmonizes with the ways of ‘appearing’ of Husserlian phenomena. The ontological causal–processual relationship which is linked epistemically to the constitution of Husserlian essences (understood as connotative universals in Neelamkavil) through intersubjectivity, supports the claim of a communion between Husserl’s philosophy and the categorization of ontological universals under extension–change.

From this point of view, unobservables (understood as ‘existent processes’ in Neelamkavil) such as field, symmetry, mass, energy, etc. can be shown to be in possession of ontological universals which are ‘ways of being of processes’ in Neelamkavil. These are in consonance with the ‘pure ways of appearing available in the cogito’ (i.e., the essences within phenomena/showing-themselves, obtained after eidetic reduction) in Husserl.

The consonance between Neelamkavil and Husserl here is as follows: The ontological universals are, in Husserl, reflected in the cogito–level essences (called connotative universals in Neelamkavil). The specific kind of ‘processual’ aspect of phenomenal objects (i.e., the showing–themselves constantly taking place from things) is the reason for the connection and consonance between matter (whatever elements are communicated physically and biologically) and form (the essences intuited by the cogito).

The static and fluid aspects in the processes of Reality are thus brought in consonance in phenomenology by way of perception and transcendental eidetic reduction. Under the relativistic perspective (and in general for any field of physics), addressing the foundations of the conceptions of unobservable existents from this vision allows us to

contemplate the possible transit of physical terms (processes with their ontological universals) to intelligible terms, i.e., from their denomination as ‘unobservable’ (processes) to ‘observable’ (essences and theories).

Among these terms, only the notion of mass is controversial due to the repercussions it has on the formulation of the energy–impulse tensor under the vision just mentioned. Just as in Newton’s gravitational theory the gravitational force is caused by changes in matter, so also, in Einstein’s theory the curvature at each point in space–time is caused by any matter present, mass being a key property in determining the influence of gravitational force of matter. Now, unlike Newtonian postulations, mass in relativistic theory cannot be the only source of gravity, since under mass it is closely related to energy and this (energy) in turn to momentum. The equivalence between mass and energy ($E = mc^2$) is a crucial consequence of STR. Mass and energy are different ways of describing the same physical entities (unobservables). All the properties of a body that are associated with energy (temperature, binding energy of systems such as the nucleus or molecules) contribute to the mass of the body, acting as sources of gravity.

References

- Chakravartty A. (2007). *A Metaphysics for scientific realism. Knowing the unobservable*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Einstein A. (1998). *Sobre la teoría de relatividad general. Grandes Obras del Pensamiento Contemporáneo 2*. Altaya: Madrid.
- Einstein A. (2009). *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Berlin: Springer.
- Einstein A. (1918). “Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie”. *Annalen der Physik*. 4 (55), pp. 241-244.
- Husserl E. (2006). *Investigaciones lógicas I*. Madrid: Alianza.
- Husserl E. (1999). *Cartesian meditations: An Introduction to phenomenology*. Dordrecht: Kluwer.
- Husserl E. (1982 a). *Ideas pertaining to a pure phenomenology and to a phenomenological philosophy. First book. General introduction to a pure phenomenology*. Boston: Nijhoff.
- Husserl E. (1982 b). *La idea de la fenomenología. Cinco lecciones*. Buenos Aires: FCE.
- Mastrobisi G. J. (2015). *Fenomenologia e relatività: Studio su possibilità ed essenza nella fisica contemporanea*. Roma: Stamen.
- Mastrobisi G.J. (2018). “Phenomenology and relativity: Husserl, Weyl, Einstein and the concept of essence”. *Abordagem Gestalt*, 24 (3), pp. 358-365.
- Mastrobisi G.J. (2019). “Why relativity needs phenomenology? Eidetic–relativistic kinesthetics and temporality in Husserl, Weyl and Einstein”. *Aoristo*, 1 (4), pp. 140-172.
- Maxwell G. (1989). *El estado ontológico de las entidades teóricas*, in Olivé L., Pérez Ransanz A. R. (eds), *Filosofía de la ciencia: Teoría y observación*. Cdad De México: Siglo Veintiuno. pp. 116-144.

- Misner C., Thorne K., Wheeler J. A. (1973). *Gravitation*. San Francisco: Freeman & Company.
- Neelamkavil R. (2015). *Physics without metaphysics? Categories of second-generation scientific ontology*. Berlin: Peter Lang.
- Neelamkavil R. (2018). *Gravitational coalescence paradox and cosmogenetic causality in quantum astrophysical cosmology*. Berlin: Peter Lang.
- Wald R. M. (1984). *General relativity*. Chicago: Chicago University Press.
- Weyl H. (2009). *Mind and nature: selected writings on philosophy, mathematics, and physics*. Princeton: Princeton University Press.

Italian Influence in Venezuelan Science and Physics

Rafael Martín-Landrove - Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela - ramarlander@gmail.com

David Verrilli - Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela - davidverrilli@gmail.com

Abstract: In this work we examine the role of Italians and Venezuelans of Italian descent as academics and scientists in the creation of institutions that shaped the scientific activity in the country, with a special emphasis on physics, and at the same time discuss how they shaped the country's technological development.

Keywords: Italian Influence, Venezuelan Science and Technology

1. The outstanding role of Italians in the development of Venezuela: Their contribution to the birth and the making of a country

The Italian presence in Venezuela can be traced back at its very beginning, when Cristoforo Colombo (1451-1506) in his third voyage to the New World, discovered the country in 1498, reaching a location at the mouth of the Orinoco River, known today as Macuro.¹ The national origin of Colombo is still a matter of controversy, but most scholars agree that he was born in Genoa. Just a year later, in 1499, Amerigo Vespucci (1454-1512), an Italian merchant, explorer and cosmographer from Florence, gave the name of 'Piccola Venezia' or 'Venezziola' (which means 'Little Venice') for this new land, when he saw Indian palafittes on the Guajira Peninsula. The name evolved and later became Venezuela.

Contributions of Italians or Venezuelans of Italian descent in the making of the country can be found all along its history. Several Italians spent their lives on the battlefields for the cause of Venezuela's independence² and some died in battle.³ They were

¹ In this third voyage, Cristoforo Colombo discovered the island of Cubagua, off the coast of Venezuela, and he was immediately aware of its rich pearl oyster beds. Two years later, the reports about his findings encouraged a small group of European adventurers, led by an Italian sailor from Genoa, Giacomo Castiglioni, to sail and they became the first settlers on the island. This settlement was the first of its kind in South America and on September 12th, 1528 by a royal decree issued by Charles V, king of Spain, it was officially incorporated to the Spanish Empire as the city of Nueva Cadiz.

² Some of them were Carlo Luigi Castelli, who fought very close and alongside Bolívar, Luigi Santinelli, Bartolomeo Chaves Gandulfo, Carlo Cavalli and Cristóbal Pallavicini.

³ Antonio Pareto, Lieutenant Colonel Passoni, Manfredo Berzolani, Gaetano Cestari and Captain Mayor Perrego among others.

also part of a vanguard in the birth of the young republic.⁴ In the XX century they occupied different positions from presidents of the republic, legislators, academics and scientists in all.

2. Italian influence on science and technology in the Venezuelan XIX century

The first contributions of Italians to Venezuelan science came as a byproduct of the independence war. Giovanni Battista Agostino Codazzi Bartolotti (1793-1859), born in Lugo, Italy, was a military, geographer, cartographer, engineer and general of Colombia and Venezuela during and after the independence war. He drew up plans for the Venezuelan coast and made improvements to coastal fortifications.

In 1839 Codazzi made a complete map of Venezuela and in 1840 he published the Physical and political atlas of the republic, and a Summary of its geography. He was director of the Mathematical academy of Caracas and instructor of the Practical school of artillery. For his great contribution to world science he was awarded the Cross of the Legion of Honor by the king of France Louis Philippe I, who made him an honorary member of the Paris, London and Berlin Geographical societies and of the American ethnology society of New York.

The development of agrarian science and technology in the XIX century had the signature of the Italian influence. It began in 1843 with the trip of Domenico Milano (1820-1890), whose vessel sunk upon arrival. Milano was trained as an agricultural engineer in Italy and he was able to overcome the shipwreck aftermath with the help of a friend, General Carlo Luigi Castelli (1790-1860), who was born in Turin and fought for the cause of independence. Thanks to Castelli good offices, Milano was appointed by the Venezuelan government to design an institution at university level for the development of agricultural sciences in Venezuela. Then, the *Superior agronomic studies program* became a reality at the Escuela Normal Agraria on December 9th, 1843.⁵ Another milestone is related to Mauricio Buscalioni (d. 1894) who was an astronomer and the first director of the Astronomical and meteorological observatory of Caracas in 1890. He equipped the observatory with modern instrumentation, with focus in meteorological and astrometric aspects. Under his management the first systematic measurements of atmospheric pressure, temperature, humidity and precipitation were recorded. He made astrometric observations to determine the official Venezuelan time and also the observatory geographic latitude. All these efforts aimed to interact with other observatories and astronomers in America and Europe.

⁴ Jurist and congressman Giovanni Germán Roscio (1763-1821) was the editor of the first republican constitution of Latin America promulgated in 1811.

⁵ In 1843, Codazzi, as a representative of the government, founded a special settlement known as Colonia Tovar with immigrants brought from the Black Forest in Germany with the idea of developing agriculture and mining in complete synergy with the foundational step devised by Castelli and Milano. The land was donated by Martín Tovar Ponte (1772-1843), who was one of signatories of the independence declaration.

3. The arrival of the XX century: The leading role of Italian influence in a final boost of Venezuelan science, physics and technology

With the arrival of the XX century the outstanding contribution came in the field of medicine with Luis Razetti Martínez (1862-1932), first generation of Italian descent. Razetti earned his degree as medical doctor and surgeon in 1884 at Universidad Central de Venezuela (UCV). In 1890 he enrolled in a postgraduate course in Paris becoming a medical specialist in surgery and obstetrics in 1893.

Razetti is seen as one of the founders of modern surgery in Venezuela with a substantial number of surgical procedures performed at the forefront of the medical science of his time. As a recognition of his contributions one of the schools at the Faculty of Medicine at UCV bears his name. In the agricultural forefront and after the pioneering work of Milano, Girolamo Azzi (1885-1969), born in Ponticelli di Imola, made his appearance as a world-class pioneer in a branch of ecology that was called agrarian ecology, in which he defined the climate-soil unit to study the effect of the environment on plant growth. He taught as a visiting professor in several courses at the Faculty of Agronomy, UCV. All these efforts were crowned with the creation of the Superior school of agriculture and zootechny by Augusto Bonazzi (1890-1974) in the same institution.

Bonazzi, who was born in Rome, died in Caracas and earned a doctoral degree in agricultural sciences and chemistry in 1910 at the University of Naples. A boost to Venezuelan science came at the middle of the XX century, when the promoters for the required changes in paradigms to embrace several challenges (Martín-Landrove *et al.* 2019), emerged at the right time and place. One of the leading figures of this movement was Francisco Antonio de Venanzi di Novi (1917-1987), first generation of Italian descent, who in 1949 was the first physician in Venezuela to be trained in the use of radioactive isotopes for medical purposes in the University of California and who, two years later, became the founder and head of the first laboratory for this purpose at UCV.⁶

De Venanzi became an important part of a trilogy with two other major figures like Marcel Roche Dugand (1920-2003) and Miguel Angel Layrisse Marrero (1919-2002), who built the institutions required for a modern development of science. This important task began at a time that was particularly challenging due to a silent rivalry between the Institute for Medical research Luis Roche (IMLR), under the leadership of that trilogy and the Venezuelan Institute of neurology and brain research (IVNIC), with Humberto Avelino Fernández-Morán Villalobos (1924-1999) as its head and founder, who was backed by the dictatorial government in power at the time (Soyano, Müller 2018).

Once that government ended on January 23rd, 1958, the faculty members of the IMLR split on purpose in two groups with very well-defined tasks keeping their initial objectives. Consequently, two scientific institutions emerged. One was the Venezuelan institute for scientific research (IVIC), created on the IVNIC premises in 1959, with a

⁶ De Venanzi was also the leading figure in the foundation of the Venezuelan association for the advancement of science (AsoVAC) in 1950, an institution with a very broad scope in science, far beyond the field of medical science of its founders.

broader scope in scientific research and Roche as its first director (Martín-Landrove *et al.* 2019). The other was the Faculty of science at the UCV, which had been created on paper by the university council in 1955. With a government change, in 1959 this institution had an effective and real foundational boost under the decisive sponsorship of De Venanzi⁷ as the rector-president of the university, and a former faculty member of the IMLR. These two institutions, IVIC and the Faculty of science at UCV, became in fact the seeds for the development or the revamp of other academic and scientific institutions in Venezuela, reaching in that way the original goals of the IMLR. The latter had a major influence and foundational power on academic grounds in several national universities and the former was the cradle of institutions like the Venezuelan Institute of Technology in Petroleum (INTEVEP), the Engineering institute foundation (FII) and the Institute for advanced studies (IDEA).

The Italian influence played a fundamental role for the promotion of research and development in engineering and applied physics and in that sense, an important figure was Roberto Cesare Callarotti Fracchia (1939-), born in Alessandria, Italy, who was part of a first generation of researchers at IVIC. Callarotti grew up as a Venezuelan citizen and in 1956 was awarded a scholarship to pursue a bachelor degree in electronics engineering at the University of Texas in Austin. As soon as he returned to Venezuela in 1960 a new scholarship was granted by IVIC for a PhD in electrical engineering at the Massachusetts institute of technology (MIT)⁸. His doctoral dissertation was about mixed states in type II superconductors⁹ completed in 1967 under Paul Gray (1932-2017).

Callarotti was interested in replicating some of the models to create institutions he learned at MIT. His views about this matter can be found in the acceptance speech as a fellow of the National academy of engineering and habitat, delivered in 2007 (Martínez, 2020). His action plan, after his return to IVIC in 1967, with the goal of reaching a world-class engineering and applied physics research level was twofold: (1) To identify undergraduate students with a strong penchant to pursue a career in research and development in Venezuela. (2) An expansion of the IVIC doctoral scholarship program to cover the different engineering branches. Then, to find candidates for his action plan, in 1967 Callarotti became a faculty member of the School of electrical engineering at UCV (Martínez, 2020) and in 1971 did the same at Universidad Simón Bolívar (USB). As founder of the Laboratory of superconductivity of the Physics center at IVIC, he was the mentor of several students in applied and condensed matter physics, as well as electrical engineering. He promoted a change of the IVIC doctoral scholarship program in 1969 with a shift towards more careers in applied science and engineering. Callarotti was able to foresee a major crisis in 1968, just one year in advance to the major confrontation between the team of nuclear engineers at the nuclear reactor facility RV-1

⁷ De Venanzi made important contributions in nutrition science and endocrinology, mainly in thyroid function and endemic goiter, with the help of methods based on the absorption of radioactive iodine.

⁸ As a previous step for such a PhD program, MIT requires to go through a master's degree first and Callarotti earned this degree in 1962 and his PhD in 1967.

⁹ The borderline between condensed matter physicists and electrical engineers at MIT sometimes is very hard to draw and it is a consequence of the cross-disciplinary approach that is a foundational principle as well as the key for MIT success, with a very high impact in research and development.

and the top authorities of IVIC¹⁰ (Martín-Landrove, Moronta, Verrilli 2019), he took the lead for a proposal for the creation of the Venezuelan institute for technological research, a technological counterpart of IVIC. Of course, such a radical proposal could not prosper, but it led in 1969 to the creation of the Technological center with two divisions (Martínez 2020), one was the Center for chemistry and petroleum, which was the seed for the creation of INTEVEP in 1975, and the other was the Engineering center with Callarotti as its head (from 1969 to 1974), which resulted in the creation of the FII in 1980.¹¹ Between 1980 and 1982 was deputy director of IVIC and from 1981 to 1984 was the founder and president of the FII. In 1985 Callarotti joined INTEVEP where he worked until 2000¹².

Mario Pietro Vecchi (1948-), of Italian descent, was one of the beneficiaries of the IVIC doctoral scholarship program and one of the recruits of Callarotti for research and development in applied science and engineering.¹³ Vecchi obtained a PhD in electrical engineering from MIT. His mentor for both the master's degree and the PhD work was known as the 'Queen of carbon', Mildred Spiewak Dresselhaus (1930-2017). His doctoral dissertation was finished in 1975 with focus on the electronic properties of the group V semimetals. In 1983 as a researcher of the Physics Center at IVIC and a visiting scholar at the IBM Thomas J. Watson center, Vecchi joined Scott Kirkpatrick (1941-) and Charles Daniel Gelatt Jr. (1947-) research program looking for new approaches to meta-heuristic methods, developing the seed for what is known today as optimization by simulated annealing where the cost function to be optimized plays the role of a Hamiltonian for a system under a programmed cooling process. Their article *Optimization by Simulated Annealing* (Kirkpatrick, Gelatt, Vecchi, 1983) is among the top 100 most-cited papers of all times sitting at the 86th place (Van Noorden et al 2014).

This success is a landmark for the Venezuelan and Latino American science. Although it is beyond the scope of this work, Vecchi's achievements and patents as a technology developer and entrepreneur in the industry related areas like electrical engineering, communications, and computer science came at the same level of those that he was able to achieve in applied physics. At the same time, many more Italians, Venezuelans and Latin Americans of Italian descent, continue to contribute to many areas of science with roles in both industry and academia, after the referred group of leaders paved the way with the creation of institutions and important funding programs related to projects and scholarships. In that sense, in the field of geophysics and reservoir physics, the international leadership of Giovanni Da Prat, Herminio Passalacqua, María Angela Capello, Mariela Araujo Freschi and Arcangelo Sena, was born at INTEVEP. There is also an

¹⁰ The leader of the nuclear engineering team, Gustavo José Rada Aristiguieta (1934-2007) left the institution for good

¹¹ Callarotti became a postdoctoral fellow in the laboratory of superconductivity of Michael Tinkham (1928-2010) at Harvard University in 1970 and one year later he became a faculty member of USB. He was also a faculty member at Universidad Metropolitana (UNIMET) and the postgraduate program of IVIC, just at its beginning in 1973.

¹² His aim and the challenge in this case was the opposite to the one he encountered previously at IVIC, since in an environment where engineering and technological applications almost have an absolute dominion, he was going to make a relevant space for basic research.

¹³ Before his postgraduate studies, Vecchi earned in 1969 a Bachelor of Science degree in Electrical Engineering and Computer Science at Cornell University (Alvarez-Cornett, 2015).

international general relativity school, with researchers in several institutions around the globe, under the lead of Luis Herrera Cometta (1946-), whose origins can be traced back to the Faculty of science at UCV. As a spin-off of this long lasting activity, came into life a group in complex systems at Universidad de Los Andes (ULA) with leaders like Mario Cosenza and Antonio Parravano.

As Uruguayans of Italian descent, we found the scientific work of Rodolfo Gambini (1946-) and Alvaro Restuccia at USB. Gambini and Antonio Trías developed the loop representation for Yang-Mills theories in 1986 and Restuccia made important contributions in supersymmetric theories since 1988. In basic chemistry, the major contributions of Italians and Latin Americans of Italian descent can be found in the foundational work of Mario Capparelli (UCV) in organometallics and Reinaldo Compagnone in the chemistry of natural products (UCV). In geochemistry the leadership belongs to Claudio Bifano (UCV,1939-), born in Naples, fellow of the National academy of physical, mathematical and natural sciences and the Latin American academy of science with an extensive work on pollution of water bodies, and also to Jean Pasquali (UCV) with a broad research on the effects of pollutants related to oil industry activity and the production of the first geochemical map of Venezuela. Carlo Caputo (IVIC) led fundamental research in muscle physiology. In relation to applied physics there are also important contributions like the efforts of Marcelo Puma for the establishment of a laboratory in metrology at FII by the end of the XX century and Lisseta D’Onofrio (UCV) in magnetism of alloys. In medical physics, one milestone was the establishment of the Venezuelan secondary standard dosimetry laboratory at IVIC in 1986. with the sponsorship of the International agency of atomic energy and under the proactive and strong leadership of Anita María Cozman Slamich (1929-2021), born in Trieste. In mathematical logic and infinitary combinatorics the leader is Carlos Di Prisco (IVIC/UCV).

4. Conclusion

Italians and Venezuelans of Italian descent have been playing a fundamental role in the development of Venezuela, making the country a home of their own. Their contributions and achievements, distinguished by their proactivity, became a legacy in science and applied science, building in this way an institutional basis for research and development.

References

- Alvarez-Cornett, J. (2015). *Mario Pietro Vecchi – Un profesional de éxito y el más citado* [online]. URL: <<http://chegoyo.com/proyecto-ves/ves-e-mario-pietro-vecchi-un-profesional-de-exito-y-el-mas-citado>> [access date: 22/02/2022].
- Kirkpatrick S., Gelatt C D., Vecchi M. P. (1983). “Optimization by simulated annealing”. *Science*, 220 (4598), pp. 671-980.

- Martínez J. M. (2020). *I+D+i en una empresa de América Latina. El laboratorio de telecomunicaciones. Posibilidades y límites del emprendimiento* [online]. URL: <<http://www.revistacts.net/wp-content/uploads/2020/11/LibroJMM-evdef.pdf>> [access date: 22/02/2022].
- Martín-Landrove R., Moronta D., Verrilli D. (2019). *Evolution of nuclear science in Venezuela*, in La Rana A., Rossi P. (ed), *SISFA Proceedings of the 39th Annual Conference* (Pisa, 9-12 September). Pisa: Pisa University Press, pp. 409-415.
- Soyano A., Müller A. (2018). “Humberto Fernández Morán y la creación del Instituto Venezolano de neurología e investigaciones cerebrales (IVNIC, 1954-1959)”. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Historia de la Medicina*, 67(1-2), pp. 64-77.
- Van Noorden, R., Maher, B., Nuzzo, R. (2014). “The top 100 papers. Nature explores the most-cited research of all time”. *Nature*, 514, pp. 550-553.

Time in Stoic Physics

Enrico Gasco - Zirak S.r.l - enrico.gasco@zirak.it

Abstract: In this article we will try to present a picture of what was the Stoic position on time; we will show the background ontology of the Stoics and in particular their idea of continuity. Through the theme of the *continuum* we will see the Stoic conception of the temporal instant and how they tried to answer Aristotle's aporias on time.

Keywords: Time, Stoics, Aristotle.

1. The physics of the Stoics and the continuum

Physis – nature – for the Stoics is the force or principle that creates and give cohesion to the world; it is a physical principle that determines the appearances of our sensitivity and is endowed with the rationality par excellence, the *logos*.

The Stoics identify this principle with the *pneuma*, which means ‘spirit’ or ‘breath of life’, and is a compound of air and fire with continuous properties, whose main physical characteristics are the elasticity of the air and the heat of the fire. The *pneuma* has the task of holding matter together, through the elastic properties of air, and of giving shape to it, through the thermal properties of fire; in essence it represents the tool that the Stoics use to differentiate reality. The diversification, in addition to the presence of different quantities of the two constituent elements, is determined by the motion of the *pneuma* which takes the name of ‘tensional motion’ and is borrowed from the motion of a standing wave; for example, Nemesius affirms that “in the substances there are tensional motions which move simultaneously inwards and outwards. The outward movement gives rise to quantity and quality, while inward movement produces unity and substance” (Sambursky 1953, p. 172). The *pneuma* has a cosmic value, as it pervades the whole universe, and through its movement it determines the unity of the cosmos and the close link between its parts¹.

The interaction between the *pneuma* and the substrate allows to determine the stoic categories which are four: the substrate, the qualified, the disposition and the relative disposition. The substrate or substance corresponds to matter and represents the passive principle of the Stoic Physics; it is never isolated but is always permeated by the *pneuma* that characterizes its properties – the qualified. The disposition, on the other hand, is a category that allows us to analyze not the specific and permanent characteristics of an

¹ An example of the cosmic value of the *pneuma* and the interconnection of the parts of the universe is the discovery of the tides made by Posidonius (Sambursky 1953, p. 174).

entity, but the various accidental ways of being;² time belongs to this grouping. Finally, there is the relative disposition which has the function of classifying the relationships between entities (Long, Sedley 1987, p. 166).³

The Stoics also deal with the continuum from a mathematical point of view and to exemplify the importance of their contribution consider how a paradox of Democritus was resolved by Chrysippus (Sambursky 1953, p. 189, Sorabji 1983, p. 341). Democritus considers a cone cut from different planes parallel to the base and wonders if the surfaces obtained from the section are all different or the same (in size); in the first case the cone would become irregular and stepped, while in the second case the cone would be reduced to a cylinder. Chrysippus resolves the aporia by stating that “sometimes one thing is greater than another, without escaping” (Sambursky 1953, p. 190), thus highlighting a definition similar to that of a differential element: when a differential is added to a quantity, the size grows but its increase is infinitely small, so it does not come out. In the case of the cone, the tendency to zero of the distance between the sections leads to the tendency to zero of the differences in their surfaces and a perfectly smooth cone results. The Stoic reflections on the continuum, which lead to the concept of limit, will be useful for understanding their definition of time.

2. Aristotle’s theory of time

To understand the Stoic theory of time it is necessary to start from the Aristotelian contribution which identifies time as “number of change [motion] in respect of *before* and *after*”. There is therefore a link between time and change, but there is no identity between the two concepts; the Stagirite in fact maintains that change is always associated with the particular object that alters its state, while time is always equal to itself and is not associated with anything (Aristotle 1991, Phys. 218b, 18). Furthermore, the change can be ‘fast’ or ‘slow’ while time flow smoothly. Although there is no identity, in any case time is an aspect of change.

Aristotle derives some properties of time from change. First, it uses the relation of ‘following’ to determine the continuity of time: if a thing *a* is followed by a thing *b*, then some properties of *b* can be determined by some properties of *a*, but the passage from one state to the next must occur continuously, since the properties that undergo the change for Aristotle are continuous quantities. In fact, he states:

Since the changing thing changes from something to something and any magnitude is continuous, the change follows the magnitude. For it is because the magnitude is continuous that the change too is continuous, and because the change [is continuous, so is] the time (Aristotle 1991, Phys. 219a, 10-13).

² An example of a disposition is the statement “Cato walks”, which shows how Cato’s walking is a disposition of Cato.

³ An example of a relative disposition is the statement “being seated on my father’s right”, which shows how being on someone’s right is a relative disposition.

The directionality of time, which he refers to through the *before and after* periphrasis, is a second property that Aristotle derives from change. Also in this case the property is determined by means of the *magnitude*; in fact he affirms:

The before and after in place is first. There, it is in position. Since the before and after is in magnitude, the before and after must also be in change, by analogy with what is there. But the before and after is in time too in virtue of the fact that the one always follows the other (Aristotle 1991, Phys. 219a, 14-19).

The numerical characteristic of Aristotle's temporal definition arises from the consideration that when we identify a *before and after* relation we are identifying two successive temporal instants (*now*) and in essence we are using an ordering; time is therefore the order in which the change occurs. The definition of instant – which we have just talked about – is problematic and leads to some aporias which undermine its reality and which we will see of interest also for the Stoics. One of these aporias is associated with the following definition of time:

In the case of anything that consists of parts, whenever it is, either all or some of its parts must be. But of time, which consists of parts, some have been and others will be, and none is. The now is not a part, for the part measures [the whole], and the whole must be composed of its parts. But time does not seem to be composed ofnows (Aristotle 1991, Phys. 217b, 33-218 a 3).

The instant is therefore the equivalent of a point on a line that divides time into two segments – the past and the future – to which the point does not belong: the instant therefore has no temporal dimension and cannot be used to measure time.

Another aporia of the instant consists in establishing whether it, considered as a 'boundary' between past and future, is always the same or differs from time to time. According to Coope (2005) and Waterlow (1984), the instant has both characteristics. If we consider a movement, for Aristotle the instant follows the object in motion as time follows its movement; for example, if we consider the 'extended over time' action of Coriscus who walks from the Lyceum to the Agora, it will have its existence until Coriscus reaches the Agora; the same relationship that exists between Coriscus and his motion exists between the instant and the time taken to perform the action. By deriving the instant from the object in motion, Aristotle has the possibility of asserting that the instant is always the same. Still from the same example it can be obtained that the instant also has a divisive purpose; in fact when Coriscus is in motion from the Lyceum to the Agora, he is first at the Lyceum and then at the Agora, but these two instants are different precisely because the "Coriscus at Lyceum" and "Coriscus at Agora" events, to whom the instants are associated, are different.

Aristotle's reflections on time had an inevitable influence on the thinkers who followed him and the Stoics also had to reflect on Aristotle's contribution.

3. Time as “diastema” of motion

If Aristotle establishes a relationship between number and movement, the Stoics follow another path and try to identify time as an interval/extension of motion. The definitions they furnish are different, but substantially reduce to those provided by Zeno and Chrysippus that we report below, both given by Stobaeus:

Zeno: Zeno said that time is the diastema of motion and the measure and criterion of fast and slow, in whatever way <each thing> has it. All things which come about and perish come about, and all things which are are, in accordance with time. (Stobaeus 1912, Ec. I.8.40e.2-6)

Chrysippus: Chrysippus <said> that time is the diastema of motion, according to which measure fast and slow are spoken of; or the diastema accompanying the motion of the cosmos, and in accordance with each thing both moves and is (Stobaeus 1912, Ec. I.8.42.25-29)

As can be seen, the two definitions are based on the Greek term *diastema*. Bobzien (2015), analyzing the use of the term in Sextus Empiricus, associates it with three meanings related to the context in which the term occurs. Although the proposal is linked to the interpretation of the skeptical author’s passages, it is also useful for understanding the use of *diastema* in the Stoic context.⁴ *Diastema* is used with the meaning of ‘interval’ of motion whenever it refers to a portion/period of a motion, thus representing the basis of our ability to measure periods of time. If we consider the two definitions of time reported above, Bobzien (2015) associates this interpretation with Chrysippus, especially because it refers to the cyclic motion of the cosmos. The term *diastema* also means extension of motion whenever time refers to a completely general motion in which no periodic or duration aspect is indicated. Bobzien (2015) believes that this meaning is to be attributed to *diastema* when considering the definition of time proposed by Zeno.⁵

If we compare what Bobzien highlighted for the Stoics with what Aristotle presented, we immediately note that time is no longer seen as a “number of the movement”, but as an interval/extension of it. The Stoics – whose ontology, as we have seen, is linked to the continuum – arrive at this definition by accepting the criticisms that Strato addresses to Aristotle; the disciple of the Stagirite in fact considers the number not suitable for the definition of time because it is a discrete quantity, while temporality is a continuous property (Sorabji 1983, p. 377, Sambursky 1959, p. 100).

We also observe (Sambursky 1959, p. 101) that the definition of time provided by the Stoics is essentially relative: in fact, time is a comparative measure of fast and slow motions, as we can compare the durations of similar motions along the temporal dimension. Finally, we note how in the Stoic definition of time explicit reference is made to speed (the periphrasis “fast and slow” in each definition of time); Sambursky (1953, p. 186) believes in this definition there is the ‘first’ recognition of the functional dependence

⁴ Sextus Empiricus offers comments on Stoic philosophy in his works.

⁵ The third meaning of *diastema* is dimension of motion which takes place when the term is used in context where either all motion or motion in general is at issue; it is an abstraction of the second meaning, but it is not used by the Stoics.

between speed and time which will be one of the fundamental discoveries of the physics of the 17th century.

4. The problem of the instant

The theme of the instant and the reality of time – which was first tackled by Aristotle – is also examined by the Stoics as the following passage from Stobaeus shows us:

And he [Chrysippus] says most manifestly that no time is wholly present. For since the cutting of continua proceeds to infinity, then, according to this division, in every time too the [cutting] proceeds to infinity. Therefore, no time is said to be present in a narrow sense, but in a broad one. But he says that only the present belongs, whereas the past and the future subsist, but not belong in any way, just as only predicates that express current attributes [of bodies] are predicates that belong, for instance, walking around belongs to me when I walk, but it does not belong when I lie down or sit (Stobaeus 1912, Ecl. 1.106, 13-23).

Chrysippus's reasoning is divided into five steps (Ricardo 2018). (1) Consider a certain time interval and divide it into parts. (2) Pay attention to the portion of time that also includes the 'present', so that the entire interval seems present as a whole. (3) If we consider this interval in more detail we will realize that it will not be totally present, but will in turn be made up of past/future parts. (4) We can consider a smaller time interval assuming that it is totally present, but even this interval will be divisible into past/future parts and so on indefinitely. (5) From the above reasoning, it can be deduced that "No time is wholly present", in the sense that every time interval – whatever its size – is not totally present, as it contains parts of past and parts of future. In this sense, the present moment cannot be defined precisely, but only vaguely. Unlike Aristotle, who considered the instant as punctual and 'boundary' between past and future, in the case of Chrysippus we are faced with a definition based on a continuous and non-discrete ontology.

If we examine the passage of Stobaeus, we realize that the present is the center of a very small, albeit finite, portion of time, that is, time elements are finite quanta and not points without extension. To use the language of differential calculus, the present becomes a differential of time (Sambursky 1953, p.187) and is the limit towards which a smaller portion of time tends (Sambursky 1959, p. 104). In this case we are faced with an analogy with the definition of body: for the Stoics the surface that identifies a body is interpreted as a double infinite sequence of converging surfaces that inscribe and circumscribe the body. In the case of time, the limit process consists of an infinite approach to the punctual instant, on the one hand coming from the past and on the other moving from the future; in this way the 'present' – as a limiting process – keeps within it both aspects of the past and the future. If we analyze the second part of the Chrysippus's passage, we must clarify the use of the term 'belong' and 'subsist' with respect to time. Ricardo (2018) develops a Stoic theory of events, in which an event is the exemplification of certain properties of bodies. The important point of Ricardo's proposal is to specify a correct meaning for the terms 'belong' and 'subsist'. In Stoic logic, predicates have the function

of expressing the properties of a subject: in the example of Chrysippus the predicate ‘walking’, when referring to me, expresses the property I have of walking (when I walk). The terms ‘belong’ and ‘subsist’ are used to indicate when a predicate is satisfied with reference to a certain instant of time. When I walk in this instant, the property of walking belongs to me; when I am seated in this instant, the property of walking subsists in me, but it does not belong to me. But what is ‘my walking’? It is an extended action that certifies that an ‘accidental’ property occurs, or in stoic terms, ‘walking’ is a disposition that belongs to me if I am walking. In general terms, whenever an event occurs consisting in the exemplification of a property by a body, then the predicate that expresses the property ‘belong’; otherwise, when the event does not occur and no body exemplifies the property, the predicate ‘subsist’. There is a strong link between a predicate of a property of a body and the instant in time when the predicate is said. When a property of an entity occurs at a time that overlaps with the now, e.g. today, time ‘belong’ and is, therefore, present; otherwise, when the exemplification does not occur at a moment that overlaps the now, e.g. yesterday, time simply subsist – therefore it is past or future. In this sense the present ‘belong’ while the past and the future ‘subsist’.

5. Conclusions

In this article we presented the salient properties of the Stoics concept of time, also highlighting some aspects that link it to the physics of the continuum and to the aporias highlighted by Aristotelian reflection.

References

- Aristotle (1991). *The complete works of Aristotle: The revised Oxford translation*. Princeton: Princeton University Press.
- Coope U. (2005). *Time for Aristotle. Physics IV 10-14*. Oxford: Oxford University Press.
- Bobzien S. (2015). *Time: M 10.169-247*, in Algra K., Ierodiakonou K. (eds), *Sextus Empiricus and ancient physics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp 275-323
- Long A., Sedley D. (1987). *The Hellenistic philosophers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ricardo S. (2018). *Two classic problems in the Stoic theory of time*, in Caston V. (ed), *Oxford Studies in Ancient Philosophy*, 55. Oxford: Oxford University Press, pp 133-184
- Sambursky S. (1953). *The physical world of the Greeks*. Princeton: Princeton University Press.
- Sambursky S. (1959). *Physics of the Stoic*. Princeton: Princeton University Press.
- Sorabji R. (1983). *Time, creation and the continuum*. Ithaca: Cornell University Press.
- Stobaeus (1912). *Ioannis Stobaei anthologium*. Berlin: Weidmann.
- Waterlow S. (1984). “Aristotle’s now”. *The Philosophical Quarterly*, 34 (135), pp 104-128.

Gravitazione idrodinamica: suo legame con l'espansione dei corpi celesti e con i *redshifts*. Dalla storia all'oggi

Giancarlo Scalera - INGV, Roma - giancarlo.scalera@ingv.it

Abstract: Through the problem of the storage of the aether arriving into the celestial bodies, the history is retraced from the 17th century to the present day of the hydrodynamic explanation of gravitation and its very close connection with the concept of the expanding Earth. Today, with the help of astrophysics, it is possible to determine the density of the ether and its superluminal speed at the Earth's surface. Modern experiments confirm hydrodynamic gravitation and it is possible to highlight an intimate interrelation of the aether parameters with the actually known cosmological parameters H_0 , G , c . The unification of the hydrodynamic gravitation and the expansion of the celestial bodies is linked to a revision of the concepts of physics and cosmology, in which the actually accepted physics laws should be considered only approximations of a more complex reality.

Keywords: Hydrodynamic Gravity, Aether, Expanding Earth, Cosmology.

1. Prospettiva storica del *torrente centrale*

Il lavoro di ricerca di Newton sulla gravità non fu mai scisso dalla consapevolezza che la gravitazione avrebbe dovuto essere spiegata con meccanismi fisici. Newton ammetteva l'esistenza di un etere pervadente ogni cosa (Bellone 2006), ed era anche circondato da referenti scientifici che proponevano spiegazioni meccaniche della gravitazione. Un suo buon amico e confidente era quel Fatio De Duillier (1690) per il quale la gravità era causata da urti meccanici di particelle infinitesimali vaganti con direzioni e velocità casuali nello spazio (van Lunteren 2002): un meccanismo ulteriormente sviluppato poco più tardi da George Le Sage (1750) (van Lunteren 2002). Nonostante congetture su possibili flussi di etere verso l'interno terrestre come causa della pesantezza, Newton e tanti altri successori, per i loro convincimenti religiosi, non potevano concepire un accumulo di materia progressivo nel pianeta: l'etere veniva eliminato con improbabili meccanismi. Per Newton doveva ritornare nello spazio esterno, ed il contrasto problematico tra l'arrivo ed il ritorno finì per produrre la rinuncia del britannico ad immaginare ulteriori ipotesi. Fu lo svizzero Johann Bernoulli (1667-1748), pur a conoscenza del meccanismo alla De Duillier-Le Sage (tradusse il testo di De Duillier), a proporre un vero flusso idrodinamico di etere penetrante perpendicolarmente alla superficie terrestre diretto verso il centro del pianeta (da lui chiamato *torrente centrale*). Non scervo da contraddizioni e incompletezze, Bernoulli fondeva, a suo dire, il meglio delle concezioni (incompatibili) di Newton (simmetria sferica della gravità) e di Descartes (simmetria assiale), convinto di riprodurre

tutti gli aspetti della gravità newtoniana, ma senza una rigorosa dimostrazione formale (Bernoulli 1735). Il problema dello stoccaggio o meno nei corpi celesti dell'etere in arrivo rimaneva nel vago. Nell'Ottocento ci riprovarono almeno in due: James Clerk Maxwell (1831-1879) e Bernhard Riemann (1826-1866). Nel campo dell'elettrostatica l'inglese aveva una interpretazione idrodinamica delle linee di forza di Faraday, descrivendole come tubicini entro i quali scorreva un fluido (ma immaginario!) la cui velocità diminuiva come $1/r^2$ rispetto alla carica (Maxwell 1856); l'analogia fra elettromagnetismo e gravitazione fu poi elaborata da Oliver Heaviside (Scalera 2021). Riemann invece scrisse un lavoro nel 1853 (pubblicato postumo) *New mathematical principles of natural philosophy*, in cui era sviluppato un modello idrodinamico dell'etere fluido incompressibile, ma anch'egli non sapendo dove immagazzinare il torrente d'etere in arrivo scriveva:

I make the hypothesis that space is filled with a substance which continually flows into ponderable atoms, and vanishes there from the world of phenomena, the corporeal world. Both hypotheses may be replaced by a single one, that in all ponderable atoms, a substance perpetually appears from the corporeal world into the mental world (Riemann 1853, pp. 505-517).

Maxwell e Riemann risolsero quindi il problema dello stoccaggio in modo idealistico. Il torrente trovò finalmente il luogo dove depositarsi nel nostro mondo reale pochi decenni dopo: la quasi ovvia soluzione fu elaborata dall'ingegnere e astronomo Russo-Polacco Jean O. Yarkovsky (1844-1902), più noto in astronomia per un effetto termodinamico sulla rotazione dei corpi celesti (Beekman 2005). Egli pensava che l'etere in arrivo formasse nuovi atomi nelle profondità terrestri, dando luogo a vari fenomeni tra i quali espansione del pianeta, calore interno e terremoti (Yarkovsky 1889). Pochi anni dopo pubblicava un breve libello sulla densità dell'etere, in russo, nel quale ricavava un valore undici ordini di grandezza maggiore di quello qui calcolato (Yarkovsky 1901). Senza darne riferimento bibliografico, egli citava come errato il valore pubblicato da Lord Kelvin (che era dello stesso ordine di grandezza di quello qui dedotto). Le sue idee erano però più vicine a quelle di De Duillier-Le Sage. Seguì a partire dall'inizio del '900 l'attività di Ott Hilgenberg (1896-1976), noto cultore della *Expanding earth* a Berlino (Scalera 2020), che riprese in tarda età ricerche giovanili sull'etere. Dei contrattempi impedirono una sua presentazione orale sulla gravità idrodinamica come causa dell'espansione ad un congresso organizzato dal geofisico inglese Keith Runcorn a Newcastle Upon Tyne. Poco dopo pubblicò la sua prolusione in un fascicolo di 16 pagine (Hilgenberg 1967) criticando Riemann per la sua idealistica scomparsa dell'etere giunto nei corpi materiali, e tentò di ricavare la densità dell'etere aiutandosi con lo spostamento verso il rosso della luce solare. I dati dell'epoca non gli consentirono di riuscire, ma è notevole il suo aver imboccato una strada in principio giusta. Oggi numerosi gruppi o singoli ricercatori si occupano di gravitazione idrodinamica, ma molti di loro nell'ambito teorico della relatività generale e senza collegamento con la *Expanding earth*. La situazione oggi non differisce molto da quella lucidamente riferita da Riemann (1853): «Rather, we should look to the circumstance that Newton's law of attraction has operated so long on the notions of researchers that they seek no further for explanations». Infine, nei moderni manuali e trattati di idrodinamica, le entità pozzo e sorgente vengono considerate con sgomento per la singolarità presente al

loro centro e definite come pure astrazioni teoriche: in nessuno si dimostra che la singolarità è cancellata dalle leggi newtoniane applicate alla materia in accumulo al centro.

2. Può la geologia quantificare l'etere in arrivo?

Le scienze della Terra forniscono numerose evidenze di espansione del pianeta (Hilgenberg 1967, 1974; Carey 1976; Owen 1976; Scalera 2020). Tutte queste prove di carattere geologico, paleontologico, geomorfologico, paleogeografico, paleomagnetico, geocronologico ecc., non necessariamente implicano un legame tra *Expanding earth* e una gravitazione idrodinamica a torrente centrale. Solo ultimamente dai raffinati esperimenti in Italia, *Borexino* al Gran Sasso, e in Giappone *KamLAND* sull'isola di Honshu, allestiti per misurare dal flusso di neutrini il calore radiogenico della Terra (Scalera 2020) è cresciuta la consapevolezza che causa dell'espansione possa essere un flusso di etere che converge verso il pianeta trasformandosi in materia strutturata ordinaria, particelle, durante il tragitto superficie-geocentro. Da questi esperimenti si deduce (Scalera 2020, p. 112) che il bilancio del calore terrestre (il totale 45-47 TW, da pozzi e miniere, dovrebbe eguagliare la somma del calore primigenio più quello radiogenico, ma non è così) può chiudersi in pareggio solo con una sorgente non identificata di calore che potrebbe essere legata all'ignoto fenomeno fisico che pilota l'espansione terrestre. Bisogna quindi chiedersi se una parte dei neutrini rivelati in *Borexino* e *KamLAND* sia prodotta dalla materio-genesi, e se parte del flusso di calore mancante all'appello sia dovuto all'incremento della energia cinetica (termica) dei materiali del nucleo terrestre dovuto non ai decadimenti radioattivi ma al convergere dell'etere e alle sue modalità di conversione in materia ordinaria. Si può allora iniziare a ragionare su una gravitazione dovuta al campo materiale di un etere fluido perfetto incompressibile di densità ρ , convergente verso la Terra con velocità dipendente da $1/r^2$ (al di sopra della superficie del pianeta; r = distanza dal geocentro). Partendo dalla nota relazione per la forza $f = \rho Qv$ (chiamata termine dissipativo) esercitata da una corrente fluida di flusso uniforme con velocità v su una singolarità di pozzo di portata Q (Buffoni 2015), si arriva alla espressione della forza attrattiva tra due pozzi (o anche tra due sorgenti) analoga alla espressione della gravità newtoniana: $f = \frac{\rho}{4\pi} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$, che si confronta con la forza della gravità tra due masse: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$. Ovvvi problemi dimensionali non permettono di identificare G con $\rho/4\pi$. La stessa forza di attrazione si otterrebbe sia con alte portate Q_i e bassa densità ρ , sia basse portate e innalzando ρ , ed anche il campo di velocità fa la sua parte nel termine dissipativo. Si hanno solo indizi che la densità di etere sia molto bassa (Buffoni 2015; Scalera 2020), in caso contrario il termine dissipativo f sarebbe troppo importante e i padri fondatori della scienza moderna non avrebbero potuto porre come buone approssimazioni il principio di inerzia, il concetto di campo conservativo, di velocità di fuga, etc.

Dalle scienze della Terra, con la paleogeografia (Scalera 2020) ed i suoi limiti di precisione si valuta la massa nel guscio sferico aggiunto fino ad oggi e si può così calcolare approssimativamente il tasso di trasformazione dell'etere in materia ordinaria come energia trasferita al pianeta nell'unità di tempo (al secondo; mediando dal Triassico ad oggi,

250 Ma in tutto; raggio terrestre all'epoca $R_{Trias} \approx 3000$ km) (Scalera 2020) che risulta essere $E_{es} = (M_{acq} c^2)/(2.5 \cdot 10^8 \text{ y} \cdot 3.1557 \cdot 10^7 \text{ s}) = 4.599 \cdot 10^{24}$ J/s. Ma le sole Scienze della Terra non risolvono univocamente il problema di ricavare la quantità ρ , densità dell'etere, né le portate d'etere né le sue velocità $v(x,y,z)$ intorno a pozzi (corpi celesti). Forse questo mancato sbocco impedì alla concezione della gravità di Bernoulli e successori di diffondersi e radicarsi nella comunità scientifica.

3. Un soccorso dall'astrofisica

Per fissare un valore almeno approssimato di ρ , chiediamo all'astrofisica, quell'aiuto che non poté dare ai loro tempi a Yarkovsky (1901) e Hilgenberg (1967). Ipotizziamo che il termine idrodinamico dissipativo dipendente dalla velocità $f = \rho q v$ sia responsabile del fenomeno dello spostamento verso il rosso $z = (\nu_0 - \nu_1)/\nu_1$ della radiazione elettromagnetica proveniente dai corpi celesti, che dà luogo alla legge di Hubble $z = (H_0 D)/c$. Questa idea è simile, ma non coincidente, con quella della luce stanca, considerata come molto più plausibile dell'effetto Doppler da cosmologi come Edwin Hubble, Fritz Zwicky, e altri colleghi che per primi lavorarono alla relazione *redshift*-distanza (Kragh 2017).

La variazione di energia E di ogni fotone emesso con frequenza ν_0 e ricevuto con frequenza ν_1 , $E = h(\nu_0 - \nu_1)$, è causata dal lavoro $L = E = fD = \rho q c D$ del termine dissipativo f sul moto di un pozzo di portata q (il fotone), sulla distanza D tra l'emittente e l'osservatore. Con poca matematica e semplice astrofisica newtoniana (Scalera 2021, pp. 2-4), ricaviamo il rapporto costante tra qualsiasi portata Q e la massa a lei associata M :

$$\frac{Q}{M} = 4\pi \frac{G}{H_0} = \ell = 3.6 \cdot 10^8 \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}} \quad (1)$$

Infine, da quest'ultima, con altri pochi passaggi (Scalera 2021) si ottiene il parametro fondamentale lungamente cercato:

$$\rho = \frac{1}{4\pi} \frac{H_0^2}{G} = 0.647 \cdot 10^{-24} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

Con la (2) possiamo definire il campo di velocità $v(x,y,z)$ del fluido. (Q_T = portata della Terra; R_T = raggio terrestre):

$$v = \frac{Q_T}{4\pi R_T^2} = \frac{M_T \ell}{4\pi R_T^2} = \frac{M_T G}{H_0 R_T^2} = 4.2 \cdot 10^{18} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3)$$

alla superficie terrestre, 10 ordini di grandezza maggiore di c , e che decresce come $1/r^2$ analogamente al campo classico di gravità g . Il valore (3) ottenuto dall'astrofisica è compatibile con quello ottenibile dalle ricostruzioni paleogeografiche dell'energia nell'unità

di tempo iniettata nella Terra dall'etere e trasformata in massa di materia ordinaria $E_{\epsilon s} = 4.599 \cdot 10^{24}$ J/s, dal quale si ricava:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho 4\pi R_T^2 \frac{dx}{dt} = \frac{E_{\epsilon s}}{c^2}; \quad e: \quad v = \frac{dx}{dt} = \frac{E_{\epsilon s}}{\rho 4\pi R_T^2 c^2} = 15.45 \cdot 10^{18} \quad \frac{m}{s} \quad (4)$$

alla superficie terrestre.

Sebbene diversi, i valori (3) e (4) sono nello stesso ordine di grandezza (non avrebbero ragione d'esserlo se fosse falsa o l'espansione terrestre, o la gravitazione idrodinamica, o ambedue) confermando il loro legame con la realtà fisica. Il valore (3) dovrebbe essere considerato più vicino al vero, con H_0 il parametro più incerto. Ciò è incoraggiante, ed assumendo l'ovvio accrescimento esponenziale della massa o della portata terrestre $M_T(t) = (Q_0/\ell) e^{t/\tau}$, si arriva al valore di $\tau \approx 350$ Ma (tempo di accrescimento di M_T di un fattore 'e': la massa terrestre sarà 2,7 volte maggiore tra 350 Ma) (con $M_0 = M(t=0) = M_T$; $M(t=-\infty) = 0$). Questo in futuro sarà d'aiuto per calibrare le ricostruzioni paleogeografiche e la stima dei paleoraggi terrestri.

Anche il decrescere nel tempo della densità dell'etere ρ a causa del suo travaso dallo spazio ai corpi celesti deve essere in futuro valutato con cura.

4. Campo di velocità dell'etere all'interno terrestre

Stante l'analogia tra andamento $1/r^2$ del campo di gravità newtoniano e di velocità idrodinamico allontanandoci dalla superficie della Terra, e dato che sono proprio le velocità dell'onnipresente fluido che producono forze identificabili con quelle gravitazionali, la stessa analogia deve porsi per l'interno terrestre. Infatti dato che la g e la v sotto la superficie si ottengono ambedue come integrazione dei contributi di tutti gli elementini di massa dm o di portata dQ , il risultato degli integrali avrà stesso andamento ma diversa scala. Il valore sia del campo g che di quello v dalla superficie fino al geocentro, non aumenta senza limiti verso valori singolari infiniti (come nei pozzi idrodinamici), ma a partire dal confine mantello-nucleo inizia una decrescita quasi lineare verso il valore nullo al centro terrestre. È sufficiente l'accumulo al centro di una piccola quanto si vuole quantità di materia perché le leggi di Newton proibiscano l'esistenza di quelle singolarità tanto temute da Riemann e dagli autori dei trattati moderni di fluidodinamica.

In questa regione del nucleo, con la decelerazione del flusso in arrivo, ci si deve attendere una più efficiente trasformazione da etere a materia ordinaria, con probabile reazione esotermica che andrebbe a costituire la fonte ignota di calore mancante nel bilancio energetico terrestre. Una seconda zona di auto sovrapposizione del flusso, che mantiene una velocità pressoché costante da 700 km a circa 2000 km di profondità, potrebbe essere correlata alla profondità massima osservata dei terremoti, che nelle regioni Wadati-Benioff è 700 km. Queste zone sono interpretate nella *plate tectonics* come di subduzione litosferica, ma sono in realtà, nella interpretazione della *Expanding earth*, zone di estrusione di materiale (Scalera 2020) la cui provenienza è ora immaginabile.

5. Esperimenti antichi e recenti

Un vecchio esperimento: come abbiamo visto in questa visione dell'universo, la luce non si propaga agganciata all'etere. In caso contrario, a causa della velocità $v \gg c$ dell'etere in entrata nei corpi celesti, la luce non potrebbe allontanarsi da essi. I raggi luminosi si propagano per fenomeni di autoinduzione, e sono solo debolmente influenzati dall'etere dando luogo al *redshift* cosmologico e gravitazionale, e alla deflessione della luce per gravità idrodinamica. Era un problema mal posto il cercare di rivelare il vento d'etere così come inteso da Michelson & Morley. Fu escluso un solo tipo di vento d'etere agente sulla luce in uno dei modi possibili, ma non tutti, ed in particolare non questo del torrente centrale causa della gravità. Esperimenti recenti: se la gravitazione si propagasse a velocità finita $v_g = c$, si potrebbe dimostrare che i pianeti sentirebbero la forza del sole come essa era molti minuti prima (dipende dalla distanza del pianeta). I pianeti subirebbero una accelerazione in direzione del moto e le orbite si allargherebbero rapidamente. Laplace (1802), che considerava plausibile la gravità idrodinamica, calcolò che la velocità di propagazione della gravitazione doveva eccedere di molti ordini di grandezza la velocità della luce per rendere trascurabile l'effetto (detto aberrazione gravitazionale):

Si la gravitation était produite par l'impulsion d'un fluide vers le centre du corps attirant; l'analyse précédente, relative à l'impulsion de la lumière solaire, donnerait l'équation séculaire due à la transmission successive de la force attractive. [. . .]; on doit supposer au fluide gravifique, une vitesse au moins cent millions de fois plus grande que celle de la lumière, c'est-à-dire qu'il faudra it supposer une semblable vitesse aumoins à la lune, pour la soustraire à l'action de sa pesanteur vers la terre. Les géomètres peuvent donc, comme ils l'ont fait jusqu'ici, supposer cette vitesse infinie (Laplace 1802, pp. 325-326).

Recentemente Van Flandern (1998) ha ristretto i valori di v_g a valori maggiori di $2 \cdot 10^{10} c$ che sono nell'ordine di quelli qui stimati (eq. 4) nei pressi della Terra, ed un esperimento dell'INFN ha provato che il campo coulombiano di cariche in moto ha un comportamento rigido (De Sangro *et al.* 2015), risultato che può essere interpretato come una velocità altissima di propagazione dei campi nell'ambito di una loro formulazione idrodinamica. La non realistica esclusione del termine idrodinamico dissipativo (piccolo ma non trascurabile se $\rho \neq 0$) porta a risultati teorici anch'essi non realistici con propagazione istantanea del campo coulombiano, generando fuorvianti interpretazioni che giustificerebbero sia l'azione a distanza che la non località. A questo proposito De Sangro *et al.* (2015) citano i potenziali ritardati di Liénard-Weichert.

L'esistenza della aberrazione gravitazionale non è però esclusa per distanze molto grandi. Ad esempio, una velocità del campo di 1.0 m/s, viene raggiunta per la terra a circa $1.3 \cdot 10^{16}$ m (1.4 anni luce), per il Sole a $7.55 \cdot 10^{18}$ m (163 anni luce), per la galassia – assumendo una massa galattica di 10^{12} masse solari – a $7.55 \cdot 10^{24}$ m ($8 \cdot 10^8$ anni luce). L'aberrazione gravitazionale dovrebbe quindi essere importante per la dinamica galattica e va valutato il suo essere concausa nel problema insoluto dell'anomalo appiattimento della curva della velocità di rotazione galattica all'aumentare della distanza.

6. Conclusioni

Il secolo scorso è stato un periodo storico in cui ha prevalso un modo ‘virtuosistico’ di fare fisica che si è allontanato sempre più dalla ricerca di una fedele descrizione della realtà. Non ci si riferisce qui ai meravigliosi esperimenti nei grandi *colliders* alla ricerca di nuove particelle, pur sempre espressione di proprietà vibrazionali microscopiche dell’etere. Ma già nel primo quarto di quel secolo ci fu chi si rese conto di un fenomeno che pervadeva tutta la cultura – arte, letteratura, scienza, filosofia – denunciandolo chiaramente. Antoine de Saint-Exupéry nel 1925 scriveva:

[bisogna . . .] rifiutare invece Pirandello e tutte le false vertigini [. . .]. Ciò che è oscuro è più tentante di ciò che è chiaro. Di due possibili spiegazioni di un fenomeno, la gente sceglie d’istinto quella oscura. Perché l’altra, la vera, è semplice e scialba e non fa drizzare i capelli in testa. Il paradosso è più affascinante di una spiegazione vera e la gente lo preferisce. Tutto ciò è molto diffuso. [. . .] Per lo stesso motivo la gente da qualche anno si è impadronita del povero Einstein. Voleva non capire più niente, provare un grande smarrimento, sentire l’ala dell’ignoto (de Saint-Exupéry 2015, quinta lettera, pp. 20-31).

Concetti simili a quelli già espressi dallo stesso Einstein nel 1921 in una intervista al cronista Aldo Sorani durante un ciclo di conferenze tenute all’Archiginnasio dell’Università di Bologna:

[. . .] nella teoria della relatività si vede un qualche cosa che allontana dalla vita umana, da questa vita umana d’oggi così tumultuosa, problematica, così piena di crisi innumerevoli, di trapassi sociali e morali improvvisi. C’è nel mondo un diffuso e confuso bisogno di uscire in qualche modo dal caos che la guerra ha lasciato, di liberarsi dalla veste fangosa e insanguinata di cui tutti ci siamo trovati rivestiti, di uscire da noi stessi (citato in Barone, Ciardi 2021, p. 1).

Una veste che divenne ancor più funesta durante e dopo il secondo conflitto mondiale. Con l’avvento delle teorie relativiste, l’*horror vacui* era stato incredibilmente sostituito dall’*horror pleni*, con conseguente demonizzazione del concetto di etere e di chi se ne era occupato o di chi voleva studiarlo. Invece, come abbiamo cercato di dimostrare, il semplice ammettere che l’espansione dei corpi celesti sia un fenomeno naturale riconosce ancora all’etere un ruolo da protagonista nell’unificare tra loro moltissimi fenomeni fisici, e ad interpretarne diversi simultaneamente. Non tutti i problemi sono risolti, ma quanto detto sopra assicura alla concezione di gravità idrodinamica e di espansione dei corpi celesti, unificate, un percorso di approfondimento futuro nella scienza.

Bibliografia

Barone V., Ciardi M. (2021). “Albert a spasso per l’Archiginnasio”. *Suppl. Domenica del Sole 24 ORE*, 17 ottobre 2021.

- Beekman G. (2005). “The nearly forgotten scientist Ivan Osipovich Yarkovsky”. *Journal of the British Astronomical Association*, 115 (4), pp. 207-212.
- Bellone E. (2006). *Isaac Newton*, in Rossi P. (a cura di), *Storia della scienza*. Vol.1, Roma: Gruppo Editoriale L’Espresso, pp. 419-447.
- Bernoulli J. (1735). *Essai d’une nouvelle physique celeste*. Paris: Impr. Royale.
- Buffoni E. (2015). *Idrodinamica*. Pisa: Edizioni Tipografia Editrice Pisana.
- Carey S.W. (1976). *The expanding earth*. Amsterdam: Elsevier.
- De Saint-Exupéry A. (2015). *Lettere di giovinezza all’amica inventata*. Milano: Il Sole 24 Ore.
- De Sangro R., Finocchiaro G., Patteri P., Piccolo M., Pizzella G. (2015). “Measuring propagation speed of Coulomb fields”. *The Europ. Physical Jour. C*, 75 (3), 137.
- Flandern (Van) T. (1998). “The speed of gravity—What the experiments say”. *Physics Letters A*, 250, pp. 1-11.
- Hilgenberg O.C. (1967). *Why earth expansion?* Talk held to the Technical University Berlin on February 7 1967. Berlin: Published by the author.
- Hilgenberg O.C. (1974). *Geotektonik, neuartig gesehen. Geotectonics, seen in a new way*. Stuttgart: Schweizerbart.
- Laplace P. (1799-1825). *Mechanique celeste*. Tome troisième (1802), Seconde partie, Livre X, Chapitre VII (22), Paris: L’Imprimerie De Crapelet, pp. 325-326.
- Lunteren (van) F. (2002). “Nicolas Fatio de Duillier on the mechanical cause of universal gravitation”, in Edwards M.R. (ed.) *Pushing gravity*. Montreal: Apeiron, pp. 41-59.
- Kragh H.S. (2017). “Is the universe expanding? Fritz Zwicky and early tired-light hypotheses”. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 20 (1), pp. 2-12.
- Maxwell J.C. (1856). “On Faraday’s lines of force”. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, 10 (part I), pp. 158-159.
- Owen H.G. (1976). “Continental displacements and expansion of the Earth during the Mesozoic and Cenozoic”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 281 (1303), pp. 223-291.
- Riemann B. (1853). *Natural philosophy (Section: New mathematical principles of natural philosophy)*, in Baker R., Christenson C., Orde H. (translators), *Collected Papers* (2004). Heber City: Kendrick Press, pp. 505-517.
- Scalera G. (2020). “An expanding earth—A reply to two recent denial papers”. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 52, pp. 103-119.
- Scalera G. (2021). “Hydrodynamic gravitation as cause of earth expansion and red-shift”. *Preprint on Earth-prints*. <https://www.earth-prints.org/handle/2122/14991>
- Yarkovsky I.O. (1888). *Hypothèse cinétique de la gravitation universelle en connexion avec la formation des éléments chimiques*. Moscow: Published by the author.
- Yarkovsky I.O. (1901). *The density of luminiferous ether and the resistance it offers to motion* (in Russian). Bryansk: Published by the author.

HISTORY AND DIDACTICS OF PHYSICS

La formazione degli insegnanti: un urgente impegno a cui assolvere

Marisa Michelini - URDF, Dipartimento di Scienze Matematiche, Informatiche e Fisiche, Università degli Studi di Udine - marisa.michelini@uniud.it

Abstract: Una vasta letteratura di ricerca ha evidenziato come la professionalità docente vada considerata l'aspetto specifico caratteristico più importante nell'istruzione e come determini la possibilità di migliorare l'apprendimento degli studenti, di rinnovare i curricula effettivamente attuati nelle scuole, di introdurre innovazione didattica e metodologica, anche basata sugli esiti della ricerca. Per questo, negli ultimi 30 anni si è sviluppato molto interesse per la formazione insegnanti e molto lavoro è stato fatto su di essa: linee guida e progetti EU hanno affiancato le ricerche, sempre più numerose. La formazione iniziale degli insegnanti è stata messa in campo molto tardi nel nostro Paese, rispetto alle previsioni del dopoguerra e, mentre nella formazione degli insegnanti primari vi è stata continuità, nella formazione degli insegnanti secondari vi è stata molta discontinuità e differenziazione nelle modalità. Neanche la formazione in servizio degli insegnanti è stata particolarmente curata. È urgente, come scritto nel PNRR l'istituzione di questo importante compito dell'università in forma organica, stabile e qualificata. Un'analisi delle esperienze effettuate alla luce di questioni cardine evidenziate dalla ricerca didattica ha portato recentemente una vasta comunità di università, associazioni scientifiche e di insegnanti ad un'analisi mirata all'intesa per l'individuazione dei principi base da salvaguardare in questa importante *mission*: il libretto azzurro, esito del Convegno CRUI-GEO del giugno scorso, ce li propone.

History of Physics for Physics Education: Challenges, Opportunities and Research Directions

Matteo Leone - Dipartimento di Filosofia e Scienze dell'Educazione, Università di Torino - matteo.leone@unito.it

Abstract: A number of arguments have been put forward over the past decades to support the use of history of physics into the teaching of physics among students and pre-service teachers. For example, it has been written that history of physics makes physics more attractive to many students, can enhance reasoning and critical thinking skills and can improve teacher education. Also, history of physics can assist teachers appreciate the learning difficulties of students and may offer substantial benefits in enabling people to develop scientific literacy and an understanding and appreciation both *in* science and *about* science. Finally, history of physics and the wider domain of the history of material culture, as represented by the collections of old scientific instruments in schools and universities, may prove to be useful both at the cognitive and the meta-cognitive level. Notwithstanding this awareness, this approach is not implemented in many ministries of education policies and remains largely un-adopted by many physics teachers. Here, we will address the main challenges posed by the use of history of physics into the physics education through some intriguing historiographical case-studies (as the so-called “Rutherford’s experiment” on alpha particles scattering) and through a survey of physics teachers as to the feasibility of the historical method. We will also address the opportunities of such an approach for students and teachers, and, finally, the most promising research directions in this domain through an analysis of the various ways in which the interplay between history of physics and physics education can be conveyed.

Keywords: History of physics, Physics education, Nature of science.

1. Introduzione

Nessun insegnante di Fisica dovrebbe fare a meno di una adeguata conoscenza dello sviluppo storico di questa scienza. Anche se egli non utilizzerà direttamente questa conoscenza nelle sue lezioni (ciò che sarebbe desiderabile, ma è reso difficile dalla mancanza di tempo) non vi è dubbio che essa gli gioverà per porre i fatti nella giusta prospettiva, per rispondere a eventuali domande e, talvolta, per rendersi conto di certi aspetti strani e anacronistici dell’insegnamento della Fisica che sopravvivono in molti libri di testo (Persico 1962).

Così scriveva sul *Giornale di Fisica*, quasi cinquant'anni fa, uno dei grandi fisici teorici italiani del Novecento, Enrico Persico (1900-1969). Determinante per la diffusione in Italia delle nuove idee della meccanica quantistica e per la formazione di una nuova generazione di ricercatori in fisica, negli ultimi anni della sua vita (a Roma) Persico dedicò sempre maggiore attenzione a problemi di didattica della fisica e di diffusione della cultura scientifica. E tra le questioni da lui toccate vi fu, per l'appunto, quella del ruolo della storia della fisica nella formazione degli insegnanti.

Da quell'epoca, molte cose sono cambiate. Le potenzialità didattiche della storia della fisica, e più in generale della storia della scienza, sono diventate nel frattempo un rispettato oggetto di studio all'interno della comunità di ricerca nella *science education*, caratterizzato da una rivista espressamente orientata a questa nicchia di ricerca (*Science & Education*), da una società scientifica (*l'International History, Philosophy, and Science Teaching Group*) e da manualistica e volumi collettanei (es. Bevilacqua et al. 2001; Bruneau et al. 2012; Matthews 2014, 2015).

Numerosi sono i benefici che la HPS (History and Philosophy of Science) può apportare all'apprendimento degli studenti e alla formazione dei docenti (Matthews 2015):

- Umanizzare le scienze e connetterle a questioni etiche, culturali e politiche, rendendo i programmi didattici più attraenti per molti studenti, e in particolare per le ragazze;
- Rendere le lezioni più sfidanti, favorendo abilità di ragionamento e di pensiero critico (ad esempio attraverso esercizi di logica di base e domande quali “questa conclusione segue dalle premesse?”);
- Favorire una più piena comprensione degli aspetti disciplinari (evitando litanie di formule ed equazioni recitate senza la comprensione del loro significato);
- Migliorare la formazione dei docenti, aiutandoli a sviluppare una comprensione della scienza più ricca ed autentica e della sua portata intellettuale e sociale (vi è infatti evidenza del fatto che l'epistemologia dei docenti, ovvero il modo in cui essi vedono la *Nature of Science*, influisca sul modo in cui essi insegnano, sul messaggio che essi trasferiscono agli studenti e, in ultima analisi, sull'epistemologia degli studenti);
- Aiutare i docenti a cogliere le difficoltà di apprendimento degli studenti, allertandoli sulle difficoltà che si sono manifestate nella storia del pensiero scientifico e nella realizzazione di alcuni cambiamenti concettuali (attraverso alcuni casi di studio tratti dalla storia, gli insegnanti possono scoprire difficoltà intellettuali e concettuali che si sono manifestate alle origini delle discipline scientifiche, traendone così indicazioni utili per l'organizzazione delle lezioni).

Nonostante la crescente consapevolezza tra i ricercatori della validità dell'approccio storico nell'insegnamento delle scienze, tale approccio non è fatto proprio dai Ministeri dell'Istruzione e resta largamente trascurato da parte della maggioranza degli insegnanti

di fisica (es. Höttecke and Silva 2011). Nel prossimo paragrafo ci concentreremo, quindi, sulle sfide poste dall'utilizzo in chiave didattica della storia della fisica.

2. Sfide

Per il Ministero dell'Istruzione italiano, la conoscenza della storia della fisica è un traguardo di apprendimento nella scuola secondaria di secondo grado. Tale traguardo, tuttavia, è innestato in un curriculum di impostazione tradizionale, all'interno del quale la storia non svolge alcun ruolo significativo, men che meno metodologico.

A titolo di esempio, nelle “linee generali e competenze”, per quanto riguarda la disciplina “Fisica” all'interno del curriculum del Liceo scientifico, il Ministero dell'Istruzione si limita ad esplicitare che “al termine del percorso liceale lo studente avrà appreso i concetti fondamentali della fisica, le leggi e le teorie che li esplicitano, *acquisendo consapevolezza del valore conoscitivo della disciplina e del nesso tra lo sviluppo della conoscenza fisica ed il contesto storico e filosofico in cui essa si è sviluppata.*” In quale modo tale consapevolezza dovrebbe essere raggiunta è lasciato all'autonomia del docente... Altrettanto lapidarie le espressioni per quanto riguarda il Liceo classico: “Al termine del percorso liceale lo studente avrà appreso i concetti fondamentali della fisica, *acquisendo consapevolezza del valore culturale della disciplina e della sua evoluzione storica ed epistemologica*” (Miur 2010).

Estremamente succinte sono anche le indicazioni ministeriali per quanto riguarda la formazione docenti all'interno dei cosiddetti “24 cfu”. Tra i contenuti di “Metodologie e tecnologie didattiche” della classe di concorso A-27 (Matematica e Fisica) compaiono, in relazione alla disciplina “Fisica”, “*Principali strumenti e metodologie per l'insegnamento sviluppati nella ricerca in didattica della fisica e in storia della fisica, anche in riferimento allo specifico ruolo dell'insegnante, ai nodi concettuali, epistemologici, linguistici e didattici nell'insegnamento e apprendimento della fisica*” (Miur 2017).

Data una tale cornice istituzionale, insegnare fisica attraverso la storia rappresenta una sfida niente affatto banale. Sfida che, la ricerca didattica ci insegna, presenta criticità a più livelli (Höttecke and Silva 2011).

Una prima criticità è relativa al *modo tradizionale di insegnare fisica*. La fisica è infatti insegnata come una collezione di fatti e di leggi, laddove in un approccio HPS la fisica dovrebbe essere presentata come impresa storicamente determinata, influenzata dal contesto culturale e sociale. I contenuti tradizionali non sono materia di negoziazione, mentre storicamente ricerca empirica, argomentazione e negoziazione hanno prodotto una conoscenza fisica che è cambiata nel passato, e che può, in certa misura, cambiare anche nel futuro. Tradizionalmente, l'insegnante fornisce agli studenti il contenuto scientifico secondo un approccio trasmissivo, mentre nell'approccio HPS al centro di tutto dovrebbe esservi una riflessione critica dei processi di acquisizione della conoscenza nella scienza e nell'apprendimento scientifico. Diversamente dall'approccio tradizionale, infine, gli studenti dovrebbero essere incoraggiati ad esprimere le loro idee.

Una seconda criticità attiene invece alla figura dell'*insegnante di fisica* che, nella tradizione, non ha la *Nature of Science* tra gli obiettivi espliciti del proprio insegnamento, non cerca di ripensare in chiave didattica la natura della scienza e non invita gli studenti a riflettere esplicitamente su di essa. Nell'approccio tradizionale, inoltre, l'insegnante non presta molta attenzione alle idee degli studenti e alle loro epistemologie, all'uso del *Pedagogical Content Knowledge* per moderare le discussioni tra gli studenti e al sostegno della costruzione di significato da parte degli studenti. Anche laddove l'insegnante tradizionale presta attenzione alla storia della scienza, il focus è solo sull'apprendimento del contesto e non sull'insegnamento scientifico come processo. Infine, nella formazione degli insegnanti solitamente non vi è l'approccio HPS, l'uso di storie a sfondo scientifico, e le strategie per gestire discussioni aperte e giochi di ruolo.

Una criticità non secondaria, poi, è rappresentata dai *curricula*. Anche laddove la storia sia presente tra gli obiettivi (e, come abbiamo visto, la cosa è valida solo molto marginalmente nel contesto istituzionale italiano), i traguardi di competenza risultano slegati dall'approccio storico. I programmi, solitamente, sono caratterizzati da elenchi di contenuti che raramente includono l'insegnamento HPS e che, anzi, di fatto contengono il messaggio nascosto di ignorare la storia.

In ultimo, i *libri di testo*. Anche laddove questi contengano narrazioni a carattere storico, solitamente queste sono costruite in modo tale da rafforzare una visione induttivista ingenua della scienza, nella quale non sono presenti influenze sociali e culturali. Le informazioni storiche si riducono solitamente a date, a nomi e a linee del tempo. Spesso il contenuto storico è isolato in box del tutto superflui ai fini dell'apprendimento dei contenuti scientifici e nozioni sulla natura della scienza sono trasmesse solo implicitamente. Infine, non a caso, gli storici e i filosofi della scienza e della fisica solitamente non sono coinvolti nella stesura dei libri di testo.

3. Opportunità

Le ricerche in letteratura evidenziano, quindi, significative sfide poste dall'approccio storico alla didattica della fisica (cap. 2). Tali sfide non dovrebbero, tuttavia, essere viste come ostacoli insormontabili poiché si accompagnano alle altrettanto significative potenzialità didattiche di tale approccio (cap. 1). Senza contare che la recente ricerca sembra suggerire che l'atteggiamento di uno degli attori principali del dialogo didattico, il docente, è tutt'altro che ostile nei confronti dell'approccio storico.

Al fine di indagare le motivazioni che inducono (o scoraggiano) la scelta di usare l'approccio storico nella didattica della fisica, tra il 2017 e il 2019 è stato sistematicamente somministrato un questionario in scala di Likert ai docenti che partecipano ai seminari di formazione in didattica della fisica organizzati dall'Università di Torino. Attraverso questo questionario anonimo, carta e matita, sono state indagate le idee dei docenti in tre aree: utilità dell'approccio storico; significato di tale approccio e autovalutazione del docente sulle proprie competenze. In un follow-up di questa ricerca è stato inoltre esplorato l'effettivo uso della storia della fisica attraverso un ulteriore questionario somministrato attraverso Google Form. La dimensione del campione è stata di 156

docenti, oltre 100 dei quali erano insegnanti di fisica della scuola secondaria delle province di Torino e Cuneo, una percentuale significativa, quindi, dell'universo dei docenti di fisica in tali province (Leone and Rinaudo 2020). Tale ricerca ha fatto emergere risultati interessanti, che autorizzano un certo grado di ottimismo in merito ai benefici di un più ampio ricorso alla storia della fisica in un contesto di *physics education*. Ad esempio, la maggioranza degli insegnanti interpellati ritiene che questioni quali la complessità della storia, la mancanza di competenze in metodologia della ricerca storica o la scarsità di tempo a disposizione del docente non cancellino i benefici dell'approccio storico. Inoltre, per gli insegnanti l'approccio storico ha più a che fare con l'evoluzione dei concetti e con il contesto storico che non i medaglioni biografici tipici di molti libri di testo. Sicuramente, quello della formazione del docente (*pre-service* e *in-service*) è un tema molto sentito dagli insegnanti. La gran parte di essi ritiene infatti di non aver ricevuto una preparazione adeguata in storia della fisica durante il corso di laurea e durante i corsi di specializzazione post-laurea. Il risultato di ciò è che solo una piccola percentuale degli insegnanti fornisce agli studenti documenti storici o realizza attività di laboratorio ispirate alle collezioni scolastiche di antichi strumenti scientifici.

4. Linee di ricerca

Quest'ultimo risultato, ovvero lo scarso uso da parte dei docenti di fonti storiche primarie (simboliche o materiali che siano), a fronte di una loro grande disponibilità a ricorrere al metodo storico, suggerisce di prestare particolare attenzione alle ricerche in letteratura che si concentrano sull'analisi di casi storiografici particolarmente pertinenti per la didattica della fisica (es. Matthews 2014, in particolare la Parte 1), sull'uso delle collezioni storico-scientifiche di scuole e università (es. Amoroso et al. 2019, Pantano and Talas 2010, Rinaudo et al. 2019), sui Musei della scienza come luoghi per favorire l'apprendimento informale (es. Falomo et al. 2014, Filippoupoliti and Koliopoulos 2014, Heering 2017), sull'uso dello storytelling (es. Hansson et al. 2020) e delle vignette storiche interattive (es. Wandersee and Roach 2005).

In particolare, il ricorso a casi storiografici "paradigmatici" risulta particolarmente utile sia per favorire l'apprendimento di contenuti che lo sviluppo di competenze (quali la capacità di difendere una tesi o un argomento). Case-studies storiografici possono anche servire per veicolare sinteticamente tratti distintivi della *Nature of Science* e per agire su aspetti motivazionali dell'apprendimento. Il *Rutherford experiment* si presta molto bene ad agire contemporaneamente su tutti gli aspetti sopra citati e rappresenta, quindi, un esempio di case-study particolarmente proficuo ed economico in chiave didattica (Leone, Robotti and Verna 2018).

5. Il Rutherford experiment

Il cosiddetto "esperimento di Rutherford" è spesso presentato nei manuali, nei libri di testo e sul web come origine dell'idea di nucleo atomico. Tuttavia, come vedremo, non fu

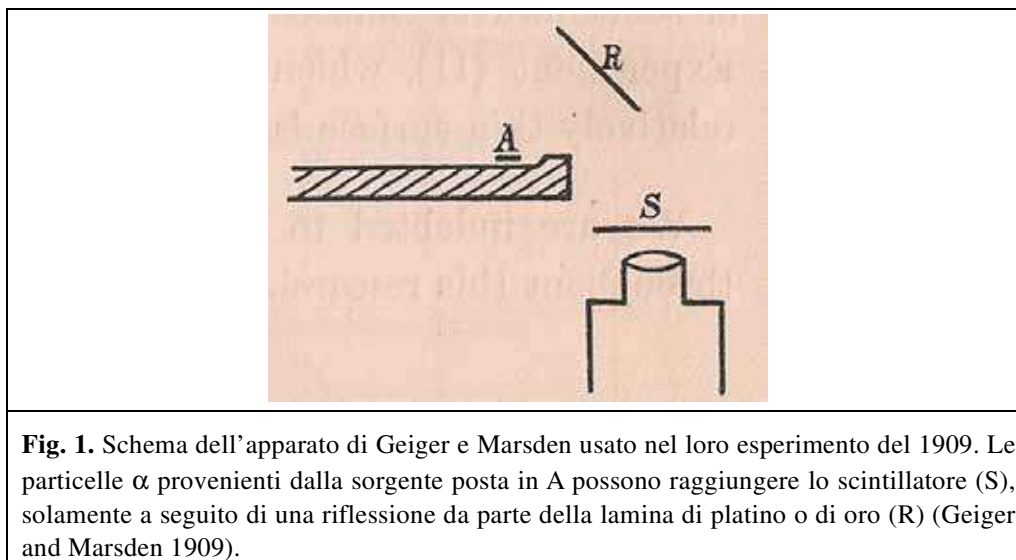
un singolo esperimento, non fu effettuato da Rutherford e non fu all'origine dell'idea di nucleo atomico! Inoltre, lo schema dell'apparato solitamente riprodotto nei libri di testo non trova riscontro nei resoconti sperimentali dell'epoca (si veda Fig. 1 in Leone, Robotti and Verna 2018). È per lo studente quindi possibile scoprire qualcosa sul *contenuto* della scienza e qualcosa sulla *natura* della scienza, attraverso il ricorso a ben specifiche fonti primarie relative a un momento cruciale nello sviluppo della fisica moderna.

Il contesto dell'esperimento (o pseudo-tale) di Rutherford è quello della ricerca sulle interazioni tra le particelle α e la materia. Nel 1906, dopo aver studiato diverse proprietà della radioattività naturale,¹ Rutherford orientò il suo programma di ricerca verso lo studio dell'interazione tra particelle α e materia attraverso un metodo fotografico, scoprendo così – in quello che correttamente potremmo definire il “vero” esperimento di Rutherford – che quando le particelle α attraversano la materia, alcune di esse sono deflesse dalla loro direzione di moto originale e subiscono un processo di *scattering*. Attraverso un apparato nel quale era possibile produrre il vuoto, e nel quale erano presenti una sorgente α , una fenditura per collimare il fascio e un sensore costituito da una lastra fotografica, Rutherford scoprì che l'immagine della fenditura era «definita» se l'esperimento veniva realizzato nel vuoto, mentre era «sfumata» se l'esperimento era condotto in aria. Per Rutherford, «il maggiore spessore e la mancanza di definizione [dell'immagine] in aria, evidenziano l'indubbio *scattering* dei raggi [α] nel loro passaggio attraverso l'aria». Dopo questo esperimento, che per la prima volta provava l'esistenza dello *scattering* delle particelle α , Rutherford non lavorò più sperimentalmente in prima persona a questo tema, continuando, tuttavia, a occuparsi della natura e delle proprietà delle particelle α .

Due anni dopo, nel 1908, Hans Geiger, collaboratore di Rutherford, misurò l'ampiezza di tale fenomeno di *scattering* attraverso un diverso metodo, assai più preciso, quello della *scintillazione*. Tale metodo si basava sull'effetto, scoperto nel 1903 da Crookes e da Elster e Geitel, in base al quale l'esposizione ai raggi α di un piccolo cristallo di solfuro di zinco (ZnS) provocava la momentanea produzione di piccole scintillazioni luminose, sulla superficie del cristallo, osservabili con una lente d'ingrandimento o un microscopio. Il conteggio di tali scintillazioni dava una diretta, e piuttosto precisa, informazione sul numero di particelle α incidenti sul cristallo. Nell'esperimento del 1908, dove le particelle α erano prodotte da una sorgente di *emanazione di radio* (ovvero, gas radon), Geiger misurava la distribuzione delle scintillazioni sullo schermo di ZnS, ovvero il numero di scintillazioni al minuto in funzione della distanza dal centro dello schermo, posto frontalmente rispetto a una fenditura collocata tra sorgente e schermo, a 54 cm da quest'ultimo. Geiger condusse l'esperimento sia nel vuoto, sia introducendo una o due lamine d'oro davanti alla fenditura e, così fa-

¹ Nel 1898, Rutherford aveva scoperto che la radiazione emessa dall'Uranio è costituita da «almeno due tipi distinti di radiazione»: «una che è assorbita molto facilmente, che per convenienza denomineremo radiazione α , e l'altra di carattere più penetrante, che chiameremo radiazione β ». L'anno successivo Rutherford dimostrò che la radiazione β è costituita da elettroni. Per quanto riguarda la radiazione α , nel 1903-1904 egli scoprì che le particelle α sono particelle cariche positivamente, molto veloci (circa $2,5 \cdot 10^9$ cm/s) e molto pesanti (il rapporto carica/massa fu stimato essere di $6 \cdot 10^3$ u.e.m., ovvero quasi la metà del rapporto carica/massa di H^+).

cendo, trovò «evidenza diretta del fatto che vi è uno *scattering* molto marcato dei raggi α nel loro passaggio attraverso la materia», che talvolta si manifestava sotto forma di «deflessione di angolo molto apprezzabile». Tale angolo di deflessione, che aumentava all'aumentare del numero di lamine d'oro interposte, era comunque relativamente piccolo, corrispondendo a uno spostamento laterale di pochi mm rispetto a una distanza schermo-fenditura di 54 cm.



Un risultato «sorprendente» veniva ottenuto l'anno successivo, nel 1909, dallo stesso Geiger in collaborazione con Ernest Marsden, giovane laureando di Rutherford. Geiger e Marsden si ponevano una domanda apparentemente controintuitiva, alla luce dei comunque limitati angoli di *scattering* rilevati l'anno precedente: le particelle α potrebbero riemergere dallo stesso lato della lamina (ad esempio d'oro) su cui collidono? Per quanto sorprendente, la domanda traeva ispirazione da un effetto simile da poco osservato sperimentalmente nel caso delle particelle β . Naturalmente, trattandosi in questo caso di particelle leggere di natura elettronica, l'effetto osservato poteva essere in qualche misura comprensibile. Ciò, tuttavia, non scoraggiò Geiger e Marsden dal loro tentativo di osservare un effetto simile con le, assai più pesanti, particelle α . La loro audacia fu premiata dal momento che Geiger e Marsden trovarono «evidenza conclusiva dell'esistenza di una diffusa riflessione delle particelle α ». L'esperimento del 1909 era costruito in modo tale da consentire l'arrivo sullo schermo di ZnS esclusivamente di particelle α eventualmente retro-diffuse da una lamina di platino o di oro, opportunamente orientata (Fig. 1). Scrivevano Geiger e Marsden:

Di tutte le particelle α incidenti, circa una su 8000 veniva riflessa [...]. Se si considerano le elevate velocità e massa delle particelle α , è sorprendente che alcune di tali particelle, come mostra l'esperimento, possano essere deviate di 90° o anche più da uno strato di appena $6 \cdot 10^{-5}$ cm d'oro (Geiger and Marsden 1909).

Molti anni dopo, nel 1936, Rutherford commenterà a questo proposito, in una conferenza a Cambridge:

Era l'evento più incredibile che sia mai capitato nella mia vita. Era quasi incredibile come sparare un pezzo d'artiglieria da 15 pollici su un foglio di carta velina e scoprire che questo proiettile rimbalzava indietro e ti colpiva (Rutherford 1938).

L'incredibilità del risultato ottenuto da Geiger e Marsden fu quantificata l'anno dopo (1910), a seguito di un nuovo esperimento di Geiger, finalizzato alla misura dell'angolo di *scattering* più probabile attraverso l'utilizzo di una sorgente α più omogenea delle precedenti (invece dell'emanazione di radio si utilizzò il «Radio-C», come all'epoca veniva denominato un prodotto di decadimento del radon) e avente lo scopo di interpretare il risultato di Geiger e Marsden, ovvero la retro-diffusione di una particella α su 8000 da parte di una lamina d'oro di spessore equivalente a 5 mm d'aria. Geiger trovava che *l'angolo di deflessione più probabile per uno spessore di 5 mm d'aria era pari a 1° circa* e che per piccoli spessori l'angolo di *scattering* è proporzionale alla radice quadrata dello spessore. Se questo esperimento corroborava per i piccoli angoli l'ipotesi standard dello *scattering* multiplo (ovvero l'idea che lo *scattering* di un fascio di particelle attraverso una lamina metallica sottile sia dovuto a molti piccoli *scattering* dovuti a ciascuno degli atomi attraversati), tuttavia dimostrava che *lo scattering multiplo è incompatibile col risultato ottenuto da Geiger e Marsden*: la probabilità che una particella α su 8000 sia deflessa di un angolo maggiore di 90° è «incredibilmente piccola» ($8 \cdot 10^{-40}$). Un differente meccanismo di *scattering* si rendeva necessario ma, scrivevano Geiger e Marsden, «al momento non sembra opportuno discutere l'ipotesi che potrebbe essere fatta per spiegare questa differenza».

Sarà solo nel 1911 che i pezzi andranno al loro posto grazie alla teoria di Rutherford del nucleo atomico. Scriveva Rutherford:

Sembra ragionevole supporre che la deflessione a grande angolo sia dovuta a un singolo incontro atomico, poiché la probabilità che un secondo incontro di un tipo tale da produrre una grande deflessione deve essere, nella maggior parte dei casi, estremamente piccola. Un semplice calcolo mostra che l'atomo deve essere sede di un intenso campo elettrico per produrre una deflessione così ampia a seguito di un singolo incontro (Rutherford 1911).

Rutherford propone quindi il suo ben noto modello di atomo con carica positiva concentrata in un nucleo centrale di piccolissime dimensioni (dell'ordine di 10^{-12} cm) e arriva a prevedere teoricamente che il numero delle particelle α diffuse di un angolo Φ rispetto alla direzione originale sia proporzionale a $\text{cosec}^4(\Phi/2)$.

La conferma sperimentale della bontà della teoria di Rutherford ha luogo tra il 1911 e il 1913 attraverso i test sperimentali condotti da Geiger e da Geiger e Marsden, mediante un apparato (Fig. 2a) per certi versi simile a quello dei manuali (Fig. 2b). Tuttavia, le differenze tra l'apparato di Geiger e Marsden e quello dell'«esperimento di Rutherford» dei manuali sono macroscopiche e a più livelli. In particolare, l'esperimento di Rutherford dei manuali *fonde*, come visto, i risultati di esperimenti

precedenti in un unico esperimento cruciale mai avvenuto; *confonde* la scoperta della retro-diffusione (Geiger and Marsden 1909), con la corroborazione sperimentale della legge $\cos^4(\Phi/2)$ (Geiger and Marsden, 1911-1913); e, infine, *inventa* un apparato storicamente inesistente costituito da un sensore circolare fisso (Fig. 2b) invece che da una piattaforma rotante A attorno alla lamina F (Fig. 2a).

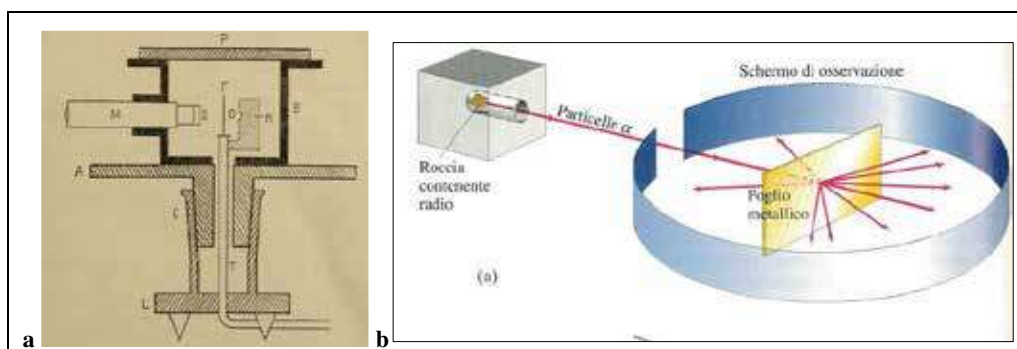


Fig. 2a Schema dell'apparato usato da Geiger e Marsden nel 1913 per verificare sperimentalmente la teoria di Rutherford (Geiger and Marsden 1913).

Fig. 2b. Uno degli innumerevoli schemi riportati nei manuali e sul web relativi al presunto «esperimento di Rutherford» (Leone, Robotti and Verna 2018, Fig. 1).

In conclusione, la consueta pratica, tipica dei manuali, di ridurre la storia sopra brevemente riassunta, a un presunto «esperimento di Rutherford» presenta tutta una serie di implicazioni negative. In primo luogo, estraendo un esperimento dal contesto e trascurando le sue origini, questo approccio non contribuisce a una comprensione più completa della fisica. In realtà, questa pratica cancella sette anni di storia intorno a una svolta epocale della fisica, quella che portò all'ipotesi di un nucleo atomico. In secondo luogo, questa pratica banalizza il rapporto tra teoria ed esperimento, dando così un'immagine distorta della *Nature of Science*. Infine, attraverso un ritratto caricaturale, come quello dell'esperimento di Rutherford (e come altri presenti nella fisica dei manuali e del web), la didattica della fisica perde una buona occasione per mostrare agli studenti che il percorso della fisica non è sempre semplice e lineare.

Bibliografia

- Amoroso A., Leone M, Marocchi D., Rinaudo M. (2019). *The dust catcher: discovering the educational value of the historical-scientific heritage*, in McLoughlin E., van Kampen P. (eds), *Concepts, Strategies and Models to Enhance Physics Teaching and Learning*. Cham: Springer, pp. 229-238.
- Bevilacqua F., Giannetto E., Matthews M.R. (eds.) (2001). *Science Education and Culture. The Contribution of History and Philosophy of Science*. Dordrecht: Springer.

- Bruneau O., Heering P., Grapí P., Laubé S., Massa-Esteve M.R., de Vittori T. (eds.) (2012). *Innovative Methods for Science Education: History of Science, ICT and Inquiry Based Science Teaching*. Berlin: Frank & Timme.
- Falomo Bernarduzzi L., Albanesi G., Bevilacqua F. (2014). "Museum Heroes All: The Pavia Approach to School-Science Museum Interaction". *Science & Education*, 23, 762.
- Filippopoliti A, Koliopoulos D. (2014). "Informal and Non-formal Education: An Outline of History of Science in Museums". *Science & Education*, 23, 781.
- Geiger H. and Marsden E. (1913). "The laws of deflexion of α particles through large angles". *Phil. Mag.*, 25, 604.
- Geiger H., Marsden E. (1909). "On a diffuse reflection of the α -particles". *Proc. R. Soc.*, A 82, 495.
- Hansson L., Arvidsson Å., Heering P., Pendrill A.M. (2019). "Rutherford visits middle school: a case study on how teachers direct attention to the nature of science through a storytelling approach". *Physics Education*, 54(4), 045002.
- Heering P. (2017). "Science Museums and Science Education". *Isis* 108, 399.
- Höttecke D., Silva C. (2011). "Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles". *Science & Education* 20, 293.
- Leone M., Rinaudo M. (2020). "Should the history of physics be rated X? A survey of physics teachers' expectations". *Physics Education*, 55(3), 035013.
- Leone M., Robotti N., Verna G. (2018). "'Rutherford's experiment' on alpha particles scattering: the experiment that never was". *Physics Education*, 53(3), 035003.
- Matthews M.R. (2015). *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science*. 2nd edn. New York: Routledge.
- Matthews M.R. (ed.) (2014). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer.
- Miur (2010). DM 7 ottobre 2010, n. 211. Allegato F. GU Serie Generale n.291 del 14-12-2010 - Suppl. Ordinario n. 275.
- Miur (2017). Allegato al DM 10 agosto 2017 n. 616.
- Pantano O., Talas S. (2010). "Physics thematic paths: laboratorial activities and historical scientific instruments". *Physics Education*, 45, 140.
- Persico E. (1962). "Storia della Fisica". *Giornale di Fisica*, 3, 85.
- Rinaudo M., Leone M., Marocchi D., Amoroso A. (2019). "The educational role of a scientific museum: a case study". *Journal of Physics: Conf. Series*, 1287, 012050.
- Rutherford E. (1911). "The scattering of α and β particles and the structure of the atom". *Phil. Mag.*, 21, 669.
- Rutherford E. (1938). *The development of the theory of atomic structure*, in Needham J, Pagel W. (eds), *Background to modern science. The Lectures at Cambridge arranged by the History of Science Committee 1936*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 68.
- Wandersee J.H., Roach L.M. (2005). *Interactive historical vignettes*, in Mintzes J.J., Wandersee J.H., Novak J.D. (eds), *Teaching science for understanding*. Burlington, MA: Elsevier, pp. 281-306.

Il ruolo della storia nella formazione in Fisica: motivazioni e prospettive future. Una discussione introduttiva

Francesca Monti - Department of Computer Science, University of Verona - francesca.monti@univr.it

Abstract: Among the most important challenges that the evolution of our society, dominated by the development of artificial intelligence, big data and social networks, poses to the formation of young generations, one is, in my opinion, particularly relevant for its transversal nature with respect to any specific theme: that of stimulating and preserving the free and independent critical thinking and of enhancing the sense of beauty and the faith in the possibility of constructing a better future thanks to human creativity and imagination. In the light of the most recent events related to the pandemic, this need is becoming even more urgent and goes together with the rebirth of the question of “what is science”. In this context, the present article aims at proposing some reflections, inspired also by my institutional, research and didactic experience at the university level, about the many reasons that I see for a growing importance of the role of history, history of sciences and history of physics in particular, in the education of the new generations, and about future perspectives for a science education that should include this dimension in an explicit and stable way.

Keywords: Science Education, Physics Education, Role of History.

1. Le sfide poste dalla società attuale

1.1. Il contesto generale

È dalla preoccupazione per l'attuale contesto storico-sociale che nascono le riflessioni alla base di questo articolo sull'importanza di una maggiore presenza della storia delle scienze, e più specificamente della storia della fisica, nella formazione dei giovani. Non ho la pretesa di dire molto di nuovo rispetto a quanto è già stato detto e scritto sul tema del ruolo della storia nella formazione e nella didattica della fisica e delle scienze in generale. Mi propongo, piuttosto, di mettere in evidenza e ricontestualizzare alcune motivazioni che trovo di particolare attualità per l'inserimento della storia nell'insegnamento delle materie scientifiche. Riprendendo una citazione di Giorgio Morandi, già liberamente tradotta in inglese da Igal Galili (2012), nella quale possiamo immaginare di sostituire il termine “artista” con il termine “studioso”,

Di nuovo al mondo non c'è nulla o pochissimo, l'importante è la posizione diversa e nuova in cui un artista si trova a considerare e a vedere le cose della cosiddetta natura e le opere che lo hanno preceduto e interessato (Morandi 1965).

Ci sono due aspetti del presente momento storico che mi appaiono particolarmente inquietanti, soprattutto se considerati insieme. Da un lato, il fatto che la società attuale è dominata dallo sviluppo dell'intelligenza artificiale, dalla tecnologia dei big data e dai social network, che offrono nuovi strumenti di indirizzamento e di controllo del pensiero. Ne deriva una rinnovata e sempre più pressante necessità di stimolare e preservare la possibilità e la capacità di un pensiero libero e indipendente, e di coltivare nei giovani il senso della bellezza e la fiducia nella possibilità di costruire un futuro sempre migliore, fondata sulla creatività e sulla immaginazione umana. Dall'altro, i recenti accadimenti legati alla pandemia, che rendono questa necessità sempre più cogente e fortemente collegata al tema del "cosa sia la scienza" (*Nature of Science*).

1.2. Il contesto pandemico

Per una lettura del contesto pandemico attuale, trovo illuminanti due scritti di George Orwell risalenti al 1945: la sua prefazione al noto romanzo *La Fattoria degli Animali* (Orwell 1945a) sul tema della libertà di parola (prefazione, si noti, che non fu pubblicata insieme al romanzo, il quale a sua volta vide la luce dopo numerosi e faticosi tentativi, ma che è stata recuperata e pubblicata nel 1972 a ben 22 anni dalla morte dell'autore); e un suo articolo per il *Tribune* (Orwell 1945b) in risposta a una lettera di J. Stewart Cook:

Unpopular ideas can be silenced, and inconvenient facts kept dark, without the need for any official ban [...] At any given moment, there is an orthodoxy, a body of ideas which it is assumed that all right-thinking people will accept without question [...] Anyone who challenges the prevailing orthodoxy finds himself silenced with surprising effectiveness [...] It is only, or at any rate it is chiefly, the literary and scientific intelligentsia, the very people who ought to be the guardians of liberty, who are beginning to despise it, in theory as well as in practice (Orwell 1945a).

[...] Mr. J. Stewart Cook [...] suggested that the best way of avoiding the danger of a 'scientific hierarchy' would be to see to it that every member of the general public was, as far as possible, scientifically educated [...] Science is generally taken as meaning either (a) the exact sciences, such as chemistry, physics, etc., or (b) a method of thought which obtains verifiable results by reasoning logically from observed fact [...] If you ask any scientist, or indeed almost any educated person, 'What is science?' you are likely to get an answer approximating to (b). In everyday life, however, both in speaking and in writing, when people say 'science' they mean (a). And those who tell us that the young must be scientifically educated mean, almost invariably, that they should be taught more about radioactivity, or the stars, or the physiology of their own bodies, rather than that they should be taught to think more exactly. This confusion of meaning, which is partly deliberate, has in it a great danger. Implied in the demand for more scientific education is the claim that if one has been scientifically trained one's approach to *all* subjects will be more intelligent than if one had had no such training [...] But is it really true that a 'scientist', in this

narrower sense, is any likelier than other people to approach non-scientific problems in an objective way? There is not much reason for thinking so (Orwell 1945b).

Le analogie con alcune situazioni che caratterizzano l'attuale momento storico sono facilmente individuabili.

2. Qualche riferimento basato sull'esperienza

Pur non avendo una formazione da storica, nelle mie attività istituzionali oltre che di didattica e di ricerca (anche nel campo della didattica della Fisica) universitarie, mi sono occupata di questioni direttamente o indirettamente collegate al ruolo della storia nella formazione in fisica e nella didattica della fisica in diversi contesti, in particolare come referente del Progetto nazionale Lauree Scientifiche (PLS) in Fisica dell'Università di Verona e come rappresentante dei professori associati di Fisica presso il Consiglio Universitario Nazionale (CUN).

2.1. Il Progetto nazionale Lauree Scientifiche

Nell'ambito del PLS di Fisica a Verona, ho proposto dei moduli formativi tenuti da esperti nel campo, inquadrati in un percorso intitolato "una prospettiva storica all'insegnamento della fisica moderna" e principalmente rivolti agli insegnanti delle scuole secondarie superiori, che hanno visto la partecipazione di docenti non solo di matematica e fisica ma anche di lettere e di storia. Da questa esperienza è emerso che i corsi di storia della fisica registrano altissimi livelli di partecipazione e sono molto apprezzati dagli insegnanti, che li trovano immediatamente spendibili nel loro lavoro.

2.2. Il Consiglio Universitario Nazionale

Il CUN ha costantemente e ripetutamente sottolineato, in particolare nei pareri del 2015 (CUN 2015) e del 2018 (CUN 2018a) aventi per oggetto i criteri relativi al conseguimento dell'Abilitazione Scientifica Nazionale (ASN), l'opportunità che nel settore scientifico disciplinare (SSD) di Didattica e Storia della Fisica (così come nel SSD di Matematiche Complementari) si prevedano indicatori non necessariamente o esclusivamente bibliometrici: raccomandazioni finora rimaste inascoltate.

È, invece, proprio grazie al relativo parere del CUN del 2017 (CUN 2017), che il ruolo della storia della fisica, così come di altre discipline scientifiche, è stato espressamente riconosciuto nelle declaratorie degli obiettivi formativi e dei contenuti richiesti per la formazione insegnanti sia nel percorso "24 CFU" pre-concorso sia nel percorso "FIT" post-concorso (ancorché mai attivato e ora abolito dalla normativa) previsti dalla legge 107/2015 (la cosiddetta "Buona Scuola") e dal D. Lgs.59/2017 e infine normati, limitatamente al percorso "24 CFU", dal DM 616/2017.

Il tema della collocazione degli storici della fisica, che, pur avendo un SSD dedicato, così come i matematici, si trovano di fatto a cavallo tra l'ambito scientifico e l'ambito umanistico dove esiste il settore di Storia della Scienza e delle Tecniche, è emerso in occasione della elaborazione di un nuovo modello di classificazione dei saperi (questione

che sta tornando di attualità proprio nei primi mesi del 2022), di cui il CUN si è occupato nel 2018 (CUN 2018b), quando si è prospettata la possibilità che, in un nuovo modello appunto, potesse avere senso riunire tutti gli storici delle scienze in uno stesso raggruppamento disciplinare senza distinzione tra le diverse materie.

3. Motivazioni per l'inserimento della storia nella formazione scientifica

3.1. La storia della fisica (come delle altre materie scientifiche) è di per sé stessa didattica

Al fine di rispondere alle sfide della società attuale evidenziate nel primo paragrafo, ho recentemente maturato la convinzione che sia cruciale innovare la didattica delle scienze, e della fisica in particolare, attraverso la storia, vista prevalentemente come storia del pensiero e dell'evoluzione dei concetti, sfruttando anche, ma non solo, il parallelismo tra lo sviluppo storico dei concetti scientifici e il cambiamento concettuale nel singolo individuo. Le ragioni di questa mia convinzione sono molteplici e trovano riscontro in numerosi articoli di diversi autori cui accennerò nei paragrafi successivi. Soprattutto, la storia è importante per capire che la scienza si sviluppa in un contesto socio-economico e non è una sequenza di dati di fatto, di assiomi inconfutabili, ma una costruzione della mente umana, frutto di confronti, discussioni e sofferenza: per questo, oltre a dare il senso della dimensione umana e superare la dicotomia umanesimo/scienza, la storia costituisce un mezzo efficacissimo per stimolare il pensiero critico e al tempo stesso per trasmettere ottimismo e capacità di affrontare il futuro, dal momento che dimostra che tutto quello che abbiamo oggi siamo noi ad averlo costruito e quindi possiamo continuare a farlo. In aggiunta, la storia può avere un impatto significativo anche sulla cosiddetta questione di genere nelle discipline STEM (Scientifiche-Tecnologiche-Ingegneristiche-Matematiche), attualmente oggetto di particolare attenzione, per promuovere l'interesse delle studentesse e incoraggiarle a dedicarsi alle materie scientifiche.

La tesi di questo articolo è dunque che la storia della fisica sia di per sé stessa e in quanto tale didattica della fisica, senza che la si debba necessariamente considerare solo come "strumento" al servizio della didattica della fisica. Dalla letteratura sembra però emergere la constatazione che l'unica strada concretamente praticata e praticabile per inserire la storia nella formazione scientifica non sia quella di adoperarsi per un suo ruolo autonomo ma piuttosto quella di lavorare a una stretta integrazione fra didattica e storia.

3.2. Il ruolo della storia nella letteratura scientifica

Senza alcuna pretesa di essere esaustiva, ma con il solo scopo di fornire alcuni spunti di riflessione, propongo qui alcune citazioni dalla letteratura sulle argomentazioni a sostegno dell'inclusione della storia nella formazione scientifica, ricapitolate in particolare da Igal Galili (Galili, Hazan 2001) (Galili 2008) e da Michael R. Matthews (1994, 2014).

Galili (2008) riassume in quattro punti le ragioni per insegnare fisica attraverso la storia a partire dall'utilità del metodo storico per una più profonda comprensione dei con-

cetti fisici proposto per primi da Ernst Mach e Pierre Duhem, secondo i quali, in riferimento alla storia:

that is the best way, surely even the only way, to give to those studying physics a correct and clear view of the very complex and living organization of this science [...] and causes a deeper understanding of the subject matter by the learner (Galili 2008, p. 1).

Gli altri tre punti sono da Galili così descritti:

The second point raised by education researchers is the phenomenon of *recapitulation*: a certain similarity between the individual growth of knowledge (ontogenesis) and the growth of collective knowledge of science (phylogenies) [...].

The third point, extensively developed in science teaching research, is that the History of Physics reveals the nature of physics as scientific activity and knowledge [...].

The fourth point in our list is the *culture of physics* [...] the quality of solution and explanation, the features and requirements of physics products, such as parsimony, openness to criticism, the style and form, elegance and consistency, universality and objectiveness (Galili 2008, pp. 2-3).

Nella ricostruzione di Galili e Hazan (2001), il primo ad aver concretamente incluso la storia nella formazione scientifica fu James B. Conant nel 1957, seguito nel 1970 da F. Rutherford, G. Holton e F. Watson con il progetto HPPC (*Harvard Project Physics Course*). L'interesse per la storia si riaccese poi negli anni '80, in concomitanza con una rinnovata attenzione per l'alfabetizzazione scientifica, fino ad arrivare al Progetto 2061 *Science for All Americans. Project 2061*.

Quando si parla del ruolo della storia nell'educazione scientifica, riferimento imprescindibile è Matthews (1994, 2014) che nel 1994 sintetizza così i benefici dell'inclusione della storia nella formazione scientifica:

1. History promotes the better comprehension of scientific concepts and methods,
2. Historical approaches connect the development of individual thinking with the development of scientific ideas,
3. History of science is intrinsically worthwhile. [...],
4. History is necessary to understand the nature of science,
5. History counteracts scientism and dogmatism that are commonly found in science texts and classrooms,
6. History, by examining the life and times of individual scientists, humanizes the subject matter of science, making it less abstract and more engaging for students,
7. History allows connections to be made within topics and disciplines of science, as well as with other academic disciplines; history displays the integrative and interdependent nature of human achievements. (Matthews 1994, p. 50),

e condivide con Mach anche alcune riflessioni di filosofia della scienza:

- Scientific theory is an intellectual construction for economizing thought and thereby conjoining experiences,
- Science is fallible; it does not provide absolute truths,
- Science is a historically conditioned intellectual activity. Scientific theory can only be understood if its historical development is understood (Matthews 1994, p. 98).

Matthews ritorna poi sul tema in un articolo pubblicato nel 2014:

The connection between science teaching and the history and philosophy of science is instead essential and intimate (Matthews 2014, p. 100). [...] Science contributes to culture. [...] Scientific literacy also includes understanding the nature of science, the scientific enterprise, and the role of science in society and personal life. Tracing the history of science can show how difficult it was for scientific innovators to break through the accepted ideas of their time to reach conclusions that we currently take for granted. [...] Pupils should also become familiar with stories about the development of important ideas in science which illustrate the following general ideas: that scientific explanations ‘go beyond’ the available data and do not simply ‘emerge’ from it but involve creative insights; that many scientific explanations are in the form of ‘models’ of what we think may be happening, on a level which is not directly observable; that new ideas often meet opposition from other individuals and groups, sometimes because of wider social, political or religious commitments; that any reported scientific findings, or proposed explanations, must withstand critical scrutiny by other scientists working in the same field, before being accepted as scientific knowledge (Matthews 2014, pp. 103).

Complessivamente manca in letteratura, a me pare, un esplicito e diretto riferimento al ruolo che la storia della fisica, e la storia delle scienze in generale, possono avere per sviluppare il pensiero libero e critico, per trasmettere ottimismo e fiducia nel futuro, e, su un altro versante, per incoraggiare e sostenere le studentesse nella scelta di un percorso di studi orientato alle materie scientifiche.

4. Quali spazi per la storia della fisica?

Concretamente, quali spazi ci sono per la storia della fisica?

Il finanziamento di alcuni progetti europei indica che a livello europeo il bisogno urgente di un’istruzione scientifica efficace per le nuove generazioni, rispetto al quale, come sostengo in questo intervento, la storia può e deve avere un ruolo esplicito e stabile, è un tema fortemente riconosciuto. Si è, ad esempio, da poco concluso il progetto I SEE (ISEE project, Inclusive STEM Education to Enhance the capacity to aspire and imagine future careers, settembre 2016-agosto 2019):

In our contemporary society of global uncertainties and social acceleration, our imagination of the future becomes problematic and source of anxiety [...] the young generation have difficulty in projecting themselves into the future, and in developing

their potential as responsible and active persons [...] the goal of the I SEE project is to design innovative approaches and teaching modules to foster students' capacities to imagine the future and aspire to STEM careers (ISEE project).

È ancora in corso il progetto IDENTITIES (IDENTITIES project, Integrate Disciplines to Elaborate Novel Teaching approaches to InTerdisciplinarity and Innovate pre-service teacher Education for STEM challenges, settembre 2019 - agosto 2022) che ha l'obiettivo di costruire specifici moduli formativi interdisciplinari e fornire raccomandazioni ai decisori politici:

The IDENTITIES project designs novel teaching approaches on interdisciplinarity in science and mathematics to innovate pre-service teacher education for contemporary challenges [...]. Disciplinary IDENTITIES, their boundaries and forms of integration are enlightened through reflections on their epistemological and linguistics structures [...]. The project will lead to the construction of Open Education Resources for Blended modules and MOOCs, as well as recommendations for policy makers to promote interdisciplinarity and innovate prospective teachers education for STEM challenges. (IDENTITIES project).

Anche il progetto FEDORA, da poco avviato, si propone di sviluppare metodologie di insegnamento orientate al futuro e di formulare raccomandazioni alla politica (FEDORA project, Future-oriented Science EDucation to enhance Responsibility and engagement in the society of Acceleration and uncertainty, settembre 2020 - agosto 2023):

Lo sviluppo scientifico e tecnologico sta guidando rapidi cambiamenti sociali e i sistemi educativi stanno facendo fatica a tenere il passo con queste trasformazioni [...]. Un'istruzione scientifica efficace per le future generazioni è un bisogno urgente. Il progetto FEDORA, finanziato dall'UE, mira a sviluppare un modello orientato sul futuro che consenta all'istruzione scientifica formale e informale di offrire ai giovani competenze di lungimiranza, immaginazione e azione [...] sviluppare metodologie che abbiano come obiettivo i principali fattori dell'attuale disallineamento tra sistemi educativi e società. Saranno poi formulate raccomandazioni per le politiche anticipatorie per la creazione di atteggiamenti nuovi e visionari sull'istruzione aperta e le trasformazioni istituzionali (FEDORA project).

Alla luce di queste riconosciute esigenze, quello dei progetti europei e delle politiche europee sulla formazione scientifica rappresenta dunque, secondo la tesi qui sostenuta, uno spazio nel quale la storia della fisica, e la storia delle scienze in generale, possono e dovrebbero inserirsi.

Vi è spazio per la storia della fisica e per la storia delle scienze in molti dei temi di attualità nell'ambito della ricerca in didattica delle scienze (natura della scienza, comunicazione della scienza, cambiamento concettuale, creatività) che emergono nei congressi internazionali quali ad esempio quelli organizzati con cadenza biennale dalla associazione europea ESERA (European Science Education Research Association). In occasione del recente congresso di fine estate 2021 si è svolto un simposio sul tema dell'insegnamento ai bambini della natura della scienza (*Introducing nature of science in early childhood*

education: results from a project in collaboration with teachers) oltre a tre sessioni dedicate ad altrettanti argomenti nei quali la storia può e dovrebbe avere un ruolo: *Teaching and learning about nature of science and scientific inquiry; Creativity and art-based science; Relating science communication to Nature of Science*.

Altri spazi per la storia della fisica, in questo caso già ampiamente riconosciuti nella letteratura internazionale, riguardano la formazione insegnanti e l'aggiornamento degli insegnanti in servizio, vuoi attraverso approcci narrativi dai quali emergono molti aspetti sulla natura della scienza (Hansson *et al.* 2019) (Jardim *et al.* 2021), vuoi seguendo altre strade basate sull'integrazione della storia nella didattica della fisica al fine di agevolare l'insegnamento dei contenuti e la comprensione dei concetti (Winrich, Garik 2021) (Galili, Hazan 2001):

We classified these views in the following categories: reproduction of historical experiments; acquaintance with original texts; infusion of stories and anecdotes; systematic integration of HPS contents in the course; "Dates and Names" approach (Galili, Hazan 2001, p. 355).

Questi studi indicano anche quali siano le principali difficoltà evidenziate dagli insegnanti:

[...] Various difficulties may be expected and seemingly are unavoidable, and our subjects anticipated the following: new content knowledge of teachers in the area of HPS; change of teaching style and methods of assessment; a need for new learning materials; a need to keep HPS contents relevant to the students; mismatch with institutional traditions and standards of teaching sciences (Galili, Hazan 2001, p. 358).

Il problema principale sembra essere la mancanza di materiali di supporto adeguati:

[...] There are no adequate historical materials which would fit the school audience. Preparation of such learning materials would surely demand great efforts, for they must equally match the demands of the discipline, and be clear enough for our students. Books written by historians, or original texts of scientists, are equally not sufficiently good for school instruction. As they are available now, they can only be used as supplementary to other, specially prepared materials (Galili, Hazan 2001, p. 360).

E la sconsolante conclusione è che gli insegnanti di fisica trovano sempre delle motivazioni per non inserire la storia (e la filosofia) della scienza nell'insegnamento:

[...] The prominent feature of the data was that despite certain positive attitudes (when HPS contents were considered as a factor which can foster the process of learning and understanding scientific contents of the instruction), all Physics experts proposed arguments to refrain from using HPS in their teaching, stating the foreign scenery of such contents, time shortage of instruction and scientific incorrectness of many historical ideas which were subsequently refuted in science (Galili, Hazan 2001, p. 361).

È quindi evidente che vi è ampio spazio per la storia della fisica nell'ambito della produzione di materiali per l'insegnamento, e che questa possa essere la strada maestra da intraprendere se si ha l'obiettivo di integrare la storia nella didattica.

5. Per concludere: qualche idea e una domanda

In concreto, sul fronte della ricerca si può inserire la storia della fisica nei circuiti dei progetti e dei congressi internazionali di didattica delle scienze e nelle relative riviste internazionali, approfittando degli spunti tematici che già sono presenti e riconosciuti. Da questo punto di vista in Italia occorre tener conto anche degli aspetti più tecnici, ai quali ho accennato, legati alla struttura dei SSD e ai parametri di valutazione delle pubblicazioni scientifiche che sono essenziali per entrare e per fare carriera nel mondo universitario: se non si incoraggiano e incentivano i giovani a livello universitario a portare avanti l'interesse e la ricerca in una disciplina, il rischio è di vederla morire.

Sul fronte della disseminazione, oltre all'ambito della formazione insegnanti, vi è la possibilità concreta di inserire la storia della fisica nelle attività del PLS - per il quale nel 2022 è atteso un nuovo bando di finanziamento triennale - che tradizionalmente prevede numerose azioni che vanno dall'orientamento degli studenti delle scuole superiori alla formazione insegnanti fino alla questione di genere nelle discipline tecnico-scientifiche. C'è poi il tema dell'innovazione didattica, anche universitaria: la storia della fisica potrebbe inserirsi nelle attività dei centri di Ateneo *Teaching and Learning* che vanno costituendosi un po' in tutte le sedi; nelle associazioni nazionali che si occupano di didattica universitaria (quali la ASDUNI, Associazione italiana per la promozione e lo Sviluppo della Didattica, dell'apprendimento e dell'insegnamento in UNiversità); e, sul piano europeo, nello Spazio Europeo dell'Educazione Superiore (EHEA, European Higher Education Area).

Infine, una domanda: per far fronte a sfide così importanti nella formazione dei giovani e alle quali, secondo la tesi proposta in questo articolo, si dovrebbe rispondere anche con l'inserimento della storia nella formazione scientifica, non occorrerebbe fare qualcosa per evitare che il fine dell'insegnamento si riduca al successo nel superamento di quiz, test, esercizi, come sempre più appare anche, ma non solo, considerando i metodi di verifica delle conoscenze in ingresso ai corsi di studio universitari?

In conclusione, anche se in Italia vi sono molte difficoltà legate all'assetto dei SSD e ai criteri e indicatori dell'ASN, il tema del ruolo della storia nell'insegnamento della fisica e delle scienze in generale e il problema di integrare la storia nell'insegnamento è presente e riconosciuto a livello internazionale. Le ragioni per l'inserimento della storia nella formazione in fisica sono tante, sia come strumento e metodo per la comprensione concettuale, sia come strada maestra per rispondere a un bisogno di formazione delle giovani generazioni in termini di sviluppo del pensiero critico e di fiducia nel futuro, che è reso ancora più urgente dall'attuale contesto storico-sociale, sia per il potenziale impatto sulla questione di genere nelle discipline STEM. Quanto agli spazi per questo inserimento, si può affermare che essi non mancano né sul versante della ricerca né sul versante della disseminazione.

Bibliografia

- ASDUNI. URL: <<https://asduni.it>>.
- CUN (2015). URL: <<https://www.cun.it/provvedimenti/sessione/175/parere/parere-del-30-09-2015>>.
- CUN (2017). URL: <<https://www.cun.it/homepage/evidenza/adequamento-e-semplificazione-del-sistema-di-formazione-iniziale-e-di-accesso-nei-ruoli-di-docente-nella-scuola-secondaria/>>.
- CUN (2018a). URL: <<https://www.cun.it/provvedimenti/sessione/233/parere/parere-del-26-07-2018>>.
- CUN (2018b). URL: <<https://www.cun.it/homepage/evidenza/modello-di-aggiornamento-e-razionalizzazione-della-classificazione-dei-saperi-accademici-e-del-sistema-delle-classi-di-corso-di-studio/>>.
- [EHEA]. URL: <<http://www.ehea.info>>.
- [FEDORA project]. URL: <<https://www.fedora-project.eu>>.
- Galili I., Hazan A. (2001). “Experts’ views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction”. *Science & Education*, 10, pp. 345-367.
- Galili I. (2008). “History of Physics as a tool for teaching” [online]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/255632199_HISTORY_OF_PHYSICS_A_S_A_TOOL_FOR_TEACHING>.
- Galili I. (2012). “Cultural Content Knowledge - The case of Physics Education”. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 20 (2), pp. 1-13.
- Hansson L., Arvidsson A., Heering P., Pendrill A.M. (2019). “Rutherford visits middle school: a case study on how teachers direct attention to the nature of science through a storytelling approach”. *Physics Education*, 54 (4), pp.1-11 [Open access].
- [IDENTITIES project]. URL: <<https://identitiesproject.eu>>.
- [ISEE project]. URL: <<https://iseeproject.eu>>.
- Jardim W.T., Guerra A., Schiffer H. (2021). “History of Science in Physics Teaching- Possibilities for Contextualized Teaching”. *Science & Education*, 30, pp. 609-638.
- Matthews M.R. (1994). *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*. New York-London: Routledge.
- Matthews M.R. (2014). “Discipline-based philosophy of education and classroom teaching”. *Theory and Research in Education*, 12 (1), pp. 98-108.
- Morandi G. (1965). *Lettera a Lamberto Vitali, 3 agosto 1962*, in Vitali L., *Giorgio Morandi Pittore*. Milano: Edizioni del Milione, p. 41.
- Orwell G. (1945a). “The freedom of press” preface to “The animal farm”. *The Times Literary Supplement*, 15 September 1972.
- Orwell G. (1945b). “What is Science?”. *Tribune*, 26 October 1945.
- Winrich C., Garik P. (2021). “Integrating History in In-service Physics Teacher Education: Impact on Teachers’ Practice”. *Science & Education*, 30, pp. 1099-1130.

Enhancing Students' Understanding of "Science in the Making" within a Historical Perspective

Monica Tombolato - Department of Humanistic studies, University of Urbino "Carlo Bo" - monica.tombolato@uniurb.it

Abstract: The role of history in enhancing the understanding of scientific rationality is acknowledged by scholars from various fields. However, the problem of how to use history to design effective teaching-learning activities is still open. In this regard, we outline the project of a workshop on History and Science Education (HSE) at the University of Urbino, to be carried out in collaboration with the Physics Laboratory: Urbino Museum of Science and Technology. Taking the HSE workshop as a case study, the purpose of the ongoing research is to try to operationalize a historical-epistemological approach to Physics education that can enhance students' understanding of *science in the making*, while meeting some suggestions from current trends in education.

Keywords: History and Science Education, Knowledge integration, Epistemic practices.

1. How history can inform science teaching: some suggestions from current trends in education

The critical role of history in enhancing the understanding of scientific rationality is recognized by scholars from different fields such as pedagogy and general didactics (e.g., Cambi 2007; Martini 2011), science education (e.g., Matthews 2014; Leone 2014), history and philosophy of science (e.g., Antiseri 2000; Dibattista, Morgese 2012). However, the problem of how to use history to design effective teaching-learning activities is still open. The aim of this paper is to answer this question by considering some of the issues raised by educational research – in particular in the field of curricular studies, epistemic cognition and science education – and the difficulties encountered by Primary Education students while attending physics workshops at the University of Urbino Carlo Bo.

Within curriculum studies (e.g., Fogarty 1991; Drake, Reid 2018), there is increasing attention to the negative effects of disciplinary fragmentation on student learning and widespread consensus on the need for teachers to become acquainted with models of curricular integration. According to the latest findings on disciplinary learning, dissolving artificial boundaries between disciplines and between theoretical and practical knowledge by shifting the focus of instruction from a discipline-based orientation to real-life problems and situations, would help enhance students' connection-making and

in-depth understanding. Although it is not yet entirely clear how an integrated curriculum should be designed to foster students' personal and professional development, knowledge integration appears to be one of the challenges in teacher education for the 21st century school (Martini 2021).

Research on epistemic cognition for educational purposes (Greene *et al.* 2016) has expanded tremendously over the past 20 years as its influence on learning and reasoning has become apparent. The 21st century world is characterized by an ever-increasing flow of information, making it more complex and interconnected. This is the reason why students, as future citizens in a knowledge-based society, need to become aware of what knowledge is, how it can be used and how they know what they know. To this end, understanding in the disciplines can be interpreted as understanding the forms of knowledge produced in that discipline and the types of warranties used to legitimize them, as Sandoval (2005) suggests.

In the field of science education, the concern with understanding how knowledge works has taken many forms. In recent years, there has been a growing consensus on the importance of informing science teaching with conceptual, epistemic and social goals to develop a scientifically literate populace that can participate in both the economic and democratic agendas of today's STEM oriented society (Duschl 2008). This implies that the identification of the core structures of the curriculum should include the epistemic practices of a discipline to create, evaluate and justify disciplinary forms of knowledge (Sandoval 2005). Indeed, as Marga Vicedo (2000, p. 15) advocates, "if we want to understand science, we must go beyond the clean work of analyzing reconstructed theories and get our hands dirty by examining the practice of science". This shift from an interest in the products of science to an interest in the practices of science – first in science studies and then in science education – has also revealed a profound mismatch between *formal* and *practical epistemologies*, that is between "students' expressed beliefs about professional or formal science" and "the epistemological ideas that students apply to their own scientific knowledge building through inquiry" (Sandoval 2005, p. 635). According to Sandoval, simply engaging students in practices of inquiry cannot directly affect their ideas about the nature of science. Similarly, students' explicit beliefs about professional science often fail to transfer into enacted practices around knowledge while performing classroom inquiry tasks. This means that students run the risk of developing inert knowledge that they can use at most for school examinations but cannot apply to real-world problems. In contrast, 21st century science education should bridge the *skill gap* between the notions learned in school and university and the skills required to participate in public decisions concerning the wise application of science and technology. To confirm the topicality of the problem highlighted by Sandoval, we mention the difficulties encountered by Primary Education students at the University of Urbino Carlo Bo while participating in the physics workshop. As detailed in another work (Tombolato 2020), almost all students reveal a dogmatic and naive view of the dynamics related to the construction and justification of scientific knowledge. Specifically, disciplinary epistemic practices, such as, for example, the use of ideal cases or the design of counterfactual mental experiments – which are typical of Galileo's *modus operandi* – often represent authentic epistemological obstacles for stu-

dents. Nor should it be so surprising if one considers that the idealization techniques underlying the “new science” of mechanics were hardly accepted even by Galileo’s contemporaries, including the mathematician Guidobaldo del Monte (Bozzi 1990, p. 282). In summary, we can draw the following instructional suggestions from research in the fields of curriculum studies, epistemic cognition and science education, as well as from evidence that emerged during the physics workshop:

- When designing the education curriculum, we should prefer to integrate rather than fragment knowledge, avoiding the introduction of new subjects if not strictly necessary.
- When designing teaching and learning activities, we should focus not only on the products of science but also on the epistemic practices enacted by scientists to pursue epistemic goals and on why we consider them reliable.
- In designing the science curriculum, we should provide students with criteria for evaluating the soundness of scientific claims that are publicly disseminated, so that they can act as scientifically informed citizens.
- In designing teaching activities, we should take into account the epistemological obstacles that the history of the discipline allows us to identify when we explore it through the lens of educational concerns related to the transposition (Martini 2011) and/or reconstruction of scholarly knowledge (Michelini *et al.* 2015).

2. The project of the History and Science Education workshop

In this framework fits the project of a workshop on History and Science Education (HSE) at the University of Urbino, to be carried out in collaboration with the Physics Laboratory: Urbino Museum of Science and Technology (Mantovani, Vetrano 1991). The project has a double aim: a) developing research both in history of science and in education; b) supporting university teaching activities, starting from the physics workshops attended by Prospective Primary School Teachers. In this regard, in February 2020, Prof. Roberto Mantovani – co-founder (with Prof. Flavio Vetrano) and Scientific Curator (1994) of the Physics Laboratory – had some modern scientific apparatus purchased with a design very similar to the ancient scientific instruments exhibited in the Museum. In the HSE workshop, the experimental component of physics is going to be approached from a historical-epistemological perspective that allows the discipline (in this case physics) and its history to be integrated, not simply juxtaposed. By faithfully performing the experiments that characterized the development of the Physical Sciences between the late 18th century and the 19th century, students will be enabled to explore disciplinary epistemic practices and to understand the reasons for their reliability in the context of their historical genesis and evolution.

According to the hypothesis advanced in this paper, the HSE workshop can be a paradigmatic example of teaching activity that is able to meet the suggestions outlined in the first section. However, from an educational perspective, in order for the HSE pro-

ject to be an efficient knowledge integration device, it is necessary to define more precisely what is meant by *integration*. A similar problem was addressed in a previous research on Color education (Martini *et al.* 2021) for which a methodological scheme in three stages was designed. This same scheme is applied to the ongoing research whose purpose is to operationalize a historical-epistemological approach to Physics education that can enhance students' understanding of *science in the making*. The first stage of the research is to identify some invariant features of the HSE workshop that are useful to operationally define the historical-epistemological approach to science (especially physics) teaching and learning. The second research stage consists of a review of the educational and historical-epistemological literature aimed at identifying the didactic variables – both epistemic and learning variables – in terms of which the invariants can be expressed. In short, any invariant has to be interpreted as a function of the relationship between some epistemic and learning variables. The epistemic variables, related to the object of teaching, identify the factors that constrain the teacher's choices about the selection and didactic transposition/reconstruction of knowledge. Hence, they are specific for each invariant. The learning variables, related to the individual subject, refer to the factors that affect students' learning and are thus common to all four invariants. In the third stage, by combining these two kinds of variables, some procedural principles – i.e., pragmatic patterns of behavior (Stenhouse 1975) – will be formulated that will provide an operational guide to design instructional activities satisfying the invariants, thus being consistent with the historical-epistemological approach. In effect, this study aims to make an original contribution to educational research by establishing and sharing some best practices for maximizing the benefits of integrating history and epistemology into science teaching, taking the HSE workshop as a case study.

At the current state of research, only the first stage concerning the identification of the invariant features of the HSE workshop is completed. Its description and discussion are tackled in the next and final section of this paper.

3. The four invariant features of the HSE workshop

In the first stage, a core set of hallmarks of the HSE workshop were formulated that identify four different options for integrating knowledge to be taught and learned while meeting the suggestions outlined in the first section. A first feature concerns the *integration of the discipline and its history* (Physics and the history of physics, in this case). This type of integration is meant to provide students with a privileged vantage point from which to explore the complex dynamics underpinning the construction of the normative criteria to which members of the scientific community are bound, whilst helping them develop an image of the discipline as a correlated system of epistemic products and practices. The integration between the discipline and its history also endorses a more sophisticated view of the role of error in the knowledge-building process. While acquainting themselves with past scientific theories now judged obsolete, students can gain a critical awareness of the errors that have allowed science to move forward and open up new fields of research (Enriques 2004). In addition, approaching dis-

disciplinary teaching content within a historical perspective can help teachers bring out epistemological obstacles and use them to understand and distinguish students' errors by referring them to different logical types of learning (Bateson 2000).

A second feature concerns the *integration of epistemic practices and products*. This type of integration is meant to highlight the correlation between the 'products' of science and the disciplinary epistemic practices – shared by the members of the relevant scientific community – of which these products are the correlates. In science teaching, hands-on activity is often invoked as a way of accessing the understanding of counter-intuitive concepts. However, at an educational level, engaging students in hands-on activities is not enough to promote a paradigm shift. For this to occur, learners' attention needs to be drawn to the crucial feature of the practices enacted, namely, their being aimed at achieving epistemic goals. In this regard, the HSE workshop will provide students with the opportunity to participate in authentic scientific experiments and explicitly reflect on their historical genesis and evolution, allowing thus learners to connect and compare their practical and formal epistemologies.

A third feature regards the *integration of disciplinary knowledge into real-life contexts*. This type of integration is meant to use the historical genesis of disciplinary content to help students grasp the types of problems the discipline investigates and the selected aspects of reality it is concerned with. It involves explicitly clarifying the difference between the various types of scientific representation and the part of reality represented, explaining the functions of abstraction, idealization, approximation etc. in scientific practice.

Finally, a fourth feature concerns the *integration of scientific instruments into disciplinary teaching from a historical perspective*. This last type of integration is intended to distinguish expert scientific practice geared to knowledge construction from mere hands-on activity that can be reduced to mechanical reproduction of a large number of experiments or simple training in the use of instruments. Engaging students in experiments performed with historical scientific instruments helps them acquire criteria for evaluating scientific evidence and understanding how it may change in relation to historical and cultural context. Moreover, having students actively interact with historical scientific instruments helps them de-capsulate the knowledge objectified therein (Agazzi 1985) and thus gain a deeper epistemological awareness of the relationship between science and technique/technology.

Moving from the conceptual definition of these four invariants – which can be isolated only at a logical level since they are closely interconnected – it is now possible to begin the process of operationalization through the identification of the didactic variables, according to the scheme outlined in the previous section.

References

- Agazzi E. (1985). "Gli strumenti e l'oggettività scientifica". *Epistemologia. An Italian Journal for the Philosophy of Science*, 8, pp. 3-14.
- Antiseri D. (2000). *Epistemologia e didattica delle scienze*. Roma: Armando Editore.

- Bateson G. (2000). *Steps to an ecology of mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bozzi P. (1990). *Fisica ingenua*. Milano: Garzanti.
- Cambi F. (2007). *Scienza, immagine della scienza e insegnamento delle scienze*, in Cambi F., Barsantini L., Polverin D. (a cura di), *Formare alla scienza nella scuola secondaria di secondo grado*. Roma: Armando Editore, pp. 15-24.
- Dibattista L., Morgese F. (2012). *Il racconto della scienza. Digital storytelling in classe*. Roma: Armando Editore.
- Drake S.M., Reid J.L. (2018). “Integrated curriculum as an effective way to teach 21st century capabilities”. *Asia Pacific Journal of Educational Research*, 1(1), pp. 31-50.
- Duschl R. (2008). “Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals”. *Review of research in education*, 32 (1), pp. 268-291.
- Enriques F. (2004). *Il significato della storia del pensiero scientifico* (a cura di M. Castellana, A. Rossi). Manduria: Barbieri [ed. originale 1936].
- Fogarty R. (1991). “Ten ways to integrate curriculum”. *Educational leadership*, 49 (2), pp. 61-65.
- Greene J.A., Sandoval W.A., Bråten I. (eds.) (2016). *Handbook of epistemic cognition*. New York, NY: Routledge.
- Leone M. (2014). “History of physics as a tool to detect the conceptual difficulties experienced by students: the case of simple electric circuits in primary education”. *Science & Education*, 23, pp. 923-953.
- Mantovani R., Vetrano F. (1991). *Una realtà dimenticata: il Gabinetto di Fisica dell’Università di Urbino*, in Dragoni G. (a cura di). *Una realtà straordinaria. Il patrimonio storico scientifico italiano*. Bologna: Grafis Edizioni, pp. 239-246.
- Martini B. (2011). *Pedagogia dei saperi*. Milano: Franco Angeli.
- Martini B. (2021). “Innovare la scuola attraverso il Curricolo Integrato”. *Pedagogia più didattica. Teorie e pratiche educative*, 7 (2), pp. 46-58.
- Martini B., D’Ugo R., Tombolato M. (2021). *Teaching and learning color. An insight into STEM/STEAM approach*, in *Proceedings of the International Colour Association (AIC) Conference 2021*. Milan, Italy: AIC, pp. 1121-1126.
- Matthews M.R. (ed.) (2014). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer.
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2015). “La formazione degli insegnanti in fisica come sfida di ricerca: problematiche, modelli, pratiche”. *Giornale italiano della ricerca educativa*, 14, pp. 191-207.
- Sandoval W. A. (2005). “Understanding students’ practical epistemologies and their influence on learning through inquiry”. *Science education*, 89 (4), pp. 634-656.
- Stenhouse L. (1975). *An introduction to curriculum research and development*. London: Heinemann.
- Tombolato M. (2020). *La conoscenza della conoscenza scientifica. Problemi didattici*. Milano: FrancoAngeli.
- Vicedo M. (2000). *Experimentation in early genetics: The implications of the historical character of science for scientific realism*, in Creath R., Maienschein J. (eds.). *Biology and epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 215–243.

Laboratorio “povero” di storia della scienza: un’esperienza in DAD

Matteo Torre - Liceo Scientifico Statale “G. Peano”, Tortona (AL) -
matteo.torre1984@gmail.com

Abstract: Uno dei rischi nella didattica della fisica è il dogmatismo: lo studente accetta passivamente la regola fissa e immutabile che l’insegnante gli trasmette. Questo pericolo si corre quando si fa percepire agli studenti un impianto teorico astratto, privo di legami storico-sociali, dove il ruolo dello scienziato è secondario. Per superare questo problema, è possibile sfruttare le potenzialità degli esperimenti storici. Il contributo descrive una sperimentazione realizzata nell’a.s. 2020-21 (in DAD e in presenza) in una classe 1° Liceo Scientifico Quadriennale, in cui sono stati ricostruiti alcuni esperimenti storici di Galileo e altri esperimenti più “tradizionali”. Gli esperimenti “tradizionali” riguardavano la conservazione dell’energia, mentre quelli storici di Galileo il moto dei proiettili e il piano inclinato. La ricostruzione di quest’ultimi si è basata sul famoso manoscritto “Folio 116v” del 1608. L’intento didattico mirava a valorizzare il “fare per capire” attraverso l’uso dei materiali poveri, i quali hanno il grande merito di migliorare l’attivazione di tutti quegli aspetti emotivi e motivazionali suggeriti dalla letteratura pedagogica per il laboratorio scientifico.

Principles of Physics for Philosophers

Carlo Cosmelli - Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma; INFN Sez. di Roma - carlo.cosmelli@uniroma1.it

Abstract: In recent years, I have held a Physics Course for students of the Degree in Philosophy at Sapienza University, Roma.

The need for this course arose from a series of Science Cafés held at Sapienza in 2007. From those meetings it appeared that the students of Philosophy, who were very capable and prepared in their field, often did not know what the historical-conceptual path of physics was from Galilei to the present day. They did not know not only the historical development of Physics from Galilei onwards, but they ignored the developments in the last century regarding Special and General Relativity and Quantum Mechanics, or, if they knew, they often had a partial or distorted idea of them.

The idea was therefore to create a course aimed at students from non-scientific degree courses that would present, in a simplified but mathematically correct form, the Principles of Physics in their historical path. Discussing the Principles allows us to avoid the formal explanations necessary to treat all the themes and laws that make up the corpus of Physics. The discussion of the themes was therefore developed by deepening, in addition to a necessary formal part, the meaning that should be attributed to the Principles and the evolution in their understanding/description.

This course led to a book (Cosmelli 2021) which combines the scientific topics covered with historical-philosophical sections written by the philosopher Paolo Pecere, from Roma Tre University. For each chapter, these sections briefly treat the point of view of the philosophers at that time.

Keywords: Physics, Philosophy, Principles.

1. Principi di Fisica per Filosofi

In questa breve presentazione vorrei parlare del corso “Principi di Fisica” per filosofi che si tiene alla Sapienza: un corso di fisica disegnato per gli studenti del Corso di Laurea in Filosofia.

Vale la pena di raccontare come è nato questo corso, più di dieci anni fa, nel 2007. All’epoca, a luglio, quando ormai erano finiti i corsi, organizzavo uno “scientific wine-bar”, l’equivalente del caffè scientifico in cui, trovandosi a Roma e d’estate, non c’era il caffè ma il vino e in cui un fisico e un filosofo discutevano di vari argomenti per poi scambiarsi idee, opinioni, e per rispondere alle domande del pubblico. Durante uno di questi incontri mi accorsi che partecipavano molti studenti di filosofia, bravi e preparati, ma che c’era un problema: questi filosofi non avevano praticamente nessuna idea

della fisica del ventesimo secolo. Avevano qualche vaga conoscenza della meccanica e della termodinamica, ma di Relatività e di Meccanica Quantistica non sapevano praticamente nulla, e molti di questi studenti avrebbero preso l'indirizzo di Filosofia della Scienza. Qual era la soluzione? Purtroppo in molte Università e per un certo periodo anche alla Sapienza il consiglio era: benissimo, andate a Matematica o a Fisica e seguite i corsi di analisi e di fisica. Questo approccio per un filosofo ovviamente non è fattibile o forse può esserlo ma è molto complicato, dato che di base manca una conoscenza approfondita del formalismo utilizzato. Decisi allora di creare un corso disegnato su misura per gli studenti di Filosofia.

2. La Struttura del Corso

Questo corso è stato quindi proposto per la prima volta nel 2008 e sta andando avanti da più di dieci anni. Questa è la struttura: il titolo ufficiale del Corso è "Principi di Fisica" perché, fortunatamente, i Principi della Fisica non si dimostrano, vanno enunciati, vanno letti, vanno spiegati e vanno capiti. E sono la base di tutto quello che viene dopo. Ma c'è un problema tecnico: il fatto è che i Principi della Fisica sono scritti quasi sempre con un linguaggio formale, quello matematico, e poi c'è il problema di tradurlo in un linguaggio condiviso con non addetti ai lavori. Questo perché il linguaggio scientifico è l'unico linguaggio che non nasce come lingua madre di nessun essere umano, per cui serve sempre una traduzione in un'altra lingua, in genere la lingua madre di chi legge. Devo dire che gli studenti filosofia sono abbastanza bravi, sono abituati a capire le sottigliezze del linguaggio quindi, dopo alcune difficoltà iniziali e una serie di istruzioni sul significato di alcuni termini, possono capire il linguaggio che descrive i Principi della Fisica.

Di quali Principi parlo nel Corso? Diciamo di tutti quelli fondamentali. L'ordine con cui enuncio i vari Principi è quello cronologico, questo permette di introdurre i nuovi Principi come «soluzioni» per qualcosa che i Principi precedenti non riuscivano a descrivere. Quindi parlo/enuncio i Principi della Meccanica Classica, poi quelli della Termodinamica e molto brevemente quelli dell'Elettromagnetismo. Passo poi alla parte che è il cuore del Corso, la fisica del XX secolo: la Relatività Speciale, la Relatività Generale, la Meccanica Quantistica e qualche cosa su quello che sappiamo oggi, il Modello Standard e i modelli cosmologici. Per ogni argomento enuncio i vari Principi e i punti di partenza. Questo aspetto lo considero importante per tutto, ma in particolare per la Relatività Speciale, la Relatività Generale e per la Meccanica Quantistica. Quindi oltre all'enunciazione credo sia importante raccontare perché in un certo momento storico nasce l'esigenza di creare una nuova fisica, le famose «cose che non tornano», gli esperimenti che danno risultati poco prevedibili o per nulla prevedibili. Poi credo sia utile parlare anche di alcune misure, per dare un'idea dei «numeri» su temi specifici. Per esempio, parlando di Keplero, è possibile dare un'idea di cosa vuol dire fare scienza e cosa vuol dire lavorare con i numeri. Tutti sanno, infatti, che le orbite dei pianeti sono delle ellissi, però se io faccio vedere due grafici affiancati: il grafico di una circonferenza perfetta e il grafico dell'orbita di Giove, si scopre che nessuno si accorge della

differenza essendo il valore dell'eccentricità dell'orbita di Giove del 5%. Per cui, è vero che le orbite sono ellittiche e questo poi viene previsto dalla legge di Gravitazione Universale di Newton, però per accorgersene servono delle misure fatte con la precisione di qualche per mille, che erano quelle di Tycho Brahe. Senza misure così precise non sarebbe stato possibile verificare la forma delle orbite e confermare o falsificare la teoria.

In Meccanica Quantistica considero fondamentale per la sua comprensione (per quanto sia possibile!) l'esperimento delle due fenditure nella versione di Feynman (Feynman 2000) oppure in quella di Ghirardi (Ghirardi 2015). A questo argomento dedico molto tempo perché serve non tanto a capire perché la natura si comporta così, dato che a questo riguardo abbiamo ancora grossi problemi, quanto a capire come viene descritta dalla versione alla Copenhagen. E dopo l'esperimento delle due fenditure spendo un bel po' di tempo a parlare della non località di Bell. Questo è l'unico punto dove mi addentro un pochino nel formalismo, utilizzando il formalismo di Dirac. Gli studenti di filosofia ovviamente non imparano così a fare effettivamente i calcoli, però lavorano con i $\langle \text{bra} |$ e con i $|\text{ket} \rangle$ è qualcosa che si può fare.

Nell'ultimo capitolo accenno al Modello Standard e al concetto di massa oggi. Accenno al fatto che per il protone e per il neutrone la massa è dovuta a una massa inerziale solo per qualche per cento, cosa niente affatto ovvia, e che tutto il resto della massa è dovuta all'energia di interazione fra le subparticelle. Il che ovviamente non vuol dire che l'energia e la massa sono la stessa cosa.

E per finire do un'idea del modello Λ -CDM che, al momento, è la migliore descrizione del nostro universo su scala cosmologica che abbiamo.

3. Considerazioni sul corso

Da questo corso sono nate molte discussioni, spesso approfondite, perché dopo una paura iniziale i filosofi si rendono conto che non sanno quasi nulla della parte formale e quindi non hanno timore a fare domande. Quindi discutiamo del linguaggio e dei Principi e di come vengono interpretati. Faccio un esempio. Quando parlo del Principio di Indeterminazione di Heisenberg, c'è la cosiddetta prima versione «a disturbo», in cui l'indeterminazione è legata all'azione di misura che si compie dall'esterno. Qualche anno dopo, però, il Principio viene ridiscusso da Heisenberg nelle sue lezioni del 1930 (Heisenberg 1930). Qui Heisenberg afferma:

[...] la relazione di incertezza $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$ specifica i limiti entro cui si può applicare la descrizione di particella. Ogni utilizzo delle parole posizione e velocità con un'accuratezza che eccede quella data dall'equazione di cui sopra è senza significato come l'utilizzo di parole il cui significato non è definito (Heisenberg 1930, p. 26-27).

Questo punto di vista è, secondo me, la vera essenza del Principio di Indeterminazione; è vero che Wittgenstein aveva detto qualcosa di simile sette-otto anni prima, però è qualcosa di nuovo in fisica e di estremamente importante che può, anzi deve, essere

discusso. Cioè la formula è quella solita, però è importarne parlarne e credo che gli studenti alla fine ne capiscano il significato profondo.

4. Conclusioni

Dopo circa dieci anni, ho deciso di fare un libro estratto dalle lezioni e dagli appunti del corso. Quello che c'è di diverso in questo libro rispetto agli usuali testi di fisica è che, oltre a includere il contenuto delle mie lezioni, raccoglie per ogni capitolo due o tre contributi del filosofo della scienza Paolo Pecere, professore a Roma Tre, che raccontano «intanto i filosofi che cosa ne pensavano». Quindi cosa ne dicevano della Meccanica, della Termodinamica, della Relatività, della Meccanica Quantistica e così via. Questo è qualcosa di abbastanza nuovo e interessante nel panorama editoriale italiano. Per finire, devo dire che il corso è stato molto apprezzato; nei primi anni iniziavo con 15-20 studenti che diventavano meno di dieci dopo le prime due lezioni, quando scoprivano che il mio non era un corso di filosofia della fisica e neanche un corso di filosofia della scienza: era un vero e proprio corso di fisica, punto. Il corso parlava della fisica che poi loro avrebbero potuto approfondire e su cui fare tutte le disquisizioni che volevano. Con l'andar degli anni il corso è piaciuto sempre di più e sono arrivato ad avere 130 studenti un anno in cui era previsto sia per il secondo che per il terzo anno. Ora, a regime, ho tipicamente circa 80 studenti che, per un corso di laurea in Filosofia, e per un corso opzionale, non è poco. In più, agli studenti propongo un laboratorio a frequenza obbligatoria. Quindi fanno una prova in laboratorio, e a casa devono scrivere una relazione in gruppo sulla prova svolta, come si fa nel corso di laurea in fisica. Questo tipo di attività rappresenta per loro una sfida, perché tipicamente non sono abituati a scrivere relazioni brevi e a lavorare in gruppo. Questa relazione è obbligatoria, ma non viene valutata, perché ovviamente gli studenti conoscono poco le incertezze ed è la prima volta che scrivono una relazione scientifica; quindi spesso vi sono vari errori e/o ingenuità. Recentemente sono venuto a sapere che alcuni insegnanti di scuole superiori hanno deciso di adottare questo libro – non in via ufficiale, perché non rispecchia i programmi ministeriali – ma come aiuto per discutere i Principi della Fisica. Questo mi ha fatto molto piacere.

Bibliografia

- Cosmelli C. (2021). *Fisica per filosofi*. Roma: Carocci, pp. 5-382.
- Feynman R. (2000). *Sei pezzi Facili*. Milano: Adelphi, pp. 171-203.
- Ghirardi G. C. (2015). *Un'occhiata alle carte di Dio. Gli interrogativi che la scienza moderna pone all'uomo*. Milano: Il Saggiatore, pp. 39-98.
- Heisenberg W. (1930). *Physical Principles of the Quantum Theory*. Mineola, New York, United States: Dover books on Physics. Traduzione in italiano: Ageno M. (a cura di) (2016). *I Principi Fisici della Teoria dei Quanti*. Torino: Bollati Boringhieri, pp. 26-27.

«Non ci basta studiare le cose nei libri; vogliamo guardarle nel libro vivo della natura». Francesco De Sanctis propone per tutti l'educazione esperienziale

Pietro Cerreta - Associazione ScienzaViva, Calitri - pietro.cerreta@tin.it

Abstract. In an 1883 lecture by Francesco De Sanctis we find an extraordinary anticipation of the modern active and experiential pedagogical approach. There, in fact, he affirmed among other things: "A teacher does not give us science completely preassembled; we want to search for and explore science, we want to see it not when it is already made but how it is done". This position is surprisingly similar to the current one, proposed already fifty years ago with the *Exploratorium* and, gradually, with the Science Centres around the world. De Sanctis explained these words as the result of the change that took place in the Italian cultural environment of the late nineteenth century, as an effect of the influence of Darwinism. And, in this perspective, we intend to interpret the parliamentary episode that in 1878 saw De Sanctis himself, as Minister of Education, to be the promoter of the decision to equip the Brera Observatory with a modern telescope so that Schiaparelli could better carry out his important astronomical studies.

Keywords: Darwinism, Experiential Approach, Modern Telescope, Brera Observatory.

1. L'influenza di Darwin nell'Italia di fine Ottocento

In una delle ultime conferenze della sua vita, Francesco De Sanctis, critico letterario, scrittore, uomo politico e più volte Ministro della Pubblica Istruzione, giunse ad affermare: «Non ci basta studiare le cose nei libri; vogliamo guardarle nel libro vivo della natura». Ne sono rimasto sorpreso perché ho avuto l'impressione che egli, pur essendo estraneo alla comunità scientifica vera e propria, anticipasse di circa un secolo le motivazioni pedagogiche dell'odierno *Hands-on*, così attuale nei moderni Centri della Scienza, e dell'*inquiry-based learning*, che oggi si va imponendo a livello internazionale nella didattica delle scienze.

Mi sono dunque chiesto cosa fosse realmente accaduto nella mente di uno studioso per lo più dedito a riflettere sulle opere dei letterati e dei poeti del passato perché egli, ormai sessantaseienne, desiderasse spostare il suo sguardo d'indagine sulle cose «vive», quelle emergenti direttamente dalla natura, non bastandogli più quelle stantie, scritte sui libri.

Per rendermene conto, mi sono messo alla ricerca del testo integrale della conferenza in cui erano state pronunciate da De Sanctis le frasi poc'anzi riportate e l'ho

trovato in un opuscolo del 1883 dal titolo “Il Darwinismo nell’arte”,¹ che ho letto con vivo interesse.

La teoria evoluzionistica di Darwin, riconoscendo «una comune discendenza dell’uomo e della scimmia» (Enriques 1912, p. 14), aveva rimesso l’uomo al suo posto come parte della natura, dopo averlo tolto dal centro dell’universo. Da questo ricollocamento, il pensiero scientifico della seconda parte dell’Ottocento usciva maggiormente orientato verso gli aspetti biologici ed organici² dell’umana conoscenza, con un’indubbia incidenza sull’intera cultura europea. All’epoca della conferenza, infatti, il darwinismo aveva già contaminato la cultura italiana definendo una nuova concezione dell’uomo e della vita, con la quale era nel frattempo entrato in risonanza il pensiero di De Sanctis. Secondo il critico irpino, dunque, il darwinismo poteva a ragione meritare di essere reputato la causa determinante degli effetti innovativi riscontrati in generale sulle materie e sui metodi di studio negli ultimi vent’anni. Non solo sull’arte, quindi, come appare dal titolo della conferenza, ma anche, ad esempio, sulle nuove pratiche della scuola italiana, in quegli anni nascente, e persino sulla realtà quotidiana della gente comune. De Sanctis, insomma, attribuiva alla “rivoluzione” darwiniana la genesi di una «forza» eccezionale, la quale nell’arco di sì breve tempo era stata capace di cambiare profondamente la consapevolezza di sé, sia nelle persone colte, sia in quelle di modesta istruzione.

Lo colpiva, sì, il fatto che Darwin avesse ricavato le sue idee direttamente da «esplorazioni scientifiche in terre selvagge» (De Sanctis 1883, p. 3) piuttosto che da deduzioni tratte da libri di autorevoli scrittori, ma si stupiva ancor di più per il fatto che la teoria sull’origine dell’uomo concepita dallo studioso inglese avesse avuto poi la capacità, via via, di trasformare «il pensiero umano» facendo sentire la sua influenza nella vita di tutti, anche di coloro che ignoravano perfino il nome di chi ne fosse l’autore:

Se Darwin fosse stato solo un naturalista, la sua influenza sarebbe rimasta in quella cerchia speciale di studi. Ma Darwin non fu solo lo storico, fu il filosofo della natura, e dai fatti e dalle leggi naturali cavò tutta una teoria intorno ai problemi più importanti della nostra esistenza, ai quali l’umanità non può rimanere indifferente. E da questo rispetto, Darwin fu e sarà per suo quarto d’ora una forza dirigente, la cui presenza si sente in tutti gl’indirizzi. [...] Ma ciò che è più importante in una dottrina, è la sua influenza sulla vita. Ci sono uomini che possono ignorare i libri, ed anche il nome di Darwin, ma, loro malgrado, vivono in quell’ambiente, sentono i suoi influenti. Io voglio esaminare quale sia questo nuovo ambiente in cui viviamo noi (De Sanctis 1883, pp. 4-6).

E, proprio cogliendo i cambiamenti avvenuti nei vari contesti di vita dal suo punto di vista privilegiato, culturale com’è noto, ma anche politico, ora egli era in grado di raccogliere nella seguente rapida ma ben precisa sintesi le novità ormai in atto:

¹ La conferenza fu tenuta nel 1883 prima a Roma e poi ripetuta a Napoli (De Sanctis 1883).

² Ad esempio, Ernst Mach, nel suo famoso libro *La meccanica nel suo sviluppo storico critico*, pubblicato anch’esso nel 1883, così si esprimeva al riguardo: «Mi aiutò, e al tempo stesso mi liberò da illusioni, il considerare il pensiero comune e tutta la scienza come un fenomeno biologico ed organico, entro cui anche il pensiero logico fu considerato un caso limite ideale» (Gori 2008, p. 223).

Una volta il nostro spirito era disposto a cercare le idee o i concetti delle cose, l'«esprit des choses», la filosofia delle cose, filosofia della storia, filosofia del linguaggio, filosofia del dritto. Oggi prendiamo un vivo interesse a studiare le cose in sé stesse, nella loro esteriorità, nella loro natura, nella loro vita. La base dei nostri studii erano grammatiche, rettoriche, logiche, metafisiche, cioè a dire i segni e i concetti delle cose; oggi chimica, storia naturale, anatomia, fisiologia, patologia non sono più studi speciali, ma fanno parte della cultura generale, e senti la loro influenza nella scienza, nella letteratura, nell'arte, e fino nella vita comune. Nelle scuole popolari si è introdotta come parte principale la lezione delle cose ed il metodo intuitivo. Non ci basta studiare le cose nei libri; vogliamo guardarle nel libro vivo della natura; prendiamo gusto all'osservazione, alle esplorazioni, all'esperienza; vogliamo il laboratorio anche nelle scienze dette spirituali, come nella filologia e nella giurisprudenza; siamo noi laboratorio a noi stessi, persuasi che il maestro non ci dà la scienza bella e fatta; la scienza vogliamo cercarla, elaborarla noi, vogliamo vederla non come è fatta, ma come si fa [*accolto dal pubblico con*] (*Bene!*) (De Sanctis 1883, pp. 6-7).

La più sorprendente delle affermazioni precedenti, secondo la mia opinione, è quella che enuncia «la scienza vogliamo cercarla, elaborarla noi, vogliamo vederla non come è fatta, ma come si fa» che, nel testo, è seguita da un *Bene!*, segno evidente che ciò che l'oratore andava pronunciando era, nondimeno, del tutto condiviso dagli astanti.

Subendo egli stesso tale influenza, possiamo dedurre che, come Ministro della Pubblica Istruzione, sia stato incoraggiato a sostenere in prima persona la presenza nelle scuole di quella che egli chiama «la lezione delle cose» ed il «metodo intuitivo». Metodo, quest'ultimo, che suggeriva ai docenti di scegliere situazioni didattiche capaci di impressionare i sensi degli allievi (la vista in particolar modo) esponendoli ad esperienze concrete di fatti naturali, per poi condurre le loro giovani menti alla comprensione intellettuale di ciò che accade intorno a loro. L'idea di anteporre l'approccio percettivo a quello formale, detto oggi così perché tipico del formalismo dei libri di testo, non fu a quel tempo un'intuizione di poco conto, benché i risultati che ne seguirono, al momento, non si rivelarono granché lusinghieri. Per cominciare a trovare una diffusa applicazione di tale convinzione bisognerà infatti aspettare il Novecento, allorché la pedagogia attiva aggiunse al metodo suddetto ulteriori stimoli ed indirizzi operativi.

La percezione, intesa come primo passo verso la comprensione dei fenomeni della natura, fu tuttavia riconosciuta davvero rilevante dal sistema educativo internazionale solo molti decenni dopo. Ciò accadde sostanzialmente a partire dal 1969, allorché, a San Francisco, Frank Oppenheimer aprì al pubblico un *Exploratorium* (Hein 1990), cioè un luogo in cui la gente, interagendo con apparecchiature costruite *ad hoc*, simili a grossi giocattoli, poteva tranquillamente esplorare, ad esempio, i colori cangianti di una grande pellicola di sapone, gli effetti giroscopici di una “ruota di bicicletta” messa in rapida rotazione, le figure di Lissajous tracciate da una penna su un tavolo oscillante e, inoltre, sorprendersi nel vedere che qualcuno si sollevava da terra mediante uno “specchio”, detto per questo «specchio antigravità». Il successo di uno stile educativo siffatto, che consentiva ai visitatori di acquisire dimestichezza e perciò consapevolezza diretta del mondo circostante, fece diventare l'*Exploratorium* il museo della scienza più fa-

moso al mondo. Se ora analizziamo bene le ragioni della popolarità ottenuta dalle apparecchiature interattive costruite da Oppenheimer a San Francisco, troviamo che questi aveva realizzato appieno nient'altro che quel modello pedagogico laboratoriale (Hein 1990) ispirato «all'osservazione, alle esplorazioni, all'esperienza» di cui si era tempo addietro “invaghito” De Sanctis (1883, pp. 6-7)! L'“esplorare per metodo” è diventato, in seguito, talmente contagioso da essere stato capace di riorientare lo stile espositivo delle istituzioni museali in ogni dove, dimostrando così che De Sanctis aveva intuito bene la necessità di «studiare le cose in sé stesse, nella loro esteriorità, nella loro natura, nella loro vita», cioè mettendoci personalmente le mani sopra, *Hands-on* come si dice oggi. E credo che il celebre critico irpino, se fosse vissuto oggi, avrebbe trovato molto divertente gironzolare tra gli attraenti exhibit interattivi di un moderno *Science Centre*!

A ben vedere, le posizioni ideali di De Sanctis e di Oppenheimer appena esaminate, sebbene emerse a distanza di tempo e in ambienti diversi, appaiono sostenute da un'identica presa d'atto e cioè che, per gli scopi educativi della gente, l'insegnamento centrato sui libri, sul manuale didattico in particolare e sui suoi surrogati, non può bastare. Non che si negasse al libro quel ruolo indispensabile che gli era stato storicamente riconosciuto. Si dubitava piuttosto che tale risorsa fosse bastevole a fornire tutto ciò che è necessario ad appagare il moderno desiderio di apprendere, desiderio peraltro ben sintetizzato dalla frase desanctisiana «la scienza vogliamo cercarla, elaborarla noi, vogliamo vederla non come è fatta, ma come si fa»! E se De Sanctis, l'abbiamo visto poco fa, diceva: «Non ci basta studiare le cose nei libri; vogliamo guardarle nel libro vivo della natura [come aveva fatto Darwin]», anni dopo Oppenheimer prendeva atto che, nelle scienze, «libri, riviste, conferenze, programmi televisivi e lezioni» (Hein 1990, pp. 217-218) si erano rivelati purtroppo insufficienti a colmare il divario tra profani ed esperti. Infatti in tale armamentario mancava del tutto quella materia palpabile, che serve a mostrare «la scienza non come è fatta, ma come si fa», se vogliamo usare ancora qui l'efficace modo di esprimersi di De Sanctis.

Insomma, dobbiamo tener conto di un limite: ci sono cose della natura che parole e libri, da soli, non riescono a spiegare! Ed è molto calzante, a tal proposito, l'esempio scelto da Oppenheimer per chiarire il problema: «Spiegare la scienza e la tecnologia senza il sostegno di fatti concreti può assomigliare al tentativo di raccontare a qualcuno cosa sia il nuotare senza metterlo mai vicino all'acqua» (Hein 1990, pp. 217-218).

2. Il dibattito parlamentare per il finanziamento del telescopio di Brera

L'itinerario che conduce De Sanctis alle sorprendenti affermazioni che abbiamo or ora esaminato comincia però da lontano, cioè dai suoi primi interessi giovanili per le scienze di ogni tipo (Bianco 2015), passa per la sua partecipazione al Settimo Congresso degli Scienziati Italiani che si tenne a Napoli nel 1845 (Schettino 2006) e continua per tutto il corso della sua esistenza. Celebre è la sua conferenza dal titolo *La Scienza e la Vita* (De Sanctis 1872).

Non si trattò dunque di un gesto occasionale la decisione che egli prese nel 1878 da Ministro della Pubblica Istruzione di dotare l'Osservatorio di Brera di un telescopio moderno, affinché Virginio Schiaparelli potesse meglio svolgere le sue importanti ricerche astronomiche. Ma sarebbe sbagliato trascurare, a tal riguardo, l'effetto di quella «forza» darwiniana, innovativa, di cui De Sanctis tanto sentiva permeato l'ambiente culturale italiano di quegli anni e che traspare dal resoconto parlamentare dell'iter di quel provvedimento legislativo. Da esso, infatti, emerge la larga e calorosa accoglienza manifestata dai colleghi deputati e senatori che lascia percepire visibilmente la condivisione di un progetto culturale costoso ma importante per l'intera nazione. Ricordiamo dunque i fatti, con cenni rapidi ed essenziali. Nella tornata del 20 maggio 1878, De Sanctis presentava alla Camera dei Deputati un progetto di legge per «l'acquisto e collocamento di un “refrattore” equatoriale della *forza* (apertura) obbiettiva di 49 centimetri nell'osservatorio reale di Milano» ed accompagnava il provvedimento con una stringata e argomentata relazione (De Sanctis 1970, pp. 284-290). Stanziare per un telescopio la cifra di 250.000 lire, che lo stesso Ministro riteneva “ragguardevole”, in un momento di forti tensioni nel Governo Cairoli, alle prese, peraltro, con la cancellazione dell'odiata tassa sul macinato, richiedeva coraggio e grande lungimiranza (Bianco 2015, p. 102). Emblematica della visione desanctisiana del rapporto che deve sussistere tra investimento finanziario e attuazione di un progetto scientifico è la frase conclusiva della relazione del disegno di legge:

I sacrifici del paese a pro dello sviluppo dell'alta scienza non debbono essere maggiori di ciò che comporti la reale abilità degli scienziati, ma neppure debbono esserle di molto inferiori giacché si lederebbero i più alti interessi della nazione [il nuovo modo di concepire la ricerca scientifica] se si condannassero all'inerzia i suoi più alti intelletti (Bianco 2015, p. 102).

La presentazione di tale disegno di legge alla Camera dei Deputati seguì di appena 15 giorni l'approvazione del progetto di telescopio di Virginio Schiaparelli da parte dell'Accademia dei Lincei, avvenuta nell'adunanza generale del 5 maggio. La brevità di tempo che intercorse tra i due eventi mostra l'attenzione del Ministro De Sanctis per le questioni di politica culturale del Paese e conferma l'opinione che di questi aveva gran parte del Parlamento, tanto che il deputato veneziano Raffaele Minich, letterato e matematico, Professore a Padova, si rivolge a lui dicendo: «L'Onorevole ministro, che tanto protegge e intende di svolgere il movimento scientifico in Italia» (Bianco 2015, p. 107).

Tecnico, concentrato sullo strumento da acquistare, fu l'intervento di Quintino Sella. Si trattava di cogliere una buona occasione, suggerita dallo stesso Schiaparelli, della disponibilità di un “obbiettivo” già fabbricato dalla casa Merz di Monaco che dava garanzia sulla qualità del prodotto, anche perché poteva immediatamente essere esaminato. Una nuova costruzione, infatti, comportava rischi poiché, osservava il Sella, «gravi difficoltà [...] si incontrano nella fusione di questa specie di vetri» (Bianco 2015, p. 104).

Invece, fu proprio un deputato milanese, Achille Majocchi, ufficiale garibaldino, ad esser contrario allo stanziamento finanziario per l'acquisto del telescopio per Brera. Egli infatti diceva: «veggo procacciarsi i mezzi per scrutare le stelle, anziché per perfezionare gli abitanti della terra» (Bianco 2015, p. 104). Altre e diverse erano per lui le priorità da affrontare!

Al Senato, Stanislao Cannizzaro, elogiava l'operosità dell'astronomo cuneese «dedito esclusivamente a coltivare la scienza ed alieno dal mendicare la popolarità e l'appoggio dei partiti politici». Respingendo come miope, la distinzione tra ricerca di base e finalizzata, lo scienziato, senatore siciliano, affermava: «Le nazioni illuminate si guardano bene dalla volgare distinzione tra le investigazioni utili e quelle di lusso» (Bianco 2015, p. 108).

Annibale De Gasparis, egli stesso astronomo, Direttore dell'Osservatorio di Capodimonte, scopritore di numerosi asteroidi, professore dell'Università di Napoli, spiegò il valore delle ricerche dello Schiaparelli, riconosciute anche dalla Società Reale astronomica di Londra, che lo aveva premiato. Egli affermava:

«La storia delle scienze naturali è piena di esempi dai quali si rileva che non è il Botanico o il Fisiologo, provvisto di più potente microscopio quello che più fa avanzare la scienza. Il secreto sta nel metodo più acconcio di condurre gli esperimenti, onde sorprendere la natura ne' suoi segreti» (Bianco 2015, p. 109).

Su 90 votanti, 72 furono i favorevoli all'acquisto del telescopio e 18 i contrari (Bianco 2015, p. 110). È lecito considerare la proporzione di questo consenso quale misura della sensibilità del Parlamento italiano di fine Ottocento per un progetto scientifico nazionale e moderno così autorevolmente proposto dai Lincei e da Schiaparelli. Le dichiarazioni esaminate poc'anzi mostrano dunque che, nel 1878, la maggioranza della classe politica nostrana guardava alla scienza non più come argomento riguardante solo gli addetti ai lavori, ma l'intero Paese. Era diffuso molto più di prima il desiderio di «sorprendere la natura ne' suoi segreti» e, in questo caso, di sorprenderla nei segreti delle stelle. Di tutto ciò De Sanctis avrà certamente sentito l'intensità emotiva e conservato ricordo allorché, di lì a qualche anno, nel 1883, si risolse ad elaborare la tesi, precedentemente esaminata, sulla «forza» rivoluzionaria del darwinismo nella trasformazione della cultura italiana.

Bibliografia

- Bianco G. (2015). «L'Onorevole ministro, che tanto protegge e intende di svolgere il movimento scientifico in Italia». *De Sanctis e l'Osservatorio di Brera*, in Iermano T. (a cura di), *Studi desanctisiani. Rivista internazionale di letteratura, politica, società*. Pisa-Roma: Fabrizio Serra Editore, 3, pp. 101-113.
- De Sanctis F (1872). *La scienza e la vita. Discorso inaugurale letto nella Università di Napoli il 16 novembre 1872*. Napoli: presso Antonio Morano Libraio-Editore.

- De Sanctis F. (1883). *Il Darwinismo nell'arte*. Napoli: Stabilimento Tipografico dei Classici Italiani.
- De Sanctis F. (1970). In Cortese N. (a cura di), *I partiti e l'educazione della nuova Italia*. Torino: G. Einaudi, pp. 284-290.
- Enriques F. (1912). *Scienza e razionalismo*. Bologna: Zanichelli.
- Gori P. (2008). *Il Darwinismo di Ernst Mach. Riflessioni sul principio di economia nella scienza*, in *Annali dell'istituto italiano per gli studi storici*, Vol. 22 (2006/2007). Napoli: Istituto italiano per gli studi storici, pp. 223-255.
- Hein H. (1990). *The Exploratorium. The Museum as Laboratory*. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Schettino E. (2006). *La scienza nel Meridione: la settima Adunanza degli scienziati italiani tenuta in Napoli dal 20 di settembre a' 5 di ottobre 1845* [online]. URL <http://www.fedoa.unina.it/1268/1/Schettino_La_scienza_nel_Meridione.pdf> [data di accesso: 21/03/2022].

EARLY MODERN ASTRONOMY: COSMOLOGICAL
MODELS FROM KEPLER TO BOSCOVICH

Kepler's *De Stella Nova* (1606) on the Nature and Motions of the "Celestial Novelties"

Dario Tessicini - Università degli Studi di Genova - dario.tessicini@gmail.com

Abstract: This paper will discuss some physical and cosmological aspects of Kepler's *De stella nova* (1606) in the wider context of the sixteenth and early-seventeenth century debates on the 'celestial novelties' (comets and new stars) and on their motions. In particular, the paper will address issues related to the physical nature and the motions of the new star that paved the way to the notion of the infinity of the universe. Kepler's arguments against these hypotheses (whose implications led to the "dangerous" philosophy of Giordano Bruno) call into questions the main issues of the early modern cosmological debate, namely the centrality and singularity of the solar system, the theory of comets (as "evanescent bodies") and the reconsideration of Aristotle's celestial physics (the distinction between rectilinear and circular motion, in particular).

The Legacy of Clavius: Giovanni Paolo Lembo's Reaction to Galileo's *Celestial Novelties* (1610-15)

Luís Miguel Carolino - ISCTE, Instituto Universitário de Lisboa -
luis.miguel.carolino@iscte-iul.pt

Abstract: In the last edition of his *Commentarius in sphaeram Ioannis de Sacrobosco*, published in 1611, Christoph Clavius urged astronomers to work out an astronomical solution that integrated the ground-breaking Galilean novelties of 1610. As the Collegio Romano mathematics professor stated, “since this is so, astronomers ought to see how the celestial orbs may be arranged in order to save the phenomena”. What was the real meaning of Clavius’s plea? This paper approaches this question by analysing the astronomical work of the Jesuit Giovanni Paolo Lembo. In addition to being an accomplished telescope maker and astronomical observer, having played a crucial role in the telescopic observations carried out at the Collegio Romano between 1610 and 1611, Lembo was one of the closest collaborators of Clavius and an advocate of his astronomical ideas. Shortly after Clavius passed away, Lembo set forth a geo-heliocentric system of Capellan inspiration that came to terms with the Galilean novelties (and particularly with the phases of Venus and Mercury) while simultaneously retaining intact the foundations of Clavius’s astronomical and cosmological ideas.

La polemica Riccioli-Borelli-Angeli e la deviazione dei gravi in caduta

Maria Teresa Borgato - Università di Ferrara - bor@unife.it

Abstract: The controversy between the Jesuit Giovanni Battista Riccioli and the Galileans Giovanni Alfonso Borelli and Stefano degli Angeli is part of the broader question of the opposition to the Copernican system on the part of Catholic orthodoxy. However, it had a fundamental role in highlighting an unresolved crucial question of Galilean dynamics: the “true” or “absolute” motion of falling bodies distinct from the apparent motion with respect to the rotating Earth. The starting point of the controversy was the proof of the immobility of the Earth, sustained by Riccioli in his *Almagestum novum* (1651) and reaffirmed in the *Astronomia reformata* (1665), which criticized Galileo’s hypothesis of a semicircular trajectory, travelled with uniform motion. Riccioli’s argument was based on the impact of a falling body on the ground, which varied with height. Borelli in *De vi percussionis liber* (1667) affirmed that the trajectory could be neither circular nor spiral, but he opposed Riccioli’s objection since this was based on the uniformity of the absolute motion while the variation of the impetus concerned the relative motion. A few months later, Angeli intervened against both Riccioli’s demonstration and Borelli’s arguments and the controversy developed into a long series of cross replicas (1666-1669). All the participants in the controversy were convinced that the trajectory should tend towards the center of the Earth, but, at a certain point within the debate, the consideration of a deviation emerged. It was Angeli, who, believing that the angular velocity was conserved during the fall, highlighted the consequence of Borelli’s hypothesis, namely, that by maintaining the transverse velocity constant, the body would fall east of the vertical. The deviation of a falling body later became the experimental proof in favor of the rotation of the Earth, and the trajectory of a body in absolute space the theme of the famous correspondence exchanged between Newton and Hooke (1679-1680).

Keywords: Free Fall, Eastward deviation, Copernican question.

1. Introduzione

La controversia tra il gesuita Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) e i galileiani Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) e Stefano degli Angeli (1623-1697) si inserisce nella più ampia questione dell'opposizione al sistema copernicano da parte dell'ortodossia cattolica. Tuttavia, ha avuto un ruolo fondamentale nell'evidenziare una questione cruciale irrisolta della dinamica galileiana: il moto "vero" o "assoluto" dei corpi in caduta distinto

dal moto apparente rispetto alla Terra in rotazione, ponendo questo tema all'attenzione del mondo scientifico europeo.

I protagonisti di questa polemica durata tre anni sono alcuni tra i maggiori scienziati della metà del Seicento: degli Angeli e Borelli possono essere riferiti a due filoni della scuola galileiana, alla teoria degli indivisibili e alle ricerche geometriche il primo, alle ricerche fisico-matematiche il secondo, anche se le figure sono in realtà più complesse. La controversia mette in luce le differenti personalità dei due scienziati: Angeli legato alla schematizzazione geometrica, trasferita anche nella cinematica del punto materiale, Borelli con maggiore sensibilità sperimentale e visioni di grande respiro nella interpretazione del sistema del mondo. Il terzo personaggio, Riccioli, che è la causa scatenante della disputa, rappresenta la scuola antagonista a quella galileiana, quella scuola gesuitica che pure ha avuto meriti nello sviluppo della ricerca fisico-matematica italiana del Seicento, soprattutto nei casi in cui la fedeltà all'ortodossia cattolica non interferiva con le accurate sperimentazioni, falsando l'interpretazione dei risultati. Certamente Borelli nella disputa emerge per qualità intellettuali sugli altri due, ma anche Angeli e perfino Riccioli contribuirono, quest'ultimo contro le proprie aspettative, a chiarire il problema della traiettoria dei corpi pesanti facendo emergere una contraddizione che sarà la chiave per la corretta soluzione: la deviazione verso est dei gravi in caduta.

All'inizio della controversia Borelli si trovava ancora a Pisa, sarebbe ritornato a Messina proprio nella primavera dell'anno 1667. Allievo di Benedetto Castelli a Roma assieme a Evangelista Torricelli, negli anni '30 era entrato in possesso delle tavole redatte da Galileo sui pianeti medicei (i satelliti di Giove). Dal 1635 al 1656 aveva ricoperto la lettura di matematica a Messina, ed era poi passato all'Università di Pisa nel 1656, dove attrezzò un laboratorio anatomico per le sue ricerche sulla iatromeccanica. A Firenze fu coinvolto nelle indagini dell'Accademia del Cimento, riorganizzata come centro di ricerca sperimentale. Sono dell'ultimo periodo in Toscana i lavori astronomici sulla cometa dell'anno 1664 (in forma di lettera a Stefano degli Angeli) e sui pianeti medicei. Per le osservazioni sui satelliti di Giove nel 1665 fu allestito un osservatorio nella fortezza di San Miniato, con un telescopio di Giuseppe Campani e altri strumenti da lui stesso progettati.

Angeli era invece a Venezia e a Padova. Allievo di Bonaventura Cavalieri a Bologna, apparteneva all'ordine dei Gesuati di S. Girolamo, come il suo maestro. Nel 1652 era stato nominato priore del monastero dei Gesuati di Venezia e poco dopo padre provinciale dell'Ordine, che fu soppresso da Clemente IX nel 1668. Dal 1663 ricopriva la cattedra di matematica dell'Università di Padova, che era stata già di Galileo, e che terrà fino alla morte. Ebbe tra i suoi allievi Jacopo Riccati e James Gregory. Fu sostenitore fedele del metodo degli indivisibili, che applicò in diverse opere di carattere geometrico-meccanico negli anni 1654-1662. Un cambiamento di interessi seguirà la polemica sulla caduta dei corpi pesanti, con la pubblicazione di un'opera a carattere spiccatamente sperimentale riguardante la gravità dei fluidi e la teoria dei capillari (1671-72).

Riccioli negli anni della controversia aveva ormai raggiunto una notevole fama di astronomo soprattutto a seguito della pubblicazione della sua opera maggiore *Almagestum novum* (1851), una summa del sapere astronomico antico e moderno in due volumi.

Riccioli fu lo scienziato più rinomato di quella che viene definita la scuola fisico-matematica gesuitica che aveva il suo centro nel Collegio di Parma, dove l'aveva iniziata Giuseppe Biancani a sua volta allievo di Christophorus Clavius al Collegio Romano. A Parma Biancani aveva avviato una revisione critica di alcune tesi aristoteliche sulla filosofia naturale per adattare alle nuove scoperte, come il valore puramente strumentale e non dimostrabile della matematica, la distinzione tra mondo celeste e terrestre, la solidità delle sfere celesti e la circolarità delle orbite, senza però abbandonare completamente l'aristotelismo, ufficialmente professato dalla Compagnia.

Riccioli, dopo aver compiuto gli studi e la formazione in vari collegi della provincia veneta della Compagnia, insegnò prima a Parma e poi si trasferì a Bologna. Qui Riccioli costruì un osservatorio astronomico presso il Collegio di S. Lucia, dotandolo di telescopi, quadranti, sestanti e altri strumenti tradizionali. Molti gesuiti collaborarono ai suoi esperimenti, in particolare Francesco Maria Grimaldi.

2. La traiettoria in un grave nello spazio assoluto

Per un osservatore sulla Terra, il moto di un grave in caduta avviene verso il basso lungo una linea retta. Si pone il problema di come identificare la traiettoria di un corpo pesante nello spazio assoluto nell'ipotesi della rotazione terrestre.

È opportuno ricordare che Keplero non estese le sue leggi planetarie alla caduta dei gravi sulla Terra. Nella *Epitome astronomiae copernicanae* (1618, l. I(V), p. 132: «Quae est ergo genuina figura motus gravium respectu spatij mundani?»), è descritto sommariamente il moto relativo alla Terra di una pietra che cade da un punto molto alto nel cielo, ma il corrispondente moto assoluto non è una ellisse e non verifica la legge delle aree.

L'impedimento a considerare la Terra e il corpo come due pianeti è dovuto alla difficoltà di valutare l'effetto dell'attrazione delle singole particelle che compongono la Terra, che Keplero ipotizza come una serie di “nervi” elastici che trascinano il corpo che scende in un movimento circolare, ed è più forte l'azione delle particelle più vicine, ossia di quelle che si trovano sulla verticale.

2.1. L'ipotesi galileiana della traiettoria semicircolare

La questione è affrontata da Galileo nella seconda giornata del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632, Firenze: Gio: Battista Landini), dopo aver discusso del moto diurno della Terra, di cui non partecipa il resto dell'universo ed è impercettibile agli abitanti della stessa, aver ribattuto agli argomenti contrari di Aristotele e degli aristotelici, aver disquisito sui moti circolari (naturali) e il moto dei proiettili (violento).

Parlando per bocca di Salviati, Galileo afferma che è possibile tracciare la traiettoria combinando il moto rettilineo di caduta con il moto circolare della Terra, e più avanti osserva che, se il moto relativo di caduta fosse uniforme, il moto composto descriverebbe una spirale di Archimede. Poiché però il moto rettilineo del grave è accelerato, passando da tutti i gradi di velocità, deduce che la traiettoria del moto assoluto è tangente al cerchio descritto dal punto di sgancio che ruota con la Terra e conclude, senza giustificazione, che questa traiettoria termina al centro della Terra.

La linea descritta dal cadente naturale, supposto il moto della Terra circa 'l proprio centro, sarebbe probabilmente circonferenza di cerchio. [...] è necessario che questa tal linea del moto composto vadia a terminar nel centro della Terra.

Quindi Galileo si spinge oltre, e ipotizza che tale moto, composto del moto circolare «equabile» della Terra e del moto rettilineo accelerato del grave che tende al centro della Terra, sia uniforme lungo la traiettoria semicircolare. Con questa che egli chiama «bizzarria» non c'era bisogno di ricercare nuove cause di accelerazione o di altri moti, poiché il mobile, «tanto stando su la torre quanto scendendone, sempre si muove nel modo medesimo, cioè circolarmente, con la medesima velocità e la medesima uniformità».

2.2. Prime reazioni

La teoria della traiettoria semicircolare era incompatibile con la stessa legge galileiana della caduta, della progressione degli incrementi degli spazi come i numeri dispari, ossia lo spazio percorso proporzionale al quadrato (in «proporzione duplicata») del tempo.

Il primo a sollevare delle critiche fu Marin Mersenne, che fece vedere come, se i corpi cadessero con velocità uniforme lungo una circonferenza di cerchio, gli spazi percorsi lungo la verticale sarebbero proporzionali non al quadrato ma al seno verso del tempo. Mersenne inviò le sue considerazioni a vari studiosi, tra cui Pierre Fermat, con una lettera del 1635. Fermat a sua volta scrisse a Pierre Carcavi, tra il giugno 1636 e l'inizio del 1637, riconoscendo dimostrata la falsità della traiettoria semicircolare e fornendo una soluzione secondo una spirale non archimedeica.

L'ipotesi della traiettoria a spirale, che venne poi riproposta anche da Angeli, deriva naturalmente da una considerazione cinematica, poiché, come aveva osservato lo stesso Galileo nel *Dialogo*, componendo due moti uniformi, uno rettilineo lungo una retta e uno circolare di questa attorno ad un punto, si otteneva una spirale archimedeica: poiché il moto del punto lungo la retta (la verticale istantanea) era invece accelerato, sembrava naturale dedurre una traiettoria lungo una spirale «mirabilis», ossia una spirale, in termini moderni, logaritmica. La soluzione della spirale non archimedeica, tuttavia, è falsa.

Lo stesso Galileo, informato da Pierre Carcavi delle critiche di Fermat e di Mersenne, gli rispondeva affermando che l'ipotesi della traiettoria semicircolare e del moto equabile non l'aveva mai creduta vera, ma proposta come uno scherzo e una bizzarria. Introduceva anche l'ipotesi che si trattasse di una parabola nonostante questa non passasse per il centro della Terra.

Mersenne inserì poi la questione della traiettoria in diverse sue opere, dando diffusione a questo importante problema. Vi fu anche chi, come Ismael Boulliaud, intese dimostrare geometricamente la coerenza dell'ipotesi galileiana, facendo vedere come un moto rettilineo accelerato si potesse ottenere componendo due moti circolari uniformi.

Si trattava tuttavia finora di una discussione su un'ipotesi scientifica posta in forma dubitativa da Galileo, e ristretta ad una cerchia di studiosi che convenivano sull'ipotesi copernicana, divenne poi una polemica aperta quando il gesuita Giovanni Battista Riccioli ne fece un argomento per confutare la teoria copernicana.

2.3. La prova anticopernicana di Riccioli

Riccioli nel 1651 pubblicava l'*Almagestum novum*, che aveva l'ambizione di comprendere e criticamente esaminare tutte le teorie elaborate sul sistema del mondo. In esso Riccioli poneva a confronto il sistema tolemaico, quello copernicano e quello da lui stesso introdotto, una variante del sistema ticonico (il Sole, Giove e Saturno girano attorno alla Terra, mentre Mercurio, Venere e Marte orbitano intorno al Sole).

Nella sezione IV della seconda parte (*De systemate Terrae motae*) dopo aver trattato del sistema copernicano e più generalmente delle teorie che sostengono il moto della Terra, sia diurno («vertigo Terrae circa suum centrum») sia annuo (*translatio* o *translationis motus*), Riccioli discute a lungo le prove e le argomentazioni pro e contro tale moto, per fare chiarezza rigettando quelle che la scienza nuova aveva smontato (20 argomenti in favore del moto annuo, 23 in favore del moto diurno, 7 in favore di entrambi, 77 in favore dell'immobilità della Terra, di cui 38 contro entrambi i moti, 39 contro il moto annuo).

Di questi tuttavia Riccioli per lo più dimostra l'inconsistenza e la mancanza di un fondamento matematico o fisico; ad alcuni viene accordata un'evidenza fisica, ma nessun fondamento matematico. Cinque di essi sono dedotti dall'incremento di velocità dei corpi gravi e dei leggeri. Uno solo, a suo vedere, nuovo ed escogitato da lui stesso, era matematicamente fondato e aveva avuto una conferma sperimentale.

L'argomento di Riccioli è che, se la Terra si muovesse e, di conseguenza, i corpi in caduta libera si muovessero di moto uniforme lungo un cerchio, come sosteneva Galileo, allora arriverebbero al suolo con la stessa velocità, e dunque con la stessa forza e lo stesso impeto da qualunque altezza. Ma l'incremento di velocità non era solo apparente, come gli stessi esperimenti di Riccioli avevano confermato, in quanto maggiore era l'altezza da cui veniva rilasciato uno stesso globo in aria, maggiore la percossa al suolo, o maggiore la penetrazione del grave lasciato cadere in acqua: effetto manifesto e riproducibile da tutti, dunque la Terra non si muoveva affatto.

Nulla corpora gravia dimissa per aërem in plano Aequatoris existentem, descenderent ad terram, cum velocitatis incremento reali ac notabili et non tantum apparenti. Sed si Tellus moveretur motu diurno tantum circa sui centrum, Nulla corpora gravia dimissa per aërem in plano Aequatoris existentem, descenderent ad terram cum velocitatis incremento reali ac notabili, sed tantum cum apparenti: Ergo Tellus aut non movetur, aut non movetur diurno tantum motu. (*Almagestum novum*, II, p. 409)

Riccioli aveva avuto il merito scientifico di realizzare durante gli anni 1640-45, con l'aiuto di molti collaboratori del suo ordine, la prima verifica sperimentale diretta della legge galileiana della caduta libera, mediante lanci da varie altezze, ma soprattutto dalla Torre Asinelli di Bologna. Aveva cioè dimostrato la progressione degli spazi come i quadrati dei tempi ed era anche riuscito a valutare con notevole approssimazione lo spazio percorso nel primo secondo, ossia la metà dell'accelerazione di gravità. Negava tuttavia l'esistenza del vuoto e l'indipendenza della velocità dal peso per la caduta nell'aria.

Quando fu pubblicato l'*Almagestum novum* (Riccioli, 1651), non vi furono reazioni manifeste da parte dei sostenitori del sistema copernicano, intimiditi dalla condanna del

S. Uffizio, vi furono quando l'argomento fu riproposto nell'*Astronomia reformata* (1665, Bologna: Haeredis Victorij Benatij).

2.4. La meccanica celeste di Borelli

In ambiente toscano la risposta fu affidata a Giovanni Alfonso Borelli, che preparò un testo, a lungo meditato e concordato con Leopoldo de' Medici, lo stesso anno 1666 in cui pubblicava il lavoro contenente i principi della sua meccanica celeste.

Le idee cosmologiche di Borelli non sono inserite in un'opera generale sul sistema del mondo, ma sono esposte modestamente all'interno del saggio sui pianeti medicei: *Theoricae mediceorum planetarum ex causis physicis deductae* (1666, Firenze: S.M.D.).

Borelli riprendeva la celebre scoperta del *Sidereus nuncius* (1610): Galileo aveva scoperto i satelliti che ruotano attorno a Giove, allo stesso modo in cui la Luna ruota attorno alla Terra, ne aveva determinato la dimensione delle orbite e i tempi di rivoluzione. Borelli era entrato in possesso delle tavole redatte da Galileo sui pianeti medicei quando si trovava a Roma attorno al 1630 e da allora non si era proceduto nello studio delle loro numerose anomalie di cui era nota l'esistenza e che derivavano dalla doppia influenza del corpo centrale e del Sole. Dopo l'acquisto di un grande telescopio del celebre artefice Giuseppe Campani nell'estate di quell'anno 1666, erano ricominciate le osservazioni. In realtà il progetto di Borelli era ben più ambizioso: partendo dalle leggi di Keplero, sviluppare un'astronomia teorica, o una meccanica celeste razionale, come base dell'astronomia di osservazione, conformemente all'insegnamento di Galileo per il quale la teoria precede l'esperienza, che la conferma o la contraddice.

Borelli descrive le anomalie del moto dei satelliti di Giove, le proprietà delle loro orbite ellittiche e la variazione delle velocità. Passa poi alla enunciazione dei principi fisici necessari a spiegare l'eccentricità del loro moto, le figure ellittiche, il moto della linea degli apsi. Seguendo Galileo, Borelli ammette che i corpi celesti tendano naturalmente ad un corpo centrale (il Sole per i pianeti, oppure Giove per le sue lune) e formula così una teoria di gravitazione universale, secondo cui ogni pianeta è mosso verso il Sole in linea retta, così come i gravi si muovono verso il centro della Terra. Formula un principio d'inerzia, ossia di conservazione del movimento e della velocità in linea retta (in Keplero l'inerzia era intesa solo come resistenza al movimento) e per spiegare la stabilità dell'orbita ellittica introduce una forza antagonista centrifuga, ipotizza cioè che il moto circolare imponga un impeto, e che dal contrapporsi di questo impeto con quello di gravitazione il pianeta sia vincolato a muoversi sulla sua orbita.

Borelli si pone anche il problema della causa fisica del movimento planetario che spieghi in particolare la variazione della velocità lungo le traiettorie. Rifiutando ogni ipotesi di natura magnetica proposta da Keplero, il moto rotatorio è giustificato da una sorta di raggi corporei emessi dal corpo centrale, che ruotando con questo inducono la rotazione del satellite.

La meccanica celeste di Borelli è stata oggetto di indagine da parte di diversi storici della scienza, con valutazioni non sempre concordi, qui interessa sottolineare come in Borelli i principi della meccanica celeste siano applicati anche alla meccanica terrestre, in particolare la conservazione del moto rettilineo e della velocità lineare.

3. La controversia

3.1. Borelli: le leggi dell'urto e la conservazione della velocità trasversale

In agosto-settembre del 1666 Borelli preparò dunque una memoria anonima, che non fu pubblicata, ma che pervenne a Riccioli tramite il senatore bolognese Annibale Ranuzzi, cui l'aveva trasmessa il principe Leopoldo di Toscana. Ci fu anche una risposta di Riccioli che non ci è pervenuta. Successivamente, Borelli pubblicava il *De vi percussiois liber* (Borelli 1667), in cui analizzava proprio le leggi della percossa, sulla quale era basato l'argomento di Riccioli, e aveva quindi l'occasione di tornare sulla questione con maggiore profondità.

Borelli ribadiva la tesi di Galileo, per cui era impossibile dimostrare sperimentalmente la quiete o il moto della Terra, negava però che la traiettoria del grave potesse essere semicircolare, parabolica o a spirale, sostenendo che l'impeto circolare trasversale veniva conservato durante la caduta e che quindi il raggio vettore descriveva angoli al centro crescenti.

Sed praedicti auctores non animadverterunt se in hypothesi assumpta non persistere, supponunt enim eodem impetu transversali mobile A moveri et siquidem grave A perpetuo permaneret in peripheria AB profecto temporibus aequalibus percurreret spatia aequalia subtendentia angulos aequales ad centrum, at quia mobile perducitur ad circumferentias circularum continenter decrescentium sit ut spatia illa inter se aequalia quae ab impetu perseverante ejusdem roboris percurreuntur subtendant successive angulos majores ad centrum; [...] ut facile ostendi posset, unde constat curvam lineam AGH non esse regularem (Borelli 1667, p. 109).

Il ragionamento di Riccioli peccava di paralogismo, partendo da una falsa supposizione, poiché si basava sulla uniformità del movimento assoluto, mentre la misura dell'impeto riguardava il moto relativo (Borelli 1667, Prop. LVIII, pp. 112-113).

3.2. Angeli: la traiettoria spirale e la conservazione della velocità angolare

La reazione a Riccioli si sollevava poco dopo (settembre 1667), e in maniera più diretta, anche a Padova, dove l'insegnamento galileiano (i diciotto anni «migliori della mia vita») aveva lasciato una forte impronta e dove da quattro anni Angeli ricopriva la cattedra che era stata di Galileo.

Mentre il *De vi percussiois* di Borelli ha la struttura di un trattato di meccanica e obiettivi più generali, Stefano degli Angeli, sposando la forma letteraria galileiana, interviene con un'operetta mirata dal lungo titolo (Angeli 1667), che si articola in due dialoghi tra tre interlocutori: il conte Leszczyński, un diplomatico polacco che aveva rapporti con l'Università di Padova, un certo Ofreddi e un «Mattematico» di Padova che rappresenta Angeli stesso.

Dopo alcuni convenevoli, il conte chiede il parere del mattematico sui nuovi argomenti introdotti dal Padre Riccioli nel suo *Almagestum novum* definito comunque «opera realmente eccellentissima». Il mattematico, dopo aver prudentemente fatto professione di fede assicurando fedeltà alle Sacre Scritture e alle determinazioni di Santa Madre Chiesa,

e ritenere dunque la Terra ferma al centro dell'Universo, tuttavia contesta che gli argomenti di Riccioli non provano per nulla la certezza della conclusione.

Angeli contesta all'argomento di Riccioli, la premessa sulla traiettoria, ossia che il grave descriva (nel piano dell'equatore) con moto uniforme una porzione di linea circolare. La contraddizione deriva dalle prove sperimentali: utilizzando gli stessi calcoli di Riccioli, e gli esperimenti dalla Torre degli Asinelli che confermavano la legge di Galileo di proporzionalità degli spazi percorsi ai numeri dispari, e nel primo secondo una caduta di 15 piedi, calcolando il raggio della Terra di 25.870.000 piedi, Angeli trova che, mentre il corpo dovrebbe arrivare al centro della Terra in 6 ore (tante quante occorrono alla Terra per fare un quarto di giro), con le misure di Riccioli con moto uniforme su una traiettoria semicircolare ci arriverebbe in 21 minuti e 53 secondi.¹

Alla questione, sollevata dal conte Leszczyński, su quale sia allora la vera traiettoria del grave che cade nel tendere verso il centro della Terra, Angeli dà una soluzione che coincide con quella di Fermat, senza tuttavia citarlo: «questo moto continuato fino al centro sarebbe una linea spirale, che io li potrei descriver per punti [...] Di più, esattamente io so la proportion del spatio spirale ad'un tal settore di circolo, che l'include» (Angeli 1667, p. 26).

Angeli spiega inoltre come calcolare il tempo che metterà il corpo per raggiungere il centro (21 minuti e 53 secondi), e la porzione di settore circolare limitato dalla spirale del grave cadente da cui si può dedurre per punti l'andamento della curva.

Confuta anche un altro argomento di Riccioli, ripreso da Tycho Brahe, per cui il movimento molto rapido della Terra produrrebbe un movimento molto più lento del grave verso il basso, a causa dell'incompatibilità dei due impeti nello stesso mobile. Questa incompatibilità è negata da Angeli, che ne afferma invece la completa indipendenza.

3.3. Angeli contro Borelli: la deviazione a est

Angeli interviene poi anche sulla teoria di Borelli, che aveva negato essere la traiettoria una spirale. Angeli ribatte precisando che il moto risultante è la composizione di due moti, quello del raggio che ruota uniformemente attorno al centro della Terra e quello uniformemente accelerato del grave che cade lungo il raggio, che la velocità angolare è costante mentre la velocità lineare trasversale diminuisce riducendosi il raggio ossia la distanza dal centro della Terra. Il secondo dialogo termina con un'osservazione ironica diretta a Borelli:

(Of.) Ne io so se il sig. Borelli habbia osservato, che quando fosse vera questa sua dottrina, e che il grave A si movesse sempre con la medesima velocità, che haveva in A, egli haveria conseguito quello, che parmi in vano aver tentato il P. Riccioli; cioè che haverebbe dimostrato più che fisicomatematica, e certissima la quiete della Terra (Angeli 1667, pp. 116-117)

¹ Angeli insiste molto anche su un altro argomento di Riccioli, riguardante i tiri di palle di cannone la cui gittata varierebbe a seconda della direzione, cercando di spiegare il moto relativo, ma non entriamo in questo argomento che richiederebbe un approfondimento a sé. Per ulteriori dettagli sulla controversia, come pure per altre precisazioni bibliografiche, si rimanda alle opere citate in bibliografia.

Dalla conservazione della velocità lineare trasversale, infatti, segue che il grave cadente deve staccarsi dalla perpendicolare e precederla verso Oriente. Poiché, dice Angeli, è manifestamente evidente che questo non avviene, ne seguirebbe che la Terra non si muove affatto.

3.4. Manfredi: il moto assoluto non può essere uniforme

Riccioli, irritato dall'attacco inatteso, irrispettoso e talora disinvolto di Angeli, risponde (gennaio 1668) tramite l'allievo Michele Manfredi nell'*Argomento fisicomatematico del padre G.B. Riccioli* (Manfredi 1668).

In rigore Matematico, non è necessario, che sia circolare [la traiettoria], non può però sul principio del moto, e ne' primi 4 secondi horarij essere molto diversa dalla circolare, e assumendola per circolare, o prossima alla circolare [...] il detto mobile [...] si moverebbe senza reale accelerazione sensibile, ò considerabile, rispetto a quella, che richiede l'incremento della reale percossa (Manfredi 1668, pp. 24-25)

Ribatte Riccioli che l'ipotesi della traiettoria semicircolare è di Galilei, e non sua, e che comunque la forma della traiettoria non è determinante per la conclusione del suo ragionamento: è sufficiente che la traiettoria sia sensibilmente circolare all'inizio della caduta ossia nei primi 4 secondi (periodo di osservazione del fenomeno: il tempo di caduta dalla cima della torre degli Asinelli era stato misurato in $4''$ e $1/3$), che il moto sia uniforme su questa, e che gli spazi trascorsi sulla traiettoria corrispondano a quelli apparentemente attraversati sulla verticale nella proporzione degli spazi ai quadrati dei tempi. Allora il corpo si muoverebbe senza accelerazione, reale, e notevole, fatto contraddetto dall'aumento di percossa che è reale. Critica inoltre l'ipotesi di Angeli della traiettoria a spirale, senza tuttavia recepire il principio di composizione dei moti:

A questo si risponde esservi grande disparità tra il moto del detto Grave, e quello di punto, ò Formica descrivente la spirale: perché il Grave non è attaccato né aderente alla Torre, e però non è portato in giro da un principio estrinseco, né da moto impresoli dalla Torre [...] mà non si può già con vera ragione porre in dubbio, se la velocità del moto diurno e intrinseco del corpo terrestre ritardasse la velocità del moto allo ingiù (Manfredi 1668, p.56).

3.5. Borelli contro Angeli: inosservabilità della deviazione, forza centrifuga

L'attacco di Angeli provoca la reazione immediata di Borelli che replica subito e senza amabilità, in una lettera indirizzata a Michelangelo Ricci (29 novembre 1667).

Dapprima Borelli dimostra l'errore della traiettoria a spirale, che per altro, egli sottolinea, era stata già proposta da Fermat, enunciando il principio di conservazione della velocità lineare, quand'anche muti la traiettoria:

Io per il contrario stimo, esser impossibile, che il moto trasversale [...] possa andar ritardandosi secondo che più, e più s'avvicina al centro terrestre, dove finalmente abbia da estinguersi; ma stimo [...] che quell'impeto, e grado di velocità, che si è conferito ad un mobile, si può ben egli debilitare, ed estinguere, ò da un impeto contrario,

ò da qualche resistenza, che egli incontri, ma non già, perche egli muti direzione; si che quel mobile [...] ritiene la medesima velocità, che aveva prima (Borelli 1668, pp. 2-3).

Borelli propone due esperimenti, un pendolo conico di cui viene fatta variare la lunghezza e una sfera su un cono rovesciato che ruota attorno al suo asse. Si tratta di esperimenti virtuali e mai eseguiti, come si affretterà a evidenziare Angeli nella successiva replica.

Se si trattasse di un canale o una canna vuota verticale che contiene la sfera che cade, allora girando trasporterebbe la sfera in un movimento spirale. Ma il caso del grave cadente è molto diverso: non c'è un legame con il raggio vettore. Nella caduta libera il raggio vettore è una linea puramente immaginaria che non esercita alcuna influenza sul moto del corpo: «la linea AE è cosa semplicemente immaginaria né ha esistenza, né vincoli, né virtù veruna di ritener la palla, sì che ella non scappi dalla direzione AE» (Borelli 1668, p. 8).

All'ultima obiezione di Angeli – cioè che se la sua teoria fosse vera, la pietra non cadrebbe ai piedi della torre, ma la anticiperebbe deviando verso est – Borelli replica che un tale scarto è troppo piccolo per essere osservato, poiché il margine d'errore nelle osservazioni e le interferenze renderebbero comunque la deviazione inosservabile. La deviazione reale che risulta secondo i suoi calcoli è molto vicina al vero (per 240 piedi ossia 71,65 m, egli trova 8/10 di pollice, ossia 1,99 cm.)

Borelli introduce alcune precisazioni importanti sul moto circolare, sulla forza centrifuga («facoltà d'estrudere») e sulla velocità tangenziale per cui, svincolato il mobile dalla circonferenza per qualche motivo, prosegue il moto per la retta tangente con la medesima velocità; ne deduce quindi una descrizione estremamente precisa della composizione dei moti che intervengono nella caduta.

3.6. Altre repliche

In una seconda lettera più breve a Michelangelo Ricci, datata 29 febbraio 1668, e pubblicata assieme alla prima, Borelli controbatte questa volta alle critiche di Manfredi alla sua teoria dell'urto (Borelli 1668). Borelli è quasi seccato della scarsa attenzione rivolta alla sua teoria. In effetti, lo scontro polemico si incentra tra Riccioli-Manfredi e Angeli, che aveva rivolto un attacco più diretto. Inoltre la teoria di Borelli sulla percossa non sembra preoccupare Riccioli, in quanto gli basta per il suo ragionamento che non vi possa essere aumento di percossa senza aumento di velocità. Nelle *Seconde considerationi*, Angeli replica a Manfredi in due dialoghi (Angeli 1668), riproponendo le argomentazioni già esposte, ma con un tono meno complimentoso poiché diretto ad un allievo di Riccioli, mentre quest'ultimo non si era degnato di rispondergli direttamente. Ribatte con decisione all'accusa di cripto-copernicanesimo, ritorcendola contro l'avversario, e alla conseguente intimidazione: «Non è il dovere, il volere impaurire gl'huomeni, costringerli à tacere, e necessitarli ad offender l'humanità con il mostrar d'acconsentire ad errori così manifesti, con il mò mò di spacciarli per Copernicani, et Hypothesi Copernicana nimis addictos» (Angeli 1668, p. 110).

Non entriamo nei dettagli di queste e delle successive fasi della polemica, per i quali rimandiamo ai lavori già citati (Borgato 2011, Koyré 1955). Ricordiamo solo che Angeli,

accusato quasi di plagio di Fermat da parte di Borelli, gli risponde con le *Terze considerazioni etc.* (1668, Venezia: Heredi Leni). Allora l'allievo di Borelli, Diego Zerilli, scende in campo per difendere le posizioni del maestro (Zerilli 1668). Riccioli a sua volta, stimolato dall'allargarsi del conflitto, interviene in prima persona con una lunga e paludata scrittura in latino: *Apologia ... pro argumento physicomathematico contra systema copernicanum*, datata febbraio 1669 (Venezia: Salerni & Cagnolini). Angeli, che aveva già in stampa le *Quarte considerazioni etc.* (1669, Padova: M. Cadorin detto Bozetta), per rispondere anche a Riccioli ritarda la pubblicazione, che dunque esce l'ottobre dello stesso anno.

4. Conclusioni

Volendo semplificare possiamo dire che la risposta dei galileiani in merito all'argomento sulla percossa si articola in due punti:

- l'aumento della percossa al suolo con l'altezza di caduta implica un aumento di velocità del moto relativo e non del moto assoluto, dunque nulla si può concludere in base a questo sulla sua difformità;
- la traiettoria semicircolare percorsa con moto uniforme è falsa, è incompatibile con la legge dei numeri dispari, dunque manca la premessa maggiore al ragionamento di Riccioli.

Il secondo punto viene controbattuto da Riccioli e in ogni caso resta la questione di fondo alla quale bisognerebbe pure dare una risposta all'interno di una teoria coerente: qual è la vera traiettoria? Si fronteggiano due soluzioni, quella di Angeli di una spirale non archimedeica collegata all'ipotesi della conservazione della velocità angolare, e quella di Borelli, di una curva "non regolare" conseguenza della conservazione della velocità lineare trasversale durante la caduta. Il principio d'inerzia di Borelli ha però una conseguenza apparentemente contraddittoria messa in luce da Angeli: l'esistenza di una deviazione a est del grave rispetto al piede della torre.

Pur senza arrivare alla vera soluzione, e in misura diversa, tutti i contendenti hanno una parte di ragione. Ha ragione Borelli, che la deviazione è quasi inosservabile per la caduta da una torre. Ha ragione Angeli: rimane la contraddizione tra l'ipotesi di Borelli e una traiettoria diretta al centro della Terra. Ha ragione Riccioli: in realtà non è importante che la traiettoria sia circolare per portare a conclusione il suo argomento: ogni altra traiettoria tangente il cerchio descritto dal punto di sgancio, percorsa con moto uniforme, è incompatibile con i dati sperimentali.

In effetti "è l'uniformità del moto assoluto del grave lungo una qualunque di queste traiettorie che è incompatibile con il moto relativo uniformemente accelerato".

Un particolareggiato resoconto della controversia tra Riccioli e Angeli fu pubblicato da James Gregory, socio della Royal Society, che aveva assistito a Padova alle lezioni di Angeli, nelle *Philosophical Transactions* del 1668 (vol. 3, n. 36 June, pp. 693-698). Il

dibattito si allargò ad altri scienziati europei, ne erano informati Huygens, Oldenburg, Sluse, Wallis, Azout. Vi intervennero Fabri e Tacquet.

Una decina d'anni dopo la pubblicazione del resoconto di Gregory, Newton suggeriva a Robert Hooke, che era divenuto segretario della Royal Society, un esperimento per dimostrare il moto diurno della Terra basato proprio sulla misurazione della deviazione dalla verticale di un grave lasciato cadere da una grande altezza (1679).

La deviazione di un grave lungo il parallelo (ma anche una possibile deviazione lungo il meridiano) e più generalmente lo studio della traiettoria di un grave in caduta libera furono i temi dibattuti nel celebre carteggio tra Newton e Hooke (1679-80) in cui sono rintracciabili i primi elementi di una ricerca che condurrà, cinque anni più tardi, alla elaborazione dei *Principia* e alla definitiva affermazione del sistema del mondo nell'ipotesi formulata da Keplero.

Nelle prime lettere di Newton si ritrovano ipotesi erronee come la traiettoria a spirale, e sarà solo dopo l'individuazione della legge della gravitazione universale, la dimostrazione che un corpo sferico omogeneo agisce come se la sua massa fosse concentrata nel centro per una particella posta all'esterno, che la traiettoria è finalmente individuata come un'ellisse. Così nel manoscritto *De motu corporum in gyrum* (1684), si legge:

Caeterum projectilium motus in aere nostro referendi sunt ad immensum et revera immobile coelorum spatium, non ad spatium mobile quod una cum terra et aere nostro convolvitur, et a rusticis ut immobile spectatur. Invenienda est Ellipsis quam projectile describit in spatio illo verè immobili et inde motus ejus in spatio mobili determinandus (Newton 1648, c. 51r; Newton 1974 p. 80).

Nello stesso passo sono citati gli esperimenti sulla deviazione dei gravi in caduta, proposti da Newton e condotti da Hooke in prova del moto di rotazione della Terra, e che erano stati il grimaldello dell'indagine sul sistema del mondo:

Hoc pacto colligitur grave, quod de aedificii sublimis vertice demittitur, inter cadendum deflectere aliquantulum a perpendiculari, ut et quanta sit illa deflexio et quam in partem. Et vicissim ex deflexione experimentis comprobata colligitur motus terrae. Cum ipse olim hanc deflexionem Clarissimo Hookio significarem, is experimento ter facto rem ita se habere confirmavit, deflectente semper gravi a perpendiculari versus orientem et austrum ut in latitudine nostra boreali oportuit (Newton 1648, c. 51r; Newton 1974, p. 80).

Il fatto poi che la meccanica celeste di Borelli abbia influenzato Hooke e Newton, è testimoniato dallo stesso Newton, che nel *De mundi systemate*, terzo libro dei *Principia*, lo cita tra i suoi predecessori e nella corrispondenza con Halley gli attribuisce una priorità su Hooke, riferendosi alla memoria sui pianeti medicei in cui una teoria generale è presentata con modestia all'interno di uno scritto occasionale: «[Hooke] has published Borell's Hypothesis in his own name [...] Borell did something in it and wrote modestly, he [Hooke] has done nothing and yet written in such a way as if he knew [...]» (Newton a Halley, 20 giugno 1686) (Newton 1960, pp. 437-438).

Bibliografia

- Angeli (degli) S. (1667). *Considerationi sopra la forza di alcune ragioni fisicomatematiche, addotte dal M.R.P. Gio. Battista Riccioli ... contro il sistema copernicano etc.* Venezia: Bortolo Bruni.
- Angeli (degli) S. (1668). *Seconde considerationi etc.* Padova: M. Bolzetta de Cadorini.
- Borelli G. A. (1667). *De vi percussionis liber.* Bononiae: ex Typ. Jacobi Montij.
- Borelli G. A. (1668). *Risposta di Gio. Alfonso Borelli messinese matematico dello Studio di Pisa ... alle considerazioni fatte sopra alcuni luoghi del suo Libro della forza della percossa del R.P.F. Stefano de gl'Angeli ... all'illustrissimo ... Michel Angelo Ricci.* [Messina]: [s. n.], [dopo il 29 febbraio 1668].
- Borgato M.T. (2011). *La traiettoria dei gravi nella polemica tra Borelli, Angeli e Riccioli*, in Pepe L. (a cura di), *Galileo e la scuola galileiana nelle Università italiane del Seicento*. Bologna: Clueb (CISUI Studi, 14), pp. 263-291.
- Borgato M.T. (2014). “Gli esperimenti di Giambattista Riccioli sulla caduta libera e il pendolo”. *Giornale di Fisica*, 55(4), pp. 267-295.
- Galluzzi P. (1977). “Galileo contro Copernico: Il dibattito sulla prova ‘galileiana’ di G.B. Riccioli contro il moto della Terra”. *Annali dell’Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, 2, pp. 87-148.
- Koyré A. (1955). “A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton”. *Transactions of the American Philosophical Society*, 45(4), pp. 329- 395.
- Manfredi M. (1668). *Argomento fisicomatematico del padre G.B. Riccioli ... contro il moto diurno della Terra ecc.* Bologna: Emilio Maria e fratelli de’ Manolessi.
- Newton I. (1648). *De motu corporum in gyrum* [online]. URL: <<https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-03965/>> [data di accesso: 28/03/2022].
- Newton I. (1960). *The correspondence of Isaac Newton*, ed. by H.W. Turnbull, Vol. II (1676-1687). Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton I. (1974). *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol. VI (1684-1691). Cambridge: Cambridge University Press.
- Riccioli G.B. (1651), *Almagestum Novum Astronomiam Veterem Novamque complectens.* Bononiae: Typ. Victorij Benatij.
- Zerilli D. (1668). *Confermazione d’una sentenza del sig. Gio: Alfonso Borelli.* Napoli: Cavallo.

Understanding, Disseminating, and Interpreting Kepler: The Role of Giovanni Battista Riccioli and the Law of Orbits

Flavia Marcacci - Pontifical Lateran University - flaviamarcacci@gmail.com

Abstract: In his *Histoire de l'astronomie moderne* (II, 1785, p. 211), J. Bailly argued that the Jesuit astronomer Riccioli had not understood Kepler's laws. This has been questioned (Russell 1964) and deserves consideration. Kepler's astronomy must have been known in Jesuit circles and Riccioli could have studied it. He played a role in the comprehension and dissemination of Kepler's works, at least in the Italian context. Riccioli seriously discussed Kepler's *Epitome astronomiae copernicanae* in his *Almagestum novum*, and he gave Kepler more importance than Copernicus or Galilei. In this paper, we will see how Riccioli understood and used Kepler's first law. Particularly, Riccioli well explained how Kepler solved the variability of planetary motion and how he described the planetary trajectories by the half division of eccentricity. We will show how Riccioli integrated the ellipse in his geometrical model of cosmos.

Keywords: Kepler, Riccioli, *Epitome astronomiae copernicanae*, *Almagestum novum*, planetary laws, law of orbits.

1. Introduction

Could a geo-heliocentrist have used Kepler's law of ellipses? A geo-heliocentrist who understood Kepler could become a heliocentrist; alternatively, he could remain a geo-heliocentrist, by somehow reducing the law of the ellipse to that of the circle. This is what the Jesuit astronomer Riccioli did. He exposed the Kepler's laws of planetary motion and used them to elaborate an intermediate model between Brahe's and Copernicus' solutions.

Nevertheless, some scholars have thought that Riccioli did not use Kepler's astronomy or that he did not give it too much importance. A systematic and complete critical-philological study of the Jesuit's works is still lacking. Some elements make Riccioli's writing particularly challenge. Such as, the erudite and richly articulated way of proceeding, the deeply informed argumentation, and the elegant prose at times involute and cryptic. It was not uncommon to express general judgments based on a limited reading of the texts.

The same happened with Riccioli's reception of Kepler. In this paper, we focus on analyzing only the ellipse law for reasons of space. We will consider the pages dedicat-

ed to the law of ellipses from his key astronomical work, *Almagestum novum* (1651), and briefly mention *Astronomia reformata* (1665), to which other scholars have paid minimal attention. The aim is to provide a reflection on the 450th anniversary of Kepler's birth and the 350th anniversary of Riccioli's death.

2. Traces of Kepler in Jesuit circles

From the 1630s, for about twenty years, Kepler's *Epitome astronomiæ copernicanae* (III vol, 1618-1621) circulated and was certainly read in Germany, but also in France, Holland, Belgium, and Italy (Bussotti 2011, Bucciattini 2007). In this work, Kepler enunciates and clearly illustrates the content of three empirical relationships, then usually known as "Kepler's Laws": the first law or law of ellipses, which states that a planet travels an elliptical path during its period of revolution around the Sun, which occupies one of the foci; the second law or area-law, according to which the radius vector joining the center of the planet to the center of the Sun sweeps out equal areas in equal lengths of times; the third law, which states that the square of the period of revolution of a planet and the cube of its average distance from the Sun are directly proportional.

Astronomers took time to accept the work of Kepler. In particular, the use of ellipses was not common, while the geometry of the circle was well known. Moreover, the differences between predictions made using circular or elliptical models were not noteworthy. For similar reasons, Riccioli was reluctant to convert to the method of ellipses, though he eventually made use of it. Kepler's ellipses came to Riccioli through an intermediary: Ismael Bullialdus (Boulliau, 1605-1694), a French priest converted to Catholicism. In 1645 Boulliau published the *Astronomia philolaica* and decided to adopt the ellipses by studying the observations of Gassendi on the motion of Mercury. Boulliau believed that elliptical motion depends not on particularly attractive or repulsive forces but on the elliptical shape itself. Boulliau's work circulated in England and was an essential reference for Seth Ward (1653, 1656) and Thomas Streete (1661).

The second reception line of Kepler's work in Riccioli was in the Jesuit milieu. The Jesuits held Kepler in high esteem and his studies in high regard. Besides, Kepler was also sympathetic to some members of the Jesuit order and, in some cases, he felt at liberty to ask for support and advice during times of professional and economic hardship (Schuppener 1997). On the other hand, Kepler kept up an almost regular correspondence with various Catholic figures (1553-1622; see Schuppener 1997; see also Caspar, Dyck, 1930). Although with a Protestant background, Kepler did not have many preconceptions or other difficulties, since his family had various religious representatives, including a Jesuit uncle. Thus, despite their Counter-Reformation activities, he had no problem asking the Jesuits in Graz for help when he moved to this city (Caspar 1993). The benevolence of Jesuits towards Kepler was undoubtedly due to scientific esteem towards the astronomer, but some biographers have assumed (Hoppe 1987, p. 28) that they wanted the German scientist to convert to Catholicism, given the importance of astronomy for theology. Finally, Kepler himself probably also felt the cul-

tural influence of the prestigious Jesuit college Clementinum in Prague (active until 1654), the city where he lived for 12 years (Schuppener 2021).

In any case, this is just conjecture. There is, however, a further fact of greater importance. Kepler was a correspondent of Paul Guldin (1577-1643), a Swiss Jesuit and mathematician who died in Graz in 1623 and was known for his work on rotational solids. Eleven letters from Guldin to Kepler survive, dated between 1618 and 1628, while those from Kepler to Guldin seem untraceable. They deal with many subjects: astronomy and theology and economic affairs or requests by Kepler for references for publications. Guldin, well seen at the Viennese court, could help Kepler.

The fame of Guldin as a mathematician is undoubted.¹ Riccioli mentioned him when he dealt with mathematical matters. Probably the Jesuits of the College of Bologna had exchanges with the Graz friars and Riccioli was also thinking of them when he introduced Kepler's laws in the *Almagestum novum*: the astronomer Guldin had had exchanges with and – in some way – must have left his mark among the friars of Graz.

3. Did Riccioli understand Kepler?

For a long time, it was believed that Riccioli had not understood Kepler's laws. The French astronomer and mathematician Jean-Sylvain Bailly (1736-1793) made the following remark in his *Histoire de l'astronomie moderne depuis la fondation de l'école d'Alexandrie, jusqu'à l'époque de MDCCLXXXII* (1779-1782, II, 1779, p. 210-211):

M. De Montucla a remarqué qu'un grand nombre d'astronome célèbres de ce temps, tels que Bouillaud, Riccioli lisoient Kepler et ne l'entendoient pas. On ne connoissoit de ses loix que celle qui fait marcher les planetes dans une ellipse; les autres étoient oubliées. Riccioli, ni Bouillaud, ne parlent point de la loi des aires décrites autour du foyer, et proportionnelles aux tems. C'est donc envain qu'on découvre des vérités; on parle à ses contemporains, ils n'écoutent pas. La supposition d'Albert Curtius étoit plus facilement saisie, parce qu'elle se rapprochoit de celle de Ptolémée; le second foyer, qui voit la planete se mouvoir uniformément, ressembloit au centre de l'équant de Ptolémée. Ces idées anciennes revenoient si facilement que Bouillaud, après avoir adopté la route elliptique, décrit cette route par la combinaison de deux mouvemens, l'un de la planete dans un épicycle, l'autre de l'épicycle sur un excentrique. Il semble n'être d'accord avec Kepler que pour les apparences, et dans le fait il conservoit toute la complication des vieilles hypothèses. Bouillaud, sans avoir compris ce grand homme, osoit cependant le censurer, et lui reprocher de passer de la géométrie à la physique, comme de la lumière aux ténèbres; et lui-même Bouillaud, avec ses constructions géométriques, également idéales et fausses, croyoit avoir produit nue hypothèse physique. La véritable lumière est la cause réelle et sensible qui fonde ces constructions, sans quoi l'esprit n'y que son ouvrage, mais la nature n'y est pas.

¹ In Paolo Casati, *Terra machinis mota* (1658), Guldin discusses terrestrial motions with Galileo and Marin Mersenne.

Like Jean-Étienne Montucla (1725-1799),² Bailly was critical of those famous astronomers, such as Boulliau or Riccioli, who had read Kepler “without listening to him”. The only Kepler’s law they knew was the one that “makes the planets walk along an ellipse”, while they did not know the other two laws.

This is the only mention of Riccioli. While harshly criticizing and highlighting the errors, the French mathematician celebrated Boulliau for his inventiveness and gave him the idea of reducing the ellipse to the circle before Seth Ward (1617-1689), usually acknowledged as the father of this innovative practice. Bailly also alluded to German Jesuit Albert Curtz (Curtius, 1600-1671, acronym Lucius Barretus) as the first to develop this idea (Bailly 1779, p. 212). He then mentioned Jeremiah Horrox (1618-1641), Seth Ward, Nicolas Mercator (1620-1687), the English astronomer Thomas Streete (1621-1689), Vincent Wing (1619-1668), and Johannes Hevelius (1611-1687). However, Bailly’s accusation of Boulliau and Riccioli carrying on a tone-deaf dialogue with contemporaries was improper, if not unfair. Bailly grasped that finding the physical cause (“la cause réelle et sensible”³) of the geometry of planetary motion was the central problem, but he was wrong to not consider that the same goal drove some non-Copernican astronomers, such as Riccioli.

It is remarkable that the same authors mentioned by Bailly recur and mention Riccioli respectfully. For example, Streete resorted to the data of the Jesuit and mentioned the *Almagestum novum* (*Lectori benevolent in Astronomia Carolina, a new theorie of coelestial motions*, Streete 1661/1705); Hevelius placed Riccioli around a table dominated by the figure of Urania, among astronomers, like Ptolemy, Tycho Brahe, Hevelius himself and Ulug Beg (Hevelius 1690, frontispiece). Besides, we could add other astronomers like Flamsteed, who resorted to the volumes of Riccioli and cited him on several occasions (Bailly 1835, passim), or Dopplermayr (1742, table III), to whom we owe the reproduction of his figure. For further information, I will refer to the report by Maria Teresa Borgato (2022, in this volume).

Such incongruities raise doubt about Riccioli’s unfamiliarity with Kepler: Riccioli actually quoted Kepler more than Copernicus and Galileo. Besides, if many authors refer to Riccioli, can Bailly’s judgment be well-founded, or is it only a form of criticism? The reference to the German Jesuit and astronomer Albert Curtz also raises suspicion. This Jesuit was among Riccioli’s collaborators. Nevertheless, Riccioli did not mention him when expounding on Kepler’s astronomy. Anyway, the reference to Curtz emphasized the hypothesis of Kepler’s connection with the German Jesuit context.

² Montucla commented in the following way in the 1st edition of *Histoire des mathematiques* (1758, vol. I, p. 254): “Riccioli, qui rapporte toutes les hypotheses astronomiques imaginées avant lui, semble n’avoir pas seulement soupçonné que Kepler soit croître les aires autour de la Planete centrale, en même rapport que les temps”. He goes on to say that Cassini was approximate. It is interesting that in the second enlarged edition (1799) the reference is no longer present.

³ Bailly 1779-1782, II, 1779, p. 211: “La véritable lumiere est la cause réelle et sensible qui fonde ces constructions, sans quoi l’esprit n’y que son ouvrage, mais la nature n’y est pas”.

4. Riccioli and Kepler's first law in the *Almagestum novum*

“On parle à ses contemporains, ils n'écourent pas”, wrote Bailly: Riccioli and Boulliau knew of the existence of the law of ellipsis but ignored the law of periods and the law of areas. John L. Russell refuted Bailly's judgment⁴ and stated that Riccioli understood and expounded the area law and the third law. In this way, the Jesuit contributed to the diffusion of Kepler. According to Russell, he did not employ ellipses in *Almagestum novum*, but he did so in *Astronomia reformata*. Alfredo Dinis (2017, pp. 176-177) referred fast that Riccioli understood the three laws, and he employed ellipses in *Almagestum novum* to describe the daily motion of the planets and their annual spiral orbit. Dinis then further examined how Riccioli employed ellipses in *Astronomia reformata* and explicitly mentioned them (2017, pp. 178-180). The two scholars do not discuss the way Riccioli treats the three laws, and we certainly cannot do so here analytically. Above all, we will provide a closer look at the use of the law of ellipses in the *Almagestum novum*: without this passage, the use of the ellipses in *Astronomia reformata* is unjustified.

In order to briefly explain Kepler's astronomy, Riccioli summarizes and comments on the pages of the *Epitome astronomiae copernicanae* (Riccioli 1651, vol. I, pp. 526-535) and reports what refers to the motion of Mars. This case illustrates well the complex motions of the superior planets. Kepler himself mentioned the despairing judgment of Rheticus on Mars (Riccioli 1651, vol. I, p. 497).

According to Riccioli, there are two crucial problems. The first is the nature of the variability of planetary motions: according to some people, this extreme variability is real, according to others it is apparent, and according to others still it is partly real and partly apparent. This problem deserves a solution. Kepler had taught to look for a “physical” cause: if the superior planets (especially Saturn) seem slower than the inferior ones, he supposed that this depends on the distance from the Sun. Riccioli judged the supposition reasonable. Nonetheless, also the Tychonic system explained the motion of planets, by considering the Sun the center of the revolution and the Sun-Earth distance.

The second question concerns how to process the eccentricity. Kepler knew that the planets with the greatest eccentricity were Mercury and Mars. The former, however, is too close to the Sun making it challenging to record a sufficient number of observa-

⁴ Russell 1964, 15: “In Italy there was little interest in Kepler during the 1640's; most astronomers apparently ignored his ideas completely. However, in 1651, the Jesuit astronomer, G.B. Riccioli, made an important contribution to the spread of Kepler's theories in *Almagestum novum* [...]. This was a very complete work on astronomy which gave by far the most detailed exposition of these theories to be found anywhere outside the *Epitome*. He was one of the few who gave the area law in its exact form (Vol. I, p. 531) and he also clearly stated the third law (II, p. 532). The *Almagestum novum* was widely read throughout Europe and must certainly have helped to spread a knowledge of the laws. Riccioli himself was anti-Copernican and did not, at that time, accept ellipses, but his exposition of Kepler's views was admirably objective and impartial. Later, in *Astronomia reformata* (Bologna, 1665) he did come round to the use of ellipses in practice, though never convinced of their theoretical validity. He remarked incidentally, in his latter work, that ‘from the time of Kepler all the followers of Copernicus have accepted [...] the ellipse in place of the eccentric circle’. This is an exaggeration, since neither Galileo nor Landsberg used ellipses, but it had probably been substantially true for at least 20 years before he wrote”.

tions. For this reason, it was better to choose Mars,⁵ a planet with harmful influences but hopefully favorable to astronomers.

Ancient astronomy connected the two problems. Ptolemy split eccentricity when he introduced the equant, while Copernicus kept it whole and did not take the equant. From the way of treating eccentricity derives the way of treating the real inequalities (physical effect) or apparent inequalities (optical effect) of planetary motion.. Planets move on paths with various centers and eccentricity and with variable velocity. Referring to the Figure 1, let be A the eccentric point with eccentricity AB: the point D's velocity seems variable if observed from A because of the variation of its distance (optical effect). Let C be the equant point with eccentricity BC: D moves with uniform angular speed about C, so that D physically varies its velocity along its circular path (physical effect). In the Earth-centered system, Earth rests in A and D is the center of the planet's epicycle. In the Sun-center model, the mean Sun (i.e., a fictitious body that moves uniformly on a circle centered at the Earth) is in A and D is the planet. In both cases, the total eccentricity is $AB + BC$. Therefore, the two inequalities are detectable in heliocentric and geocentric systems and applied in different geometrical models. In a geocentric system, assuming the uniform motion as a benchmark, the maximum variability of planetary motion is due to the sum of the two eccentricities $AB+BC$. Ptolemy bisected the eccentricity. According to Tycho, the bisection of the eccentricity ($AB=BC$) did not clearly explain well the planetary longitudes near the opposition, and he preferred the ratio 5:3. Kepler ran a little this value (the famous "vicarious hypothesis" for Mars) but after he turned back the equant point with bisected eccentricity.

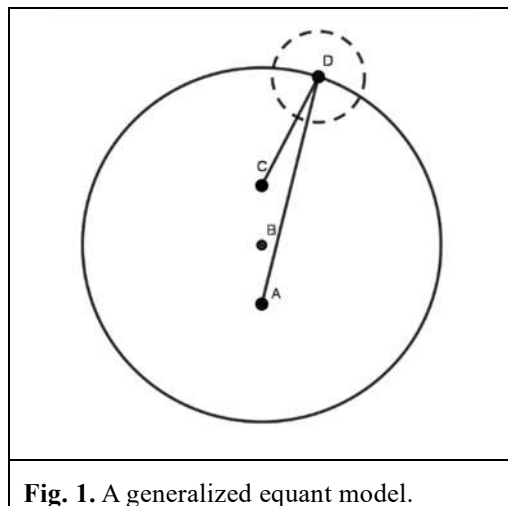


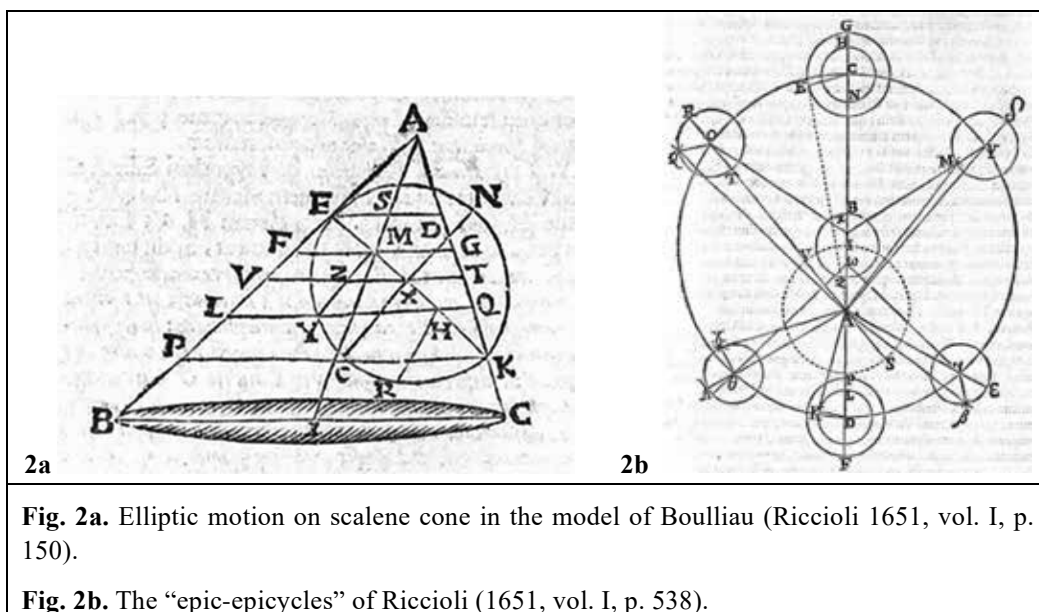
Fig. 1. A generalized equant model.

Riccioli judged the Kepler's hypothesis to be new: the irregularities were apparent, and the motion of the Earth was natural, as the elliptical motion of planets was real ("[...] secundam quidem inaequalitatem Opticam esse, et à motu Telluris admissit, sed primam totam Physicam esse ac realem asseruit", Riccioli 1651, p. 526). The planets made une-

⁵ Ptolemy himself introduced the equant by working on the motion of Mars. See Evans 1998, pp. 357-8.

qual arcs in equal times (“inaequales arcus temporibus aequalibus”) and the irregularity was “apparent”. However, the planets, including the Earth, made their journey around the Sun along an ellipse where the Sun was one of the two foci: Kepler taught that the eccentricity was halved. Riccioli alluded to the first law and quickly to the second, reporting the problem of areolar velocity variability and referring to the law of ellipses. Thus, Riccioli considered Saturn. Its apsidal line passed through the center of the true Sun (i.e., not the mean Sun) and its low velocity facilitated the evaluation of the relationship between it and the distance from the Sun. True opposition or conjunction of the planet with the Sun and true or apparent solar motion concur to explain irregular trajectories. Thus, the planet’s path is along an oval or elliptical line and the deferent of that orbit is not a perfect circle but an ellipse. Anyway, Riccioli introduced Boulliau’s method before Kepler’s one. Boulliau decomposed the ellipse into two circles. It was a practical device to aid those astronomers of the time predisposed to the use of the circle. Like Kepler, therefore, Boulliau found a clever way to explain the first anomaly: he distributed the planet’s mean motion either on the two foci or more generally with respect to the center of the ellipse. For the second inequality, Riccioli deemed it interesting to refer the planetary motion to the Sun as its physical cause. Both Kepler and Boulliau, however, were responsible for many inaccuracies and approximations. After all, even for Tycho Brahe it was not easy to make calculations that demonstrated the motion of the Earth, and he adopted a different solution.

Continuing his examination of the law of ellipses, Riccioli first confirmed the method of Boulliau: valid elliptical orbits existed only if the planet described trajectories on a scalene cone – excluding the sphere, elliptical spheroids, parabolic or hyperbolic solids, cylinders – on which were found ellipses through secant planes. In this way, ellipses were equal. But the ellipses must be unequal to describe planetary motions and adapt to observations (Fig. 2a).



2a

2b

Fig. 2a. Elliptic motion on scalene cone in the model of Boulliau (Riccioli 1651, vol. I, p. 150).

Fig. 2b. The “epic-epicycles” of Riccioli (1651, vol. I, p. 538).

Lastly, Riccioli's solution follows in *Almagestum novum* (Fig. 2b) (Marcacci 2017). According to him, the decomposition of elliptical motions into circular motions allows one to obtain the same results as Kepler: both eccentric and epicycles are variable, and the Earth-Sun distance determines the calculation of the distances between the planet and the Earth. The diurnal and annual motion of the planets is shaped as a spiral, as all celestial bodies. A is the center of the world, which is the Earth. The eccentricity variation depends on the oscillation of the eccentric point x along the diameter BZ (center I), which contains the eccentricity anomaly. This variation causes the variability of the distance between Earth, the planet and Sun (AS) during the year. The maximum eccentricity of the motion is in B, the minimum eccentricity is in Z. GH is the maximum interval within which the amplitude of the loops ("spiras et laxiores") varies. S and V are the opposition and conjunction points for a Sun-planet system. CxO is the mean anomaly of the eccentric, which causes the "physical effect". OAC is the true anomaly of eccentric, which causes the "optical effect". Besides, the eccentricity variation solves the first inequality; the epicycle variation solves the second inequality.

A long series of variable elliptical and spiral motions result from this circle geometry, perfectly adaptable to observations. Riccioli added other technical elements to explain what he called the "epic-epicycles" mechanism, and then in *Astronomia reformata* he explicitly named them ellipses. In particular, he applied ellipses to the study of the motion of the Sun without converting to heliocentrism. The work done in *Almagestum novum* was the indispensable premise for what was done in *Astronomia reformata*. Here Riccioli referred to G. Cassini and his sundial in the San Petronio Church which confirmed the variable speed of the Sun (Riccioli 1665, p. 6; Mutus 1664; Cassini 1695, p. 11; see Heilbron 1999, p. 101-119; Bònoli, Braccesi 2001; Bònoli 2005).

5. Conclusions

Riccioli was able to understand Kepler. He made that clear in his *Almagestum novum*. This book undoubtedly circulated widely and was well known at his time. He contributed to spreading Kepler's astronomy and facilitated its understanding by transcribing Kepler's laws according to the laws of the circle, simple to use for professional astronomers.

Riccioli did not hide his admiration for simplicity the geometry and kinematic consequences of Kepler's laws. Nevertheless, he neither understood why one of the two foci should remain empty, nor the center of the ellipse (see Dinis 2017, 176). He also accused Kepler of lacking a physical explanation for the opposite motions of the Sun (the daily westwards motion, the annual eastwards motion).

Even if both astronomers strove for innovation, they followed diverging perspectives. While Kepler sought novelties (*Astronomia nova*), Riccioli adapted novelties to ancient methods (*Almagestum novum*, *Astronomia reformata*). On the one hand, Kepler appears as a scientist bent on discovery and creating new scenarios and interpretative models. On the other hand, Riccioli acted as the scientist seeking to justify and adapt

existing theories. Someone claimed that the Kepler's third law was an expression of the *a priori* method and a metaphysical justification not based on observation (Regier 2013). Riccioli rejected the Copernicans' *a priori*, who made the case for a model without providing physical grounds (Marcacci 2018, pp. 152-155). Tellingly, Riccioli's astronomy and his "epic-epicycles" method were an expression of an *a posteriori* astronomy that saved phenomena. After saving phenomena, Riccioli planned to combine geometry and the philosophy of nature (Marcacci 2018, pp. 185-203). His geoheliocentric use of ellipses was not followed and the age of intermediate systems soon came to an end.

References

- Bailly J.-S. (1779-1782). *Histoire de l'astronomie moderne depuis la fondation de l'école d'Alexandrie, jusqu'à l'époque de MDCCLXXXII*. À Paris: chez les frères de Bure, 3 voll. (vol. II: 1779).
- Bailly F. (1835). *An Account of the Revd. John Flamsteed. The first Astronomer-Royal, compiled from his own manuscripts, and other authentic documents, never before published*. London: Printed by order of the Lords Commissioners of the Admiralty.
- Bònoli F. (2005). "350 anni della grande meridiana di Cassini in San Petronio". *Giornale di Astronomia*, 43 (1), pp. 101-127. 59-68.
- Bònoli F., Braccesi A. (2001). "Les recherches astronomiques de Gio. Domenico Cassini à Bologne: 1649-1669", in P. Brouzeng et S. Débarbat (sous la dir. de), *121^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques "Sur les traces des Cassini: astronomes et observatoires du sud de la France"* (Nice, 26-31 Octobre 1996). Paris: Éditions du CTHS, pp. 101-127 and 209-211.
- Boulliau I. (1645). *Astronomia philolaica opus novum*. Parisiis: Sumptibus Smeonis Piget.
- Bucciantini M. (2007). *Galileo e Keplero. Filosofia, cosmologia e teologia nell'Età della Controriforma*. Torino: Einaudi.
- Bussotti P. (2011). *The circulation of Kepler's cosmological ideas in Italy during Kepler's lifetime*, in Mehl, É, Roudet N., *Kepler: la physique celeste. Autour de l'Astronomia Nova (1609)*. Paris: Les Belles Lettres 2011, pp. 209-229.
- Casati P. (1658). *Terra machinis mota*. Romae: ex typographia Ignatij de Lazaris.
- Caspar M. (1993). *Kepler*, edited by C.D. Hellmand, O. Gingerich, A. Segonds, translated by C.D. Hellman. New York: Dover Publications.
- Caspar M., Dyck W. (von) (ed.) (1930). *Johannes Kepler in seinen Briefen*, vol. 1 and 2. München, Berlin: Verlag von R. Oldenbourg.
- Cassini G. D. (1695). *La meridiana del tempio di S. Petronio*. Bologna: Benacci.
- Dinis A. (2017). *A Jesuit Against Galileo? The Strange Case of Giovanni Battista Riccioli Cosmology*. Braga: Axioma- Publicações da Faculdade de Filosofia.
- Dopperlmayr J.G. (1742). *Atlas Coelestis*. Norimbergae: Sumptibus Heredum Homannianorum.

- Evans J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Heilbron J. L. (1999). *The Sun in the Church. Cathedrals as Solar Observatories*. Harvard: Harvard University Press.
- Hevelius J. (1690). *Prodromus astronomiae*. Gedani: typis Johannis-Zachariae Stollii.
- Hoppe J. (1987). *Johannes Kepler*, Teubner Verlagsgesellschaft: Leipzig 1987 (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, vol. 17).
- Kepler J. (1618-1621). *Epitome astronomiae copernicanae*. Lentijs ad Danubium [Linz]: excudebat Johannes Plancus.
- Marcacci 2017. *All the planets are related to the Sun. Riccioli and his “spiralized” skies*, in B. Campanile, L. De Frenza, A. Garuccio (eds.), *Atti del XXXVII Convegno annuale (Proceedings of the 37th Annual Conference) SISFA – Bari 2017*. Pavia: Pavia University Press, pp. 101-106.
- Marcacci F. (2018). *Cieli in contraddizione. Giovanni Battista Riccioli e il terzo sistema del mondo*. Modena-Perugia: Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti di Modena - Aguaplano L’Officina del Libro.
- Montucla J.É. (1758). *Histoire des Mathématiques*. Paris: A. Jombert, 2 voll. (2nd ed. 1799, Paris: H. Agasse).
- Mutus S. (1664), *Dialogus contra duas hic transcriptas epistolas nuper editas in Prodromum Francisci Leueræ*. Romae: typis Angeli Bernabò.
- Riccioli G.B. (1651). *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens*, 2 voll. Bononiae: Ex Typographia Haeredis Victorij Benatij.
- Riccioli G.B. (1665). *Astronomiae reformatae tomi duo*. Bononiae: ex Typographia Haeredis Victorij Benatij.
- Regier J. (2013). “Method and the a priori in Keplerian metaphysics”. *Journal of Early Modern Studies II*, 1, pp. 147–162.
- Russell J.L. (1964). “Kepler’s Laws of Planetary Motion: 1609-1666”. *The British Journal for the History of Science*, 2 (1), pp. 1-24
- Schuppener G. (1997). “Kepler’s relation to the Jesuits. A study of his correspondence with Paul Guldin”. *NTM International Journal of History & Ethics of Natural Sciences Technology & Medicine*, 5 (1), pp. 236-244. doi: 10.1007/BF02913670.
- Streete T. (1661). *Astronomia Carolina: a new theorie of the coelestial motions*. London: Printed for Lodowick Lloyd (latin translation by J.G. Doppelmayr: *Astronomia carolina, nova theoria cum motuum coelestium*. Noribergæ: sumtibus Andreae Ottonis Bibliopolæ, 1705).
- Ward S. (1653). *In Ismaelis Bullialdi astronomiae philolaicae fundamenta, inquisitio brevis*. Oxford: L. Lichfield.
- Ward S. (1656). *Astronomia geometrica*. London: Jacob Flesher.

Representing the Truth: The Case of a Jesuit Astronomer and a Jesuit Polymath

Ivana Gambaro - Università di Genova - ivana.gambaro@unige.it

Abstract: “It is a grave error to believe that our mental representations of the truth are unique as if several different images could not be exhibited of a single statue” (Lana de’ Terzi, 1684). This eclectic epistemology was shared by several Jesuit *confrères* in the second half of the 17th century. I will discuss the case of G.B. Riccioli and that of A. Kircher. With the exception of his beloved proof of the immobility of the Earth, the *argumentum physicum-mathematicum*, in his *Almagestum novum* the former often seemed to draw inspiration from a similar criterion, without however evoking it openly. As in the case of the locations and trajectories of comets, or of new stars’ locations, or for the semi-dark light observed at the new moon etc. The latter described his cosmology and his astronomical and philosophical theses in his *Itinerarium extaticum*, albeit through an imaginary journey characterized by an ecstatic dimension with echoes of Cusan and Brunian cosmology. In the background stood out the “Revisori Generali” and the *Ordinatio pro studiis superioribus* (1651), which attempted to impose guidelines that were to be strictly followed by Jesuit scholars. The difficult balance between one’s *curiositas* towards the natural world on the one hand, and the theological tradition and the pervasive influence of the superior authorities of the Order on the other, could result in contradictory outcomes.

Keywords: 17th century Astronomy, A. Kircher, G.B. Riccioli.

1. La verità può essere rappresentata?

La questione del realismo è strettamente legata alla quasi totalità delle problematiche della filosofia della scienza. Il realismo scientifico comporta la credenza negli aspetti osservabili e inosservabili del mondo così come ci viene descritto dalle scienze. La concezione che gli si contrappone, lo strumentalismo, assume che le teorie scientifiche non siano che strumenti volti a rappresentare e prevedere fenomeni osservabili, e nelle sue varie declinazioni e intersezioni con altre correnti filosofiche ha animato il dibattito epistemologico novecentesco alla luce di contributi rilevanti emersi nelle scienze fisiche. Così agli inizi del secolo Poincaré scriveva:

Peu nous emporte que l'éther existe réellement, c'est l'affaire des métaphysiciens : l'essentiel pour nous c'est que tout se passe comme s'il existait et que cette hypothèse est commode pour l'explication des phénomènes. Après tout, avons-nous

d'autre raison de croire à l'existence des objets matériels ? Ce n'est là aussi qu'une hypothèse commode ; seulement elle ne cessera jamais de l'être, tandis qu'un jour viendra sans doute où l'éther sera rejeté comme inutile (Poincaré 1902, pp. 245-246).

Già nel secolo della Rivoluzione Scientifica molti *savants* espressero le loro convinzioni in ambito epistemologico. Se Newton scrisse «Delle cose naturali non devono esser ammesse cause più numerose di quelle che sono vere e sufficienti a spiegare i fenomeni. La natura è infatti semplice e non è prodiga di cause superflue» (Newton 1687, p. 402), altri studiosi diversamente affrontarono la questione, come il gesuita Francesco Lana de' Terzi: «È un grave errore ritenere che la nostra rappresentazione mentale della verità sia unica, assumendo che la verità stessa possa esser rappresentata, come se in realtà di un'unica statua non si possano esibire più immagini/rappresentazioni diverse» (Lana de' Terzi 1684, *Auctor lectori*).

Analizzando alcuni aspetti della produzione scientifica di due esponenti di spicco della Compagnia di Gesù, Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) e Athanasius Kircher (1602-1680), prenderò in considerazione le questioni di carattere metodologico ed epistemologico sottese alle loro attività di ricerca e alle loro pubblicazioni.

2. G.B. Riccioli e le ipotesi probabili

A 350 anni dalla morte la figura di Riccioli è stata analizzata in numerosi contributi a questo convegno. Teologo, matematico, astronomo, appartenente alla Compagnia di Gesù, attivo tra Parma e Bologna, pubblicò nel 1651 l'*Almagestum novum*, una ponderosa opera *in folio* suddivisa in due volumi (*pars prior* e *pars posterior* del primo tomo) per 1500 pagine circa in totale.

Come è stato ricordato, egli era paladino del geocentrismo avendo proposto un modello geo-eliocentrico con la Terra immobile al centro del mondo che presenta alcune varianti rispetto a quello di Tycho Brahe. In particolare, il tema della caduta dei gravi in relazione alla controversia cosmologica geocentrismo vs eliocentrismo è stato approfonditamente analizzato da Borgato (Borgato 2022). Le risultanze dei numerosi esperimenti, condotti dall'astronomo bolognese dalla Torre degli Asinelli a Bologna, confermavano la legge di caduta galileiana e fornivano una buona approssimazione dell'accelerazione di gravità, ma erano da Riccioli curiosamente interpretate come conferma dell'immobilità della Terra. Qui egli non dava spazio al dubbio: il suo *argumentum physico-mathematicum* era risolutivo. Secondo le sue argomentazioni il moto della Terra avrebbe dovuto comportare per i gravi in caduta libera un moto a velocità costante, l'osservazione sperimentale confutava ciò e pertanto la Terra era immobile al centro del mondo. La Sacra Congregazione dei Cardinali, in occasione della condanna di Galilei, aveva decretato che il Sole si muove e la Terra è in quiete e, per quanto ciò non fosse ancora articolo di Fede, Riccioli osservava: «la prudenza e l'obbedienza ci obbligano ad accettare tali decreti e a non insegnare nulla che sia contrario» (Riccioli 1651, 1, p. 52). La sua trattazione delle prove a favore o contro la

mobilità della Terra è certamente l'analisi dei sistemi del mondo più articolata e argomentata di tutto il secolo.¹ Tuttavia, egli non comprendeva e non accettava il principio di composizione dei moti, dunque le sue prove a favore del modello geocentrico, e in particolare il suo *argumentum*, presentavano numerose fragilità. Tanto che autorevoli suoi confratelli, A. Tacquet, H. Fabri, C.F. Millet Dechaes, furono molto critici riguardo alle dimostrazioni da lui proposte contro la mobilità della Terra ritenendole dei puri paralogismi, e conseguentemente invocando l'autorevolezza delle Sacre Scritture per sostenere le tesi geocentriche (Gambaro 2021).

Su altri temi la posizione dell'astronomo bolognese è ben diversa, nettamente più prossima all'orientamento delineato da Lana de' Terzi. Riccioli scrisse di voler separare il certo dal probabile e il certo dall'incerto, e argomentò intorno ai quattro gradi di evidenza nella filosofia naturale: la metafisica, la matematica, la fisica e la morale, accordando alle prime due il maggior grado di certezza (Riccioli 1651, 2, p. 419), tuttavia in molte occasioni si espresse in termini assai prudenti, anche per incontrare le richieste dei Censori romani e gli orientamenti emersi nell'*Ordinatio pro studiis superioribus* (1651) ove erano raccolte le direttive stabilite dai Revisori Generali atte a controllare i testi dati alle stampe da esponenti dell'Ordine e gli argomenti insegnati nei Collegi (Gambaro 1989, p. 70, Feingold 2003). Quando la questione investiva il modello cosmologico le sue tesi erano nette e prive di ambiguità, se invece l'argomento trattato apparteneva ad altro ambito e poteva condurre a contraddizioni con la tradizione aristotelico-tomista, Riccioli si esprimeva con molta prudenza e faceva proprio l'approccio probabilistico ed eclettico. Qui farò qualche sintetico riferimento ad argomenti tratti dall'*Almagestum novum*.

Il tema del lume secondario della Luna, cinereo o rossastro, nei noviluni o durante le eclissi di Sole è trattato nel "De luce secundaria Lunae prope novilunia" (Riccioli 1651, 1, pp. 199-203). Cinque sono le teorie discusse e tre in modo più approfondito. Il lume poteva esser dovuto alla penetrazione del corpo semidiafano della Luna da parte dei raggi solari (terza ipotesi dovuta a E.C. Witelo e C. Scheiner), oppure alla luce solare riflessa dalla Terra (quarta ipotesi avanzata da G. Galilei, J. Kepler, P. Gassendi), o infine alla materia fosforescente di cui poteva esser costituita la Luna, simile al *Litheosphorus* o pietra di Bologna (quinta ipotesi proposta da F. Liceti). Le parole di Riccioli sono ispirate al probabilismo: «considerate pertanto tutte queste ipotesi, la mia opinione è che la proposta di Liceti è ingegnosa, ma la terza spiegazione non è improbabile, e la quarta è molto più probabile», per optare infine a favore della quinta ipotesi (Riccioli 1651, 1, p. 201).

Quanto alla natura delle comete o alla loro collocazione, egli le analizza nel Libro VIII, Sezione I (Riccioli 1651, 2, pp. 2-130). Sono aggregati di stelle, esalazioni terrestri o composte da materia celeste? sono create *ex nihilo* o a partire da materia pre-esistente? sono collocate nel mondo sublunare o in quello sovralunare? le cause del loro moto sono da riferirsi all'azione degli angeli (come per altri corpi celesti)? In riferimento alla loro collocazione sia sufficiente qui richiamare le conclusioni del gesuita: «Non è stato dimostrato con assoluta certezza che le comete siano sopra la Luna, è solo un'ipotesi

¹ Egli analizza le prove a favore, 49, e quelle contro, 77, e vi dedica ben trecentoquarantatre dense pagine della *pars posterior* dell'*Almagestum novum* (Riccioli 1651, 2, pp. 193-535).

probabile ma incerta; [...] con dimostrazione matematica non è stato provato che siano al di sotto della Luna, è solo un'ipotesi probabile» (Riccioli 1651, 2, p. 119).

E nel Libro VIII, Sezione II (Riccioli 1651, 2, pp. 130-193), dopo aver analizzato tutte le teorie proposte dagli astronomi per definire la collocazione della Stella Nova osservata nel 1572-73, la questione non viene risolta con maggior chiarezza. Secondo Riccioli «è probabile che per tutto il tempo della sua durata fosse sopra la Luna, tuttavia è anche probabile che la stessa fosse sotto la Luna» (Riccioli 1651, 2, p. 165).

Le scelte probabilistiche, il metodo delle spiegazioni multiple nella filosofia naturale, adottato insieme a Riccioli da numerosi altri confratelli, corrispondeva alla scelta di “salvare le apparenze”. Le apparenze si salvavano dando un numero infinito di spiegazioni tutte parzialmente vere, ma nessuna conclusiva; tale metodo poteva suggerire l'inconcludenza di ogni argomentazione scientifica, in netto contrasto con la moderna concezione di causalità che si andava affermando. Dunque, in definitiva, come raggiungere la verità? Riccioli concludeva qualche anno dopo nell'*Astronomia Reformata*: «in ogni controversia in cui le ragioni opposte si equivalgono, la nostra scelta sarà per la posizione favorita dall'Autorità» (Riccioli 1665, p. 86). Possiamo avanzare l'ipotesi che le pressioni provenienti dai Revisori Generali e da altri organi di controllo abbiano influenzato le scelte del gesuita. Infatti durante la stesura dell'*Almagestum novum* Riccioli incontrò problemi con la censura romana, altri se ne presentarono nei suoi ultimi anni sia quando cercò di pubblicare un trattato teologico di cui l'Inquisizione non autorizzò la stampa, sia quando un secondo trattato teologico giungerà alle stampe, ma finirà immediatamente all'Indice.

Bailly ha scritto di lui: «S'il n'a pas atteint la hauteur de Kepler et de Galilée, il a remplacé des qualités sublimes par des qualités utiles ; il a eu le courage de tout lire, de tout connoître [sic], de tout embrasser pour tout montrer ; et en présentant un tableau complet de l'astronomie, il a mis les hommes à portée de s'instruire, de choisir mieux que lui» (Bailly 1785, p. 167).

3. Il viaggio immaginario e la cosmologia di Kircher

Athanasius Kircher, gesuita tedesco fuggito in Francia da Würzburg all'epoca della Guerra dei Trent'anni, giunge a Roma nel 1633 presso il Collegio Romano, preceduto da una fama ch'egli aveva ben saputo acquisire già a Aix ed Avignone. Esperto nel sapere matematico e nelle lingue orientali egli affermava di essere in possesso di «un manoscritto antico, redatto in arabo, contenente conoscenze antichissime, celate alla Cristianità da più di duemila anni» (Findlen 2004, p. 13), che gli avrebbe permesso di decifrare i geroglifici degli obelischi romani. L'interpretazione dei geroglifici, oggetto di pubblicazioni negli anni Cinquanta, in realtà di alcun valore scientifico, gli valse grande notorietà in Italia e in Europa e soprattutto la protezione di potenti esponenti della Chiesa romana.² Negli anni a seguire si occuperà di argomenti i più vari: alchimia,

² Mi riferisco all'*Obeliscus Pamphilius* (1650), e all'*Oedipus Aegyptiacus* stampato in tre volumi tra il 1652 e il 1655.

arte combinatoria, acustica, esegesi biblica, geologia e fossili, medicina, magnetismo, modelli cosmologici, ottica, sinologia, tecnologia (lanterna magica, strumenti musicali ecc.). Studioso del neoplatonismo e dell'ermetismo, appassionato di astrologia, cabala e mitologia, da consumato enciclopedista realizzerà una raccolta di reperti di storia naturale, animali deformati, oggetti curiosi, macchine idrauliche, dispositivi ottici, strumenti musicali, oltre a libri e manoscritti rari presso il Museo del Collegio Romano e continuerà le sue ricerche senza curarsi molto degli interventi censori grazie alle alte protezioni di cui godeva.

Nel 1656 dà alle stampe un testo in cui affronta lo spinoso tema cosmologico: l'*Itinerarium exstaticum*, dedicato alla regina Cristina di Svezia appena giunta nella città eterna e convertita al cattolicesimo. Vi descrive un viaggio attraverso il cosmo, in forma di dialogo. Il narratore *Theodidactus* (Kircher stesso) cade addormentato durante un concerto al Collegio Romano e i suoni dei liuti lo conducono a uno stato estatico. Nel sogno egli è visitato dall'angelo *Cosmiel* che si propone come guida nel viaggio cosmico e che richiama la figura dello stretto collaboratore Gaspar Schott, anch'egli gesuita, che certamente ispirò e sostenne il suo maestro nella stesura del libro. Il taglio è dialogico e Kircher lo sceglie unitamente a quello del viaggio immaginario, già utilizzato fin dall'antichità da Luciano di Samosata a Thomas More, da Tommaso Campanella a Francis Bacon, e del sogno, da Cicerone a Johannes Kepler, per accedere a una libertà che non gli sarebbe stata accordata se la scelta fosse stata quella di un trattato (Rowland 2004). Partendo dal modello ticonico, Kircher critica gli antichi astronomi e affronta temi tratti dagli scritti di Giordano Bruno e Nicolò Cusano, senza citarli, tanto da argomentare intorno all'ipotesi di un universo infinito in cui, guidato da *Cosmiel*, viaggia attraverso uno spazio fluido, poiché le sfere solide sono ormai scomparse. I due viaggiatori esplorano la Luna, Mercurio, Venere e poi il Sole. Raggiungono Giove, Saturno e infine le stelle fisse. Ma le stelle fisse di Kircher non sono "fisse", si muovono lungo orbite circolari e possono far parte di sistemi binari o di stelle multiple. Qui *Cosmiel* spiega a *Theodidactus* che esistono infinite varietà di sfere, che ogni stella si comporta come un Sole da cui emanano calore e luce ed è circondata da pianeti. E molte sono le stelle molto più grandi del Sole. Kircher argomenta intorno alla *panspermia rerum* ovvero alla fertilità che viene proiettata come la luce e il calore dai raggi del Sole verso la Terra (Kircher 1656, p. 361). Il cosmo di Kircher è diverso dai modelli proposti da altri confratelli. Il suo è un universo fluido, immenso, senza confini e avente al centro la Terra. Uno spazio così immenso e senza confini era già stato immaginato da Nicolò da Cusa nel suo *De docta Ignorantia* del 1440, dove viene proposto un universo privo di centro e senza circonferenza, e ripreso oltre un secolo più tardi da Giordano Bruno.

La stampa dell'*Itinerarium* era stata autorizzata dalla censura, ma la sua pubblicazione non poté non sollevare critiche per le tesi ivi sostenute, in contrasto con la tradizione aristotelico-tomista. In particolare, il tema dell'infinità del mondo, caro a Cusano e successivamente a Bruno, desterà preoccupazioni nella Compagnia, e non solo. La seconda edizione, curata da Schott ritornato a Würzburg, il cui titolo fu modificato in *Iter exstaticum coeleste*, uscì in Germania senza l'*imprimatur*. Le critiche alla prima edizione e la denuncia complessa e articolata di mancata osservanza dei

precetti dell'*Ordinatio pro studiis superioribus* sono da Schott ivi puntualmente ribattute con argomenti certamente da questi concordati con il suo maestro Kircher. Nel testo egli riprende quanto presente nella prima edizione, aggiungendovi le sue annotazioni in corsivo e citando anche, tra gli autorevoli astronomi, addirittura Giordano Bruno (Kircher, Schott 1660, p. 69). La questione comunque apparentemente si risolse poiché nessuna sanzione fu rivolta agli autori negli anni a seguire e Kircher proseguì nelle sue ricerche e nelle sue funzioni al Collegio Romano senza incontrare difficoltà (Camenietzki 1995).

Quanto al sistema del mondo richiamato da Kircher, è interessante soffermarsi sull'antiporta inserita da Schott nella seconda edizione. Qui Theodidactus e Cosmiel sono ritratti a fianco di un modello ticonico, ma a ben guardare la scelta dell'incisore, e presumibilmente degli autori, pare aver privilegiato la posizione centrale del Sole. Ma vi è di più, nel corpo del testo, in entrambe le edizioni, sono presenti osservazioni che corrispondono ad argomentare l'equivalenza *de facto* dei sistemi geocentrico ed eliocentrico.



Figg. 1a, 1b. A sinistra l'antiporta, a destra il frontespizio dell'*Iter extaticum coeleste*, 2^a edizione dell'*Itinerarium extaticum* (Courtesy of The John Carter Brown Library).

Raggiunta la sfera delle stelle fisse Theodidactus interroga Cosmiel. Volgendo lo sguardo verso il centro del mondo egli vede una stella di seconda magnitudine identificata dalla sua guida nel Sole, ma non riesce a distinguere la Terra, la Luna e gli altri pianeti più prossimi alla Terra, inoltre non riesce a percepire il movimento né del Sole, né di Giove e Saturno. Cosmiel risponde all'attonito Theodidactus: «sappi che è tale la distanza tra i tuoi occhi e queste orbite che tutta la circonferenza del cielo solare è compressa in uno spazio quasi uguale al corpo del Sole, come i cieli dei restanti corpi menzionati: quindi è

naturale che questi siano percepiti come immobili, o anche nella parte più riposta, se sono più piccoli del Sole e degli altri pianeti superiori, visti sparire» (Kircher 1656, pp. 266-267; Kircher, Schott 1660, pp. 348-349).

Le considerazioni che conducono ad assumere Terra, Luna, Sole e pianeti inferiori indistinguibili al centro dell'universo sono simili a quelle richiamate negli stessi anni, quanto ai modelli geocentrici ed eliocentrici, da Andreas Tacquet SJ, matematico e astronomo attivo nelle Fiandre, nella sua *Opera* (Gambaro 2021, pp. 279-280).

Così il risultato del viaggio estatico è paradossale. Pur evocando il modello ticonico, nel mondo di Kircher anche le stelle fisse sono in moto relativo e i confini dell'universo si dissolvono. È preservata formalmente la posizione statica e centrale della Terra, tuttavia le dimensioni evanescenti e minuscole dell'orbita solare rispetto alle dimensioni dell'universo comportano la sua riduzione ad un punto, per cui *de facto* non è più possibile cogliere la differenza tra il modello eliocentrico e quello geocentrico.

4. Conclusioni

Se poniamo a confronto le diverse prospettive epistemologiche dei due gesuiti, molte sono le domande che si presentano. Pur dichiarando in più occasioni di affidarsi all'evidenza fisica fornita dai sensi e all'autorità della certezza matematica, Riccioli frequentemente optò per spiegazioni probabilistiche su varie tematiche. Quali le motivazioni? Consapevolezza della complessità di taluni problemi scientifici? Ritrosia ad allontanarsi dalla tradizione aristotelica a cui si sentiva fortemente legato? Timore di interventi censori da parte dei Revisori Generali? Difficile dirlo. La sua prudenza fu forse incoraggiata dalle pressioni censorie, dall'efficacia, talora modesta, degli interventi a suo favore negli ambienti romani e dal timore di un eventuale allontanamento dagli studi astronomici a cui tanto teneva (Gambaro 2016).

E per contro, quali le motivazioni che orientarono Kircher alla stesura dell'*Iter*? La sua infinita curiosità e il desiderio di pubblicare le sue idee in ambito cosmologico, pur mantenendo la scelta prudente del "sogno" per affrontare il tema? Il desiderio di esprimere le sue critiche nei confronti della tradizione aristotelica? Nell'*Iter* infatti egli scrive per bocca di Cosmiel a proposito di Aristotele: «Voi vi sbagliate se ritenete che Aristotele abbia detto tutta la verità sulla natura dei corpi celesti [...]. I filosofi, che restano fermamente legati alle loro idee e ripudiano l'esperimento, non possono concludere sulla costituzione naturale del mondo solido, poiché noi [angeli] osserviamo come i pensieri degli uomini, a meno che questi non siano basati sugli esperimenti, spesso si allontanano dalla verità così come la sfera della Luna è distante dalla Terra» (Kircher 1656, pp. 55-56; Kircher, Schott 1660, pp. 97-98). Nel testo Kircher non si affida al probabilismo, e la sua audacia può forse esser compresa tenendo conto delle alte protezioni di cui godeva a Roma, tra le altre quella dei pontefici Innocenzo X, della potente famiglia Pamphilj, e Alessandro VII, al secolo Fabio Chigi, cui era legato da profonda amicizia.

Dunque, l'orientamento scientifico ed epistemologico dei due padri gesuiti non poteva prescindere dai vincoli provenienti dai vertici della Compagnia e più in generale

dalla politica culturale dell'Ordine a cui appartenevano. Ma talvolta il controllo sistematico era in parte mitigato dalle alte protezioni a cui il singolo studioso riusciva ad accedere.

Bibliografia

- Bailly J.S. (1785). *Histoire de l'astronomie moderne*. Paris : De Bure, 2^a ed., vol. 2.
- Borgato M.T. (2022). "The Riccioli-Borelli-Angeli controversy and the deviation of free falling bodies", in Bònoli F., Naddeo A., Zanini V. (a cura di), *Atti del XLI Convegno Nazionale della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia* (Arezzo, 6-9 settembre 2021). Pisa: Pisa University Press (in questo volume).
- Camenietzki C.Z. (1995). "L'extase interplanétaire d'Athanasius Kircher : Philosophie, cosmologie et discipline dans la Compagnie de Jésus au XVIIIe siècle". *Nuncius*, 10, pp. 3-32.
- Dinis A. SJ (auth), Balsas A. SJ e Barroso Batista R. (eds) (2017). *A Jesuit against Galileo? The Strange Case of Giovanni Battista Riccioli*. Braga: Axioma Publicações.
- Feingold M. (ed.) (2003). *Jesuit Science and the Republic of Letters*. Cambridge MA: MIT Press.
- Findlen P. (2004). *Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything*. New York: Routledge.
- Gambaro I. (1989). *Astronomia e tecniche di ricerca nelle lettere di G.B. Riccioli ad A. Kircher*. Genova: Università degli Studi di Genova (Quaderni del Centro di Studio sulla Storia della Tecnica del CNR, n. 15).
- Gambaro I. (2016). "Giovanni Battista Riccioli, infaticabile astronomo, e la censura romana". *Giornale di astronomia*, 42 (3), pp. 46-51.
- Gambaro I. (2021). "Geo-heliocentric Models and the Society of Jesus: From Clavius's Resistance to Dechales's Mathesis Regia". *Annals of Science*, 78 (3), pp. 265-294.
- Kircher A. SJ (1656). *Athanasij Kircheri [...] Itinerarium exstaticum*. Romae: typis Vitalis Mascardi.
- Kircher A. SJ, Schott G. SJ (1660). *R.P. Athanasii Kircheri [...] Iter extaticum coeleste*. Herbipoli: sumptibus Joh. Andr. & Wolffg. jun. Endetorum haeredibus.
- Lana de' Terzi F. SJ (1684). *Magisterium naturae et artis*. Brixiae: per Io. Mariam Ricciardum, 1684, vol. 1.
- Newton I. (1687). *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Londini: iussu Societatis Regiae ac typis Josephi Streater.
- Poincaré H. (1902). *La Science et l'Hypothèse*. Paris : Flammarion.
- Riccioli G.B. SJ (1651). *Almagestum nouum*. Bononiae: ex typographia haeredis Victorij Benatij.
- Riccioli G.B. SJ (1665). *Astronomiae reformatae tomi duo*. Bononiae: Ex typographia haeredis Victorij Benatij.
- Rowland I.D. (2004). "Athanasius Kircher, Giordano Bruno, and the Panspermia of the Infinite Universe" in Findlen (2004), pp. 191-205.

La storia *sulla* Luna

Valeria Zanini – INAF, Osservatorio Astronomico di Padova - valeria.zanini@inaf.it

Abstract: Over the time, the lunar nomenclature presented by Giambattista Riccioli (1598-1671) in his *Almagestum novum*, in the mid-seventeenth century, outperformed contemporary proposals, such as the one developed by Michael Florent van Langren (1600-1675) or the even more famous *Selenographia* by Johannes Hevelius (1611-1687). His idea of associating the various lunar spots with the names of famous astronomers of ancient and contemporary times was successful, so much so that in 1932 the International Astronomical Union chose it as the starting point for the modern nomenclature of the Moon.

But which *savants* did Riccioli place on the Moon, and what could they tell us about the historical and astronomical culture of the 17th century? This is the subject of this work.

Keywords: History of Astronomy, Selenography, Riccioli.

1. Introduzione

Com'è noto, la nomenclatura lunare presentata nella mappa selenografica di Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) e Giovan Battista Riccioli (1598-1671), pubblicata all'interno dell'*Almagestum novum* nel 1651, divenne nei secoli successivi lo standard di riferimento per gli astronomi di tutto il mondo (Zanini, Gargano 2021). Riccioli non fu il primo a coniare dei toponimi per ognuna delle conformazioni osservate tramite il telescopio. In precedenza, anche Michael Florent Van Langren (1598-1675), cosmografo del re Filippo IV di Spagna, aveva ideato una nomenclatura (Van Langren 1646) e a lui si deve la paternità dell'idea di denominare i crateri con nomi di persone, selezionate tra importanti personaggi della nobiltà cattolica europea del XVII secolo e celebri protagonisti della matematica e dell'astronomia di tutti i tempi. Altrettanto nota è poi la selenografia di Johannes Hevelius (1611-1687), il quale, riscontrando una analogia tra il suolo lunare e la topografia terrestre compresa tra il Mediterraneo e l'area del Mar Nero, assegnò alle conformazioni lunari il nome delle regioni terrestri che più vi somigliavano per forma o posizione (Hevelius 1647).

2. La composizione della nomenclatura di Riccioli

La nomenclatura di Hevelius si diffuse rapidamente nel mondo luterano e protestante, ma ad essa si contrappose, pochi anni più tardi, proprio quella di Riccioli, che trovò ampia

diffusione nei paesi dell'area mediterranea. Stando alle parole usate dall'astronomo gesuita, ciò che lo spinse a realizzare un'ulteriore toponomastica fu il fatto che da un lato non condivideva l'idea heveliana di assimilare la superficie lunare a quella terrestre, ipotesi che avallava la teoria secondo la quale la Luna era un corpo simile alla Terra, dall'altro, pur apprezzando l'idea di Van Langren, non gli piaceva una distribuzione così casuale ed eterogenea dei personaggi sul suolo lunare. Riccioli decise quindi di ispirarsi al modello dell'olandese, selezionando però solamente nomi di studiosi di astronomia o di astrologia genetliaca che avessero portato un reale contributo alle conoscenze astronomiche, delle quali egli stesso si era servito per la stesura dell'*Almagestum*. È opportuno precisare che il sistema genetliaco, o delle natività, era, tra tutti i sistemi di computazione astrologica, quello più complesso, richiedendo una solida base astronomico-osservativa. Nel corso dei secoli era pertanto l'unico che aveva fornito dei contributi sostanziali all'avanzamento della scienza astronomica, anche se nel XVII secolo l'astrologia si era ormai nettamente separata dall'astronomia.

Il criterio di denominazione delle 'macule', ossia dei crateri lunari, è ampiamente illustrato da Riccioli: anzitutto egli colloca nella metà superiore della Luna i personaggi più antichi e nell'inferiore i più recenti, poi procede ad associare i diversi nomi in base alle affinità temporali o di pensiero. Suddivide quindi il disco lunare in otto settori, dislocando nel primo e nel secondo ottante la maggior parte dei fisico-astronomi antichi; nel terzo, nel quarto e nelle zone interne del quinto e sesto pone i rimanenti sapienti antichi («reliquos antiquiorum»), mentre il sesto, settimo e ottavo ottante sono destinati agli astronomi più recenti, tra cui molti confratelli gesuiti. Come esempi delle interconnessioni stabilite, Riccioli dichiara di aver associato Timeo e Archita a Platone, in quanto a lui «familiaris», e di aver posto non molto distante anche Aristotele, per la manifesta attinenza con i precedenti. Parimenti, ad Eudosso associa Callippo e a Ipparco Tolomeo, collocando poco distanti anche al-Battānī e Alfonso X, e così via. Analogamente, vengono associati tra loro anche i sostenitori del sistema eliocentrico, dato che Copernico, Retico, Reinhold e molti altri di questa 'setta' – come Riccioli stesso la definisce – sono volutamente collocati nell'*Oceanus Procellarum*, così che i suoi seguaci siano come isole ondegianti in un mare in tempesta, in analogia con la mobilità Terra da loro affermata. Riccioli afferma di aver utilizzato molte altre analogie di questo tipo nella composizione della sua nomenclatura lunare, lasciando però all'erudito lettore l'onere di identificarle (Riccioli 1651, p. 204). Pur esprimendo una così chiara presa di distanza dai sostenitori del sistema eliocentrico, come è naturale che sia per un autore chiamato dalla gerarchia cattolica a dimostrare la verità del geocentrismo (Gambaro 2021), è curioso notare che egli dedica comunque a Copernico uno dei più grandi e belli tra i crateri lunari, quello che Van Langren aveva riservato al suo protettore Filippo IV di Spagna e che Hevelius aveva assimilato all'Etna.

3. I personaggi storici collocati sulla Luna

Per comprendere quale sia il riferimento culturale che ispira Riccioli nella scelta dei nomi da immortalare sul suolo lunare è necessario leggere il breve excursus storico sull'origine

dell'astronomia presente all'interno della *Præfatio* dell'*Almagestum novum* e analizzare il *Chronicon duplex astronomorum, vel astrologorum*, che segue l'indice del volume (Riccioli 1651, pp. I-XLVII).

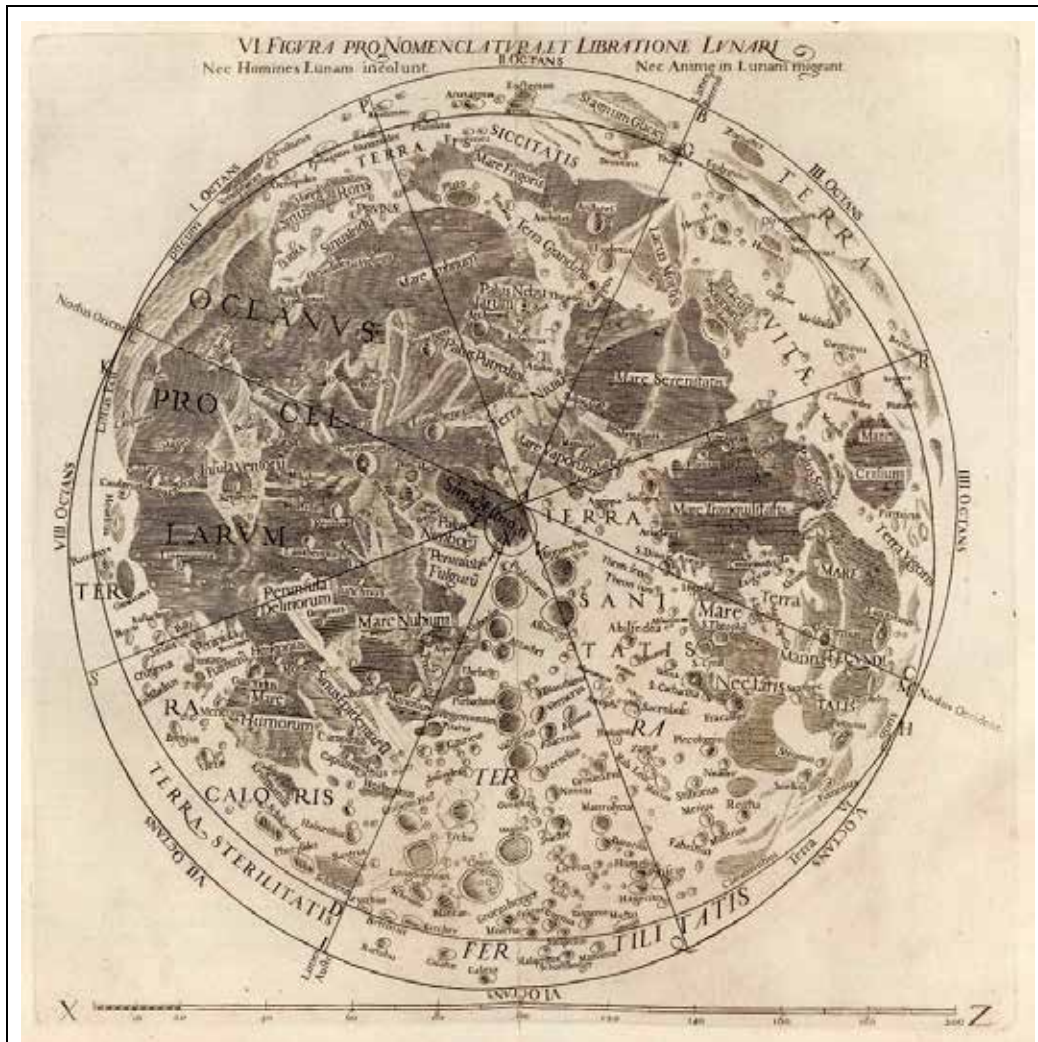


Fig. 1. La mappa selenografia di Riccioli, pubblicata in *Almagestum novum...*, *Pars prior, tomi primi*, dopo la pag. 204.

È qui, infatti, che sono citati gran parte dei personaggi presenti anche nella mappa selenografica. In particolare, i nomi posti nel III ottante, sopra il *Lacus Somniorum*, sono essenzialmente gli stessi che aprono il *Chronicon*, secondo il quale la storia astronomica dell'umanità comincia circa 2000 anni dopo l'epoca della creazione di Adamo. Qui troviamo quindi Zoroastro, identificato con il mitico re della Battria autore delle "Predizioni dalle Stelle", prima opera astronomica della storia, Atlas, considerato l'ideatore della sfera celeste, Mercurius, nipote di Atlas, Hermes Trimegistus, nipote di Mercurio, Endymion, a cui sono attribuite le prime osservazioni del corso lunare e Osymandies, ovvero

4. Ipazia e Santa Caterina

La filosofa e matematica Ipazia, vissuta ad Alessandria d’Egitto a cavallo tra il IV e il V secolo è un personaggio oggi ben noto, grazie anche alle molteplici opere letterarie e cinematografiche che l’hanno celebrata in epoca moderna. È però interessante trovarla qui, sulla Luna di Riccioli, perché questa presenza è in contrasto con una narrazione contemporanea che la ritiene vittima di una *damnatio memoriae* fino alla riscoperta che ne fece solo nel ’700 il filosofo illuminista John Toland, nel saggio a lei dedicato (Toland 1720). In realtà l’*Almagestum* e la mappa selenografica di Riccioli ci dimostrano che nella cultura storico-astronomica del ’600 Ipazia era altamente rinomata. Ipazia, infatti, non solo è presente tra i crateri lunari, ma Riccioli nel suo breve excursus storico la cita fra i protagonisti della scuola alessandrina, collocandola allo stesso livello di Aristillo, Timocari, Eratostene e Teone e destina una delle date salienti del *Chronicon* proprio al suo barbaro omicidio. Inoltre, nella voce enciclopedica corrispondente, evidenzia il suo nome in maiuscolo, un onore riservato solo a coloro i cui contributi astronomici sono da lui ritenuti di particolare rilievo. Se ne deduce quindi che l’astronomo gesuita avesse una grande opinione di questa donna, trucidata brutalmente per l’invidia che le sue doti intellettuali suscitavano. Tuttavia, rifacendosi sempre alla sua toponomastica lunare, è evidente come egli non attribuisca alcuna colpa al vescovo Cirillo e ai contrasti che questi ebbe con il prefetto Oreste, per l’uccisione della scienziata pagana, a differenza di quanto sosteneva invece Scorate Scolastico nelle sue *Cronache*, secondo una tesi poi ripresa da Toland e da diversi storici moderni. A San Cirillo e allo zio nonché predecessore San Teofilo, che Riccioli annovera entrambi tra gli ultimi protagonisti della scuola di Alessandria, sono infatti dedicati altri due crateri non piccoli, contigui a quello di Ipazia.

Proprio appena più a sud di questi, vi è un altro cratere, ancor più cospicuo, dedicato a Santa Caterina, personaggio del quale Riccioli non fa alcun tipo di menzione, né nella *Præfatio*, né nel *Chronicon*, né in altra parte della sua opera. La collocazione tra i sapienti della scuola ellenistica permette in ogni caso di identificarla con Santa Caterina di Alessandria, martire del IV secolo di cui tuttavia si conosce ben poco. Giovane colta ed erudita, con la sua eloquenza Caterina avrebbe fatto convertire 200 soldati dell’imperatore romano e per questo sarebbe stata sottoposta a tortura e morte. La veridicità storica di questo personaggio è stata messa in dubbio, dato che le fonti storiche che ne raccontano il martirio sono successive di ben 600 anni rispetto all’epoca in cui sarebbero avvenuti i fatti. Ciò nonostante, a partire dal IX-X secolo il suo culto si diffuse rapidamente in Europa, tanto che essa divenne patrona degli ordini religiosi dei Domenicani e degli Agostiniani, protettrice dei teologi e dei filosofi, e fu anche scelta come patrona dello ‘studio dei legisti’ – l’odierna Giurisprudenza – dell’Università di Padova. Nel XVI secolo, in particolare, questa santa godeva di grande fama e ad essa furono dedicate molte opere poetiche e teatrali, così come fu un soggetto molto diffuso tra i pittori dell’epoca. Alcuni storici dell’Ottocento, poi ripresi dalla storiografia contemporanea (si veda p.e. Deakin 2007), sostengono che la figura di Santa Caterina di Alessandria, giovane e bella donna cristiana, molto erudita, martirizzata da un imperatore pagano, sia stata volutamente mutuata dalle gerarchie ecclesiastiche proprio da quella di Ipazia, con l’intento di sminuire così il valore della matematica alessandrina, se non addirittura con lo scopo precipuo di

soppiantarla. L'affiancamento di Ipazia e Santa Caterina nella toponomastica lunare riccioliana risulta in parte dissonante con questa ricostruzione: se da un lato le dimensioni e la collocazione del cratere a lei dedicato, che è adiacente peraltro a quelli dei Santi Cirillo e Teodosio, sembrerebbero supportare una lettura di questo tipo, e cioè esaltare una santa cristiana, perché faccia da contraltare alla scomoda Ipazia, d'altro canto ciò stride con le parole d'elogio che Riccioli dedica ad Ipazia e con la totale assenza di un qualsiasi riferimento al contributo che S. Caterina avrebbe dato all'astronomia. È possibile quindi che la scelta dei nomi da inserire nella mappa lunare abbia ricevuto qualche spinta esterna alla volontà dello stesso Riccioli? È questa una questione che rimane aperta e che merita ulteriori approfondimenti. Quel che è certo è che il criterio seguito da Riccioli per definire la sua toponomastica si impose ben presto come la nomenclatura standard per gli astronomi di tutto il mondo e ancor oggi, grazie alle sue scelte, i nomi di Ipazia e di Santa Caterina vivono sulla Luna.

Bibliografia

- Deakin M. A. B. (2007). *Hypatia of Alexandria, Mathematician and Martyr*. Amherst, New York: Prometheus Books.
- Gambaro I. (2021). "Geo-heliocentric Models and the Society of Jesus: From Clavius's Resistance to Dechales's *Mathesis Regia*". *Annals of Science*, 78 (3), pp. 265-294.
- Hevelius J. (1647). *Selenographia: sive Lunae descriptio*. Gedani: Typis Hünefeldianis.
- Marazzini C. (2005). "I nomi della Luna. Tecnicismi astronomici e selenografia da Galileo a Riccioli". *Studi Linguistici Italiani*, XXXI (II), pp. 161-93.
- Riccioli G. B. (1651). *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens...* Bononiae: Ex Typographia Haeredis Victorij Benatij.
- Toland J. (1720). *Hypatia, or the history of a most beautiful, most virtuous, most learned, and every way accomplish'd Lady; who was torn to pieces by the Clergy of Alexandria, to gratify the pride, emulation, and cruelty of their Archbishop Cyril, commonly but undeservedly stil'd St. Cyril*, in *Tetradymus*. London: Brotherton and Meadows, pp. 101-136.
- Van Langren M.F. (1646). *Plenilunii Lumina austriaca Philippica*. [s.l.]: [s.n].
- Zanini V., Gargano M. (2021). *L'affermazione selenografica di Giovan Battista Riccioli, tra nomenclature celesti e cartografie planetarie*, in Gambaro I., Bevilacqua F. (a cura di), *Atti del XL Convegno Nazionale SISFA* (Online, 8-10 settembre 2020). Pisa: Pisa University Press, pp. 57-64.

How Do Celestial Bodies Interact? Looking for Kepler's Astronomical Physics on a Page of his *Epitome*

Anna Maria Lombardi - IIS L. Cremona, Milano - annak.lombardi@gmail.com

Abstract: Johannes Kepler compiled the *Epitome astronomiae copernicanae* in his full maturity. He had already developed his three astronomical laws, and he had understood how the adoption of a new astronomy, based on the Copernican point of view, compelled the astronomers to introduce a new physics as well. Kepler's celestial physics permeates this masterpiece, and the unprecedented alliance between physics and astronomy can be seen as its characteristic feature. The *Epitome* is divided into questions and answers; the present analysis focuses on a precise question/answer related to the mechanism that makes some celestial objects (here referred to as secondary planets) revolve around other bodies (here called primary). Although we lack an Italian translation, this is a well-known page, where Kepler showed how his Third Law, the one that relates the squares of the orbital period of the planets to the cubes of the semi-major axes of their orbits, also applies to the moons of Jupiter. But, as it often happens with Kepler, the agreement of the Third Law to the Jupiter's satellites usually is extrapolated from the context. Here I propose an investigation of the whole paragraph, as it offers an important contribution to understanding the mechanism by which celestial objects can interact with each other. Once again, Kepler will be able to amaze us with a mixture of arguments that are still scientific in our eyes, with others still connected to his philosophical, archetypal, "not so modern" cosmology.

Keywords: Kepler, *Epitome astronomiae copernicanae*, History of Physics.

1. Introduzione

Giovanni Keplero nasce a Weil der Stadt, in Germania, il 27 dicembre del 1571. Quest'anno ricorre quindi il 450esimo anniversario dalla sua nascita, e contemporaneamente si ricordano i 400 anni dalla pubblicazione della sua *Epitome dell'astronomia copernicana*. Si tratta di un capolavoro scritto da un Keplero maturo, che ha ormai scoperto le tre leggi astronomiche che portano il suo nome e fornito contributi determinanti all'astronomia e alla fisica. Lo scienziato tedesco ha preso atto che le opere precedenti, con cui desiderava convertire astronomi e matematici non semplicemente al sistema copernicano, ma a quel sistema kepleriano che assegnava alla Terra il ruolo di semplice pianeta, indistinto da ogni altro, e comportava orbite ellittiche e velocità variabili, erano testi di ardua lettura, che chiedevano al lettore competenze e impegno straordinari. Decide quindi di scrivere un'opera destinata ai giovani studenti, con una struttura, a do-

mande e risposte, che ricalca quella tipica dei catechismi. Il buon proposito di Keplero viene mantenuto nei primi tre libri dell'*Epitome*, pubblicati nel 1618, mentre gli ultimi quattro libri, portati a termine nel 1621, appaiono di nuovo destinati a un pubblico di specialisti. Tra i primi e gli ultimi libri ha sicuramente avuto un impatto determinante (Rothman 2021) l'inasprimento dell'Inquisizione nei confronti delle opere copernicane, che porta alla messa all'Indice di numerose opere, tra cui la stessa *Epitome*.

2. Il Cosmo di Keplero

La struttura del Cosmo è al centro degli studi di Keplero sin dalla sua prima opera, quel *Mysterium cosmographicum* scritto appena lasciati gli studi di teologia. Tre erano le domande al centro delle sue ricerche: perché i pianeti sono esattamente in quel numero e perché si trovano a quelle distanze dal Sole? Perché possiedono esattamente quelle velocità? Qual è la causa del moto dei pianeti?

Nel *Mysterium* del 1596 Keplero risponde alla prima domanda ricorrendo al modello dei solidi platonici: i pianeti sono sostenuti nello spazio dalla necessità di obbedire a una legge geometrica, per cui ogni calotta sferica, che ospita l'orbita di un pianeta, è perfettamente circoscritta a un solido platonico e perfettamente inscritta nel solido platonico successivo. I pianeti sono sei perché cinque sono i solidi platonici che separano un'orbita dall'altra, mentre i raggi delle orbite sono tali da preservare la proporzionalità esistente tra le sfere costruite con questo algoritmo geometrico.

Keplero deve invece attendere il maggio del 1618 per poter giustificare il valore delle velocità dei pianeti con il modello della consonanza musicale. La terza legge, pubblicata nell'*Harmonices mundi*, ci dice che il moto dei pianeti è regolato dall'intervallo "sesquialtero" (la quinta alla base della scala musicale dei pitagorici) e le velocità sono determinate dalla necessità che le proporzioni tra loro, quando si considerino pianeti confinanti, siano le stesse presenti negli intervalli musicali consonanti.

Rispetto alla causa del moto dei pianeti, Keplero affronta il problema in molte delle sue opere, dal *Mysterium*, in cui individua nel Sole vero, con la sua massa, il principale soggetto del Sistema solare, all'*Astronomia nova*, in cui si chiede, ad esempio, perché, se la causa dei moti planetari è al centro, il moto non sia perfettamente simmetrico. Molti sono i concetti che Keplero rielabora o introduce nel tentativo di spiegare, in un contesto pre-newtoniano, la struttura del Cosmo: dalla forza quasi magnetica, che può giustificare l'asimmetria delle ellissi, alla resistenza o inerzia [*renitentia seu inertiam*] "naturale e materiale" a lasciare un posto occupato, che strappa i pianeti dalle mani del Sole, così che essi non devono semplicemente seguire la forza attrattiva che li afferra (Kepler 1995, p. 580).

In queste pagine siamo interessati ad approfondire una pagina dell'*Epitome*, focalizzata sull'indagine della causa della rivoluzione dei pianeti intorno al centro del Cosmo.

Notiamo come Keplero stia qui cercando di dedurre un meccanismo generale, che sia valido non solo per il sistema Sole-pianeti, ma per qualsiasi sistema formato da un corpo centrale massivo attorno al quale si trovino corpi secondari. Ecco perché al Sistema solare affianca il sistema Terra-Luna. E, al quarto punto, Keplero passa ad includere, nel novero dei sistemi astronomici in cui testare le proprie osservazioni, il sistema formato da Giove e dalle sue quattro lune, scoperto solo pochi anni prima da Galilei e considerato un importante elemento a favore del sistema copernicano (Fig. 2).

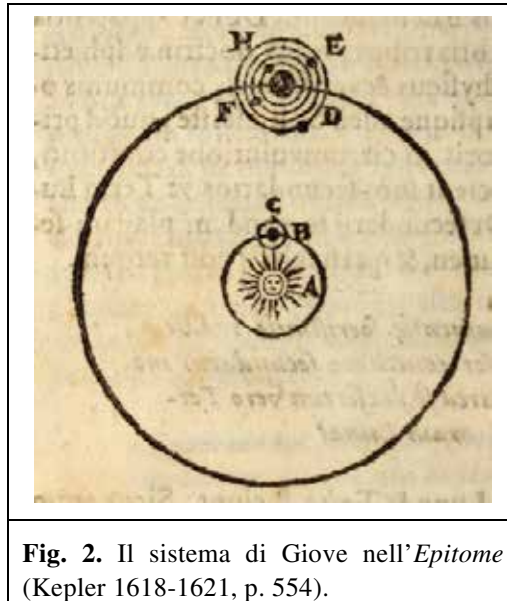


Fig. 2. Il sistema di Giove nell'*Epitome* (Kepler 1618-1621, p. 554).

Per mostrare che si tratti di una struttura a tutti gli effetti simile a un piccolo Sistema solare, Keplero procede su due fronti estremamente diversi, il primo sorprendentemente moderno, il secondo legato a una tradizione filosofica che la nascente scienza moderna abbandonerà. Così, da un lato scrive che è possibile estendere anche al sistema di Giove la sua terza legge astronomica, e dall'altro che anche in quel sistema è possibile rintracciare una regolarità basata su solidi regolari, secondo il modello al centro del *Mysterium*.

Per quanto riguarda la generalizzazione alle lune medicee della terza legge, Keplero utilizza un approccio basato sui dati sperimentali, riportando e mettendo a confronto i dati raccolti da Galileo Galilei e da Simon Marius. Keplero non solo ci dice che la relazione che lega i raggi medi delle orbite e i periodi di rivoluzione deve essere compresa tra la proporzionalità diretta e quella quadratica, come $3/2$ è compreso tra 1 e 2, ma utilizza la terza legge all'inverso, per dimostrare che, dove le osservazioni di Marius e Galilei divergono, è possibile preferire il dato di Galilei proprio perché meglio rispetta la terza legge (Fig. 3).

Nello stesso capoverso Keplero ci rivela poi che, così come i solidi platonici sottendono la struttura del Sistema solare, giustificando il numero e le distanze tra i pianeti, analogamente i solidi romboidali (il dodecaedro romboidale, il triacontaedro romboidale e il cubo) ci permettono di comprendere il perché del numero e dei raggi delle orbite delle quattro lune di Giove (Fig. 4).

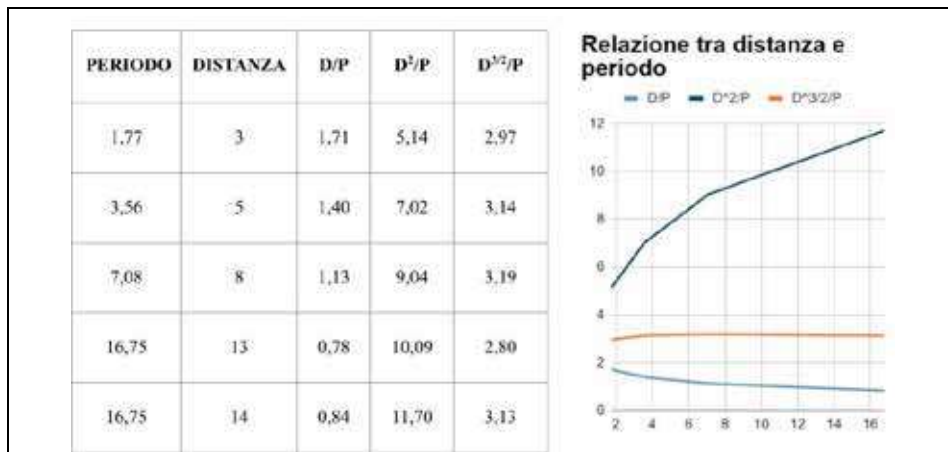


Fig. 3. Nella tabella leggiamo i dati su periodi e raggi delle orbite delle lune di Giove riportati da Keplero, con le osservazioni di Marius e Galilei, che divergono solo sulla luna più esterna (l'ultimo in fondo è il dato di Galilei). I valori delle ultime tre colonne non sono riportati nell'*Epitome*, ma Keplero ci dice di averli calcolati per verificare che solo la terza legge è in grado di fornire la relazione corretta. Keplero spiega che l'esponente $3/2$ porta a una relazione costante, sempre compresa tra la proporzionalità diretta e quella quadratica, come qui ricostruito nello schema a destra.

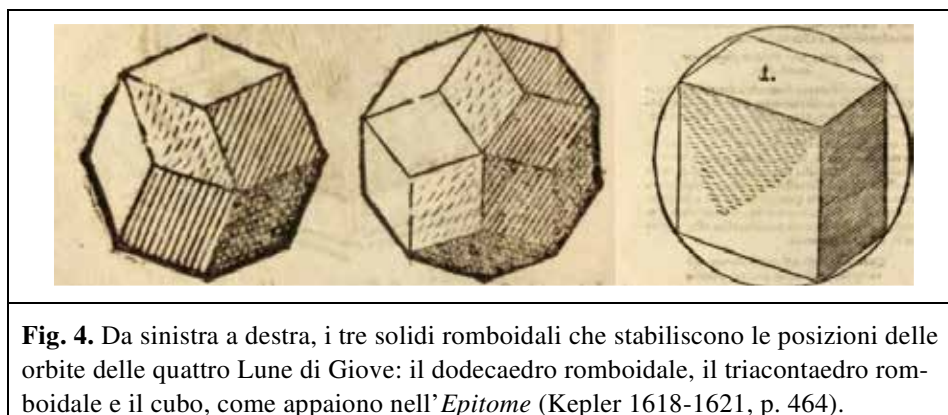


Fig. 4. Da sinistra a destra, i tre solidi romboidali che stabiliscono le posizioni delle orbite delle quattro Lune di Giove: il dodecaedro romboidale, il triacontaedro romboidale e il cubo, come appaiono nell'*Epitome* (Kepler 1618-1621, p. 464).

Keplero prosegue la sua argomentazione con un quinto punto, in cui sottolinea come in tutti questi sistemi l'oggetto al centro sia più grande di quelli in rotazione: il Sole maggiore dei pianeti, la Terra della Luna, Giove dei suoi satelliti.

4. Un cosmo vuoto, una azione a distanza

Leggendo queste prime cinque “cause probabili”, noi, lettori del ventunesimo secolo, immaginiamo un corpo in rotazione immerso in un fluido che, con il suo moto, trascina con sé nello stesso verso, come in un vortice, gli oggetti più leggeri che si trovano nelle vicinanze, mediante un'azione che si affievolisce man mano che ci si allontana dal centro

di rotazione. Esiste, invece, una notevole differenza rispetto al modello di Keplero: lo spazio attorno ai corpi massivi da lui considerati è vuoto.

E in effetti è un Cosmo decisamente vuoto e dematerializzato quello che lo scienziato tedesco ha contribuito a delineare assieme a Copernico e Tycho Brahe. Lo stesso sistema di Copernico è già pieno di vuoto: ha dimensioni maggiori di quello tolemaico e le sfere celesti non sono più appoggiate le une sulle altre. Inoltre, con Tycho, gli orbi celesti cristallini hanno lasciato al posto alle orbite, semplici traiettorie matematiche, disegnate a enormi distanze le une dalle altre.

Per lo stesso Keplero, lo spazio vuoto rende problematico come spiegare il meccanismo con cui il corpo centrale induce il movimento degli oggetti secondari, pianeti o lune. La scelta copernicana conduce allora verso l'accettazione di un'azione a distanza. Su questo tema è centrato il punto sei del paragrafo, che riprende un concetto già utilizzato da Keplero in passato per descrivere l'attrazione gravitazionale. Terra e Luna interagiscono perché sono "simili" – Keplero utilizza il termine *cognati* – come avviene anche per la forza magnetica. E qui aggiunge che la similitudine tra Terra e Luna è ora avvalorata dalle osservazioni al telescopio.

Nel settimo punto leggiamo poi che l'azione a distanza, pur difficile da accettare, è tuttavia innegabile, se si considera il fenomeno delle maree: come possiamo negare che la Terra con il suo moto possa indurre una azione sulla Luna, se la Luna con il proprio moto è in grado di mettere in movimento le acque sulla Terra?

L'ultimo, ottavo, punto ci lascia perplessi. Leggiamo infatti che un ulteriore argomento deriva dal fatto che la Luna non ruota su se stessa perché, non avendo satelliti da trascinare, quello sarebbe un moto superfluo; Keplero ci dice che la non rotazione si deduce dall'osservazione delle macchie lunari, che ci appaiono immobili. È noto che Keplero conosceva nei dettagli i complessi movimenti della Luna, quindi, in questa sua dimostrazione per assurdo, egli sta evidentemente considerando un sistema di riferimento molto particolare, centrato sull'osservatore terrestre.

Il paragrafo si chiude con l'affermazione, da parte di Keplero, che, sebbene nessuno di questi argomenti preso singolarmente abbia la forza di una dimostrazione, è l'insieme di essi che risulta convincente: è dunque plausibile che, in uno spazio vuoto, un corpo centrale massiccio in rotazione induca la rivoluzione attorno a sé di corpi secondari.

Bibliografia

- Frisch C. (a cura di) (1858-1871). *Joannis Kepleri Astronomi Opera Omnia*. Francofurti a. M. et Erlangae: Heyder und Zimmer.
- Kepler J. (1618-1621). *Epitome astronomiae copernicanae*. Linz: J. Plancus.
- Kepler J. (1995). *Epitome of Copernican Astronomy and Harmonies of the World*. Amherst, NY: Prometheus Books (Great Minds Series).
- Lombardi A.M. (2008). *Keplero, una biografia scientifica*. Torino: Codice.
- Rothman A. (2021). "Kepler's Epitome of Copernican Astronomy in Context". *Centaurus*, 63, pp. 171-191.

The Dream of Kepler: A Retrospective Work on the Human Side of the Scientist

Luisa Lovisetti - Department of Physics, University of Milan - luisa.lovisetti@unimi.it

Abstract: The compendium *Epitome astronomiæ copernicanae*, published between 1618 and 1621, is considered the most complete and influential work of Johannes Kepler (1571-1630), introducing the reader to the heliocentric theory and the whole astronomical work of its author. However, there is another lesser known masterpiece that deserves comparable attention: the *Somnium, seu opus posthumum de astronomia lunari* (published posthumously, in 1634), depicting Kepler not only as a scientist but also as a man. It is the short tale of a dream, whose troubled drafting lasted for almost forty years, describing the journey to the Moon made by a fictional young man, whose life shows several affinities with Kepler's one. In its pages and in its rich apparatus of explanatory notes, added by Kepler himself, several references to the major works and to the life of the astronomer can immediately be found. The *Somnium* is thus a journey through Kepler's theories, that provides the reader with an accurate portrait of an exceptionally modern character (defender of both the Copernican model and the central role of science) but still tied to the past (in his Platonic and Pythagorean ideas). Thanks to the *Somnium* it is possible to draw the fundamental steps in Kepler's life and in his work, surely deserving a special place in the history of astronomy.

Keywords: Johannes Kepler, Somnium, history of astronomy.

1. If on a night, a traveller

While I was reading the story of the virago Libussa, so celebrated in the art of magic, one night it happened that, after I had contemplated the stars and the Moon, I settled into bed and fell into a deep sleep. In my dream, I seemed to read through a book... (Kepler 1634, p. 1)

With those words the dreamlike tale written by Johannes von Kepler (1571-1630) on lunar astronomy begins. The story, entitled *Somnium, seu opus posthumum de astronomia lunari* (*The dream, or the posthumous work on lunar astronomy*) was published posthumous in 1634 by Johannes' son Ludwig (1607-1663). It is actually a story within a story, as Kepler wrote about the strange dream he had when he fell asleep soon after he had been reading few pages of a book, about the famous hero Libussa. Also, in the dream Kepler was reading a book, whose main character is Duracoto, a young Icelandic (whose

life closely resembled Kepler's one). Duracoto went with his mother to the island of Levanía (the Moon), both led by a mysterious demon.

Kepler began writing a first manuscript in 1593, when he was still a student at the University of Tübingen. Inspired by *The Face of the Moon* of Plutarch (46-119), *The true story* of Lucian of Samosata (120-192) and the *Somnium Scipionis*, added by Cicero (106-43 BC) in the *De re publica* and commented by Macrobius (385-430) (Odifreddi 2017, p. 19). He aimed to develop an argument in favour of the Copernican heliocentric system, describing the Earth movements as seen by an observer placed on the Moon, considered as the motionless centre of the universe. Unfortunately, his project was strongly disliked by the conservative academic environment, and Kepler had to give it up. He managed to rehandle it, however, several times, during his whole life.

The *Somnium* is in fact the most troubled book of the scientist's entire work, as its completion took almost forty years. Nevertheless, it is almost unknown and considered, in the best case, simply as one of the first works in science fiction. The *Somnium*, on the contrary, is much more than a simple fantastic tale and should find place among the fundamental works of the German scientist, as its twenty-eight pages (together with the fifty-one pages of explanatory notes) depict the fundamental steps in Kepler's life and thoughts, an aspect on which we intend to focus in this work.

2. Autobiography of an astronomer

Since my early childhood, my mother had led me by the hand, or lifted me onto her shoulders, to take me to the lower ridges and peaks of Hekla, especially around the feast of Saint John, when the Sun can be seen for 24 hours, leaving no room to the night. There she collected many herbs, which she cooked at home with many household spells (Kepler 1634, p.2)

Born on December 27th, 1571, Kepler was strongly attracted by astronomy already as a child, fascinated by both the vision of a comet in 1577 and of a lunar eclipse in 1580. As Kepler reminds us, through the voice of Duracoto, it was the mother Katharina (1546-1622), herbalist and healer, who played the key role in encouraging his interest in astronomy. His father, on the other hand, was almost always far from home and died in 1590, near Augusta (probably during the Eighty Years War, for the independence of the Netherlands from Spain). And the lack of the paternal figure emerged from the very first lines of the *Somnium*, when Duracoto admitted that he did not even know the name of his father: "What my father's name was, she never told me. She said he was a fisherman who had died" (Kepler 1634, p. 1).

Despite her son's strong interest for astronomy, Katharina wanted Kepler to become a Lutheran minister and thus the young man enrolled at the Tübingen University, in 1589, to become *Magister Artium* and study theology. There, he met Michael Maestlin (1550-1631) who introduced him to the heliocentric model of Copernicus, and that was the inspirational environment in which the *Somnium* began to take shape in the mind of the young scientist. Some traces of that first manuscript can be identified also in the 1634

printed version, where some errors related to orbits and planets dimensions, as seen from the Moon, can be found.

In 1594, Kepler was given the mathematics chair in Graz, that had become vacant because Georg Stadius (1550-1593) had died. In 1596 Kepler published his first work, the *Mysterium Cosmographicum*, an *a priori* geometric deduction of the Solar System structure, in which clearly emerged Kepler's Copernican and Pythagorean-Platonic vision (Baumgardt 1951, p.31). And both the non-geocentric thesis and the references to Pythagorean-Platonic thought constitute the central nucleus of the *Somnium*, describing an upside-down world, where the geocentric system is replaced by the selenocentric one, as Levanian inhabitants believe the Moon to be motionless and the Earth moving instead. Kepler developed the reversal of perspective in detail, reporting several astronomical calculations, to provide a scientific argument proving that the Earth could not be the fixed centre of the universe, in contrast with the Aristotelian-Ptolemaic system: "This is the purpose of my *Somnium*: that I develop an argument for the Earth's motion or rather the destruction of the argument against the Earth's motion based on observation" (Kepler 1634, p. 46).

The link between demons and the Moon had instead a Pythagorean origin, since, according to Pythagoras disciples, the Moon was populated by demons (creatures of night and shadows) who could freely move within the sublunary space. In the *Somnium* human beings thus needed shadows to evoke demons and reach the Moon, and the journey was possible only through a particular shadow cone (whose crossing takes about four hours, a little less than the maximum duration of a partial lunar eclipse). Furthermore, the demons that led men to the Moon seemed to represent nine particular sciences, and the demon who took Duracoto to the Moon, whose name was composed of twenty-one letters, was associated to astronomy.

I do not remember the real reason for this number. Was I considering the nine muses [...]? Or in this number I intended to include: 1) metaphysics, 2) the science of nature, 3) ethics, 4) astronomy, 5) astrology, 6) optics, 7) music, 8) geometry, 9) arithmetic? [...] Searching for a reason for this number, I did not go further than finding that it is equivalent to the letters of the expression 'Copernican astronomy'. (Kepler 1634, pp. 35-36)

In 1600, due to his Lutheran faith, Kepler was forced to leave Graz and joined Tycho Brahe (1546-1601) in Prague, at the court of Rudolf II (1552-1612). As in Kepler life, the figure of Tycho played a key role also in the *Somnium*:

I took a wonderful delight in the practice of astronomy. Brahe and his students watched the Moon and constellations all night with marvellous instruments. These activities reminded me of my mother: in fact, she used to talk to the Moon. (Kepler 1634, p. 3)

Unfortunately, the two astronomers spent only a very short time together since Brahe died in 1601. However, before dying, Brahe gave Kepler all his notes, collected over a

lifetime of observations, asking him to use them to prove the validity of the new planetary model that he had developed.

After Tycho's death, Kepler remained in Prague as Court Astronomer and that experience, during which the scientist devoted himself to the study of optics and whose results would later have led to the publication of *Astronomiæ pars optica* (1604), emerged in a passage of *Somnium*, where Kepler recalls that:

In the practice of certain observations that I often made in those years in Prague, every time spectators gathered around me. At first, I used to draw myself away from their conversation and, in a nearby corner of the house appointed for the purpose, I exclude daylight, preparing a small window with a very small hole, covering the opposite wall with white [...]. On a blackboard, with chalk, I wrote in capital letters what seemed to me suitable for those spectators, and the letters were turned backwards, from the right (there lies the magic rite), as in Hebrew. Then I hung this table outside, with the place of the letters turned to the Sun, so that what I had written was projected in the correct direction inside, on the white wall; and if a little wind stirred the writing, the letters on the wall moved with a corresponding wave motion (Kepler 1634, pp. 37-38).

The study of lights and shadows acquired a wider meaning in the *Somnium*, even at an allegorical level, due to the possibility of reaching the knowledge of celestial things through the measurement of their shadows (as it is the case during a Lunar eclipse). The years spent in Prague thus seemed to portend a bright future for the German astronomer, and in 1609 his studies led him to the publication of his most famous work - the *Astronomia Nova* - with which, for the first time, astronomy was no longer considered related to geometry, but became part of physics. In that work clearly emerged that Kepler model was based on three cornerstones: the Copernican heliocentric model, the observational data collected by Brahe, and the magnetic philosophy of William Gilbert (1544-1603).¹ In the same period, the observations made by Galileo Galilei (1564-1642), with his telescope, led to the discovery of lunar surface irregularities, a reality which was very far from the representation offered by the Aristotelian-Ptolemaic tradition. In that favourable climate, Kepler thus felt ready to dust off the manuscript of 1593: he decided to change its form and figured it as having been inspired by a dream that he had in 1608 (from which the title *Somnium*). He also decided to turn it into a work with an openly informative intent and, consequently, changed the language in which it had to be written from German to Latin.

3. The last journey

Unfortunately, the serene atmosphere surrounding Kepler's life did not last long and the astronomer had to postpone the publication of the *Somnium* once again. In 1611 Rudolf

¹ Author of *De Magnete*, according to which the Earth - being a large magnet rotating around an axis - produces a magnetic force which keeps the Moon revolving around it and makes the bodies fall on it.

He was forced to abdicate in favour of his deeply Catholic and intolerant brother Matthias (1557-1619) and a handwritten copy of the *Somnium* secretly began to circulate and fell into the wrong hands.² Moreover, his wife Barbara Muller (1574-1611) and his beloved son Friedrich (1604-1611) died within few months from each other. Kepler was thus forced to leave Prague, returned under the Catholics' control. That event can be found in the *Somnium*, even if reported in a more neutral way, when Kepler recalls that, after a few years with Tycho, "I desired to revisit my homeland again. I supposed that it would have not been hard for me, on account of the science I had acquired, to rise up to some degree of importance among my ignorant people" (Kepler 1634, p. 3).

Kepler thus moved to Linz, where he taught mathematics and devoted himself to astronomy and astrology (the astrological component has always been very strong in Kepler and can be found also in the continuous struggle between light and shadow, real and supernatural, which are all fundamental elements of the *Somnium*). The astronomer hoped he had put troubles behind him, but in 1615 his aged mother was accused of witchcraft. Since she was an herbalist and a healer, and her aunt had been burned at the stake for witchcraft, she was imprisoned on August 7th, 1620, and held in prison for 425 days (Connor 2003). The *Somnium* might even have played a central role in that unfortunate event, because of its clear autobiographical references; it could have led to believe that the magical rites performed by Duracoto's mother to evoke spirits and demons were real.

Kepler took charge of personally defending his mother: assisted by his friend Christoph Besold (1577-1638), he prepared a 128-page defence memoir, in which he refuted all the forty-nine charges, demonstrating that they were all falsehoods. After a long and exhausting trial, on October 7th, 1621, Katharina was finally declared free. Her health, however, had been deeply undermined by the long staying in jail, and she died on April 13th, 1622, leaving the astronomer remorseful for the rest of his life. In the period following the trial, after having published the *Epitome Astronomiæ Copernicanæ* (1618-1621), which is considered a *summa* of Kepler's whole work, and the *Harmonices Mundi* (1619), in which he tried to find a correspondence between the harmony and the motion of the planets, paying homage to Platonic philosophy and Pythagorean idea of the music of the spheres, the astronomer started working again at the *Somnium*, adding (between 1620 and 1630) most of the 223 explanatory notes, placed at the end of the tale.

In my essay there are as many lines as problems, which can be solved partly with astronomy, partly with physics, partly with history. How many people will try to solve them? [...] And thus, I decided to put some explanatory notes in the final section. (Kepler 1672, p. 48)

Even if the first book of the *Epitome* was put on the Index of Forbidden Books on February 28th, 1619, Kepler felt confident that the new Copernican astronomical model would have soon replaced the Aristotelian-Ptolemaic one. Thus, not fearing the negative

² Kepler claimed (Kepler 1634, p.32) that a copy of the *Somnium* had fallen in the hands of the poet John Donne (1572-1631), who - according to the astronomer - had made ironic allusions in his book *Ignatius His Conclave* (1611). However, that is chronologically impossible, since Kepler asserted that the manuscript of the *Somnium* was taken in 1611, but Donne wrote his work in late 1610 (Kepler 2003, p.212).

consequences deriving from the publication of his tale, Kepler put heart and soul in it and added an articulated commentary, mainly focused on the lunar geography, which constitutes the scientific heart of the entire book.

Unfortunately, Kepler could not see the publication of the work to which had devoted his entire life. On November 15th, 1630, when six pages of the manuscript had already been printed, his health conditions suddenly deteriorated, and the astronomer died in Regensburg. Daniel Tanner, a local chronicler, claimed that, in the last moments of consciousness, before taking his last breath, he repeatedly pointed his index finger at his head and at the sky (Kepler 1930, pp. 38,84). He was buried three days later, in the local cemetery, and the following night a partial lunar eclipse occurred. Just a mere coincidence or a sign of fate? Who knows? I leave each one of you to find your own answer, as there is often a very narrow line between what we really know and what we need to believe and dream of.

References

- Baumgardt C. (1951). *Johannes Kepler: Life and Letters*. New York City: Philosophical Library.
- Connor J. A. (2003). *Kepler's Witch: An Astronomer's Discovery of Cosmic Order Amid Religious War, Political Intrigue, and the Heresy Trial of His Mother*. San Francisco: HarperCollins Publishers.
- Kepler J. (1596). *Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium cosmographicum [...]*. Tübingeæ: Georgius Gruppenbachius.
- Kepler J. (1604). *Ad vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur [...]*. Francofurti: Claudium Marnium & Hæredes Ioannes Aubrii.
- Kepler J. (1609). *Astronomia nova αιτιολογητος, seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellæ Martis ex observationibus G.V. Tychoonis Brahe*. Heildeberg: Gottard Voëgelin.
- Kepler J. (1618). *Epitome astronomiæ copernicanæ*, vol. I. Lentijs ad Danubium: Johannes Plancus.
- Kepler J. (1619). *Harmonices mundi*. Lincii Austriae: sumptibus Godofredi Tampachii bibl. Francof.; excudebat Ioannes Plancus.
- Kepler J. (1634). *Somnium, seu opus posthumum de astronomia lunari*. Francofurti: Impressum partim Sagani Silesiorum.
- Kepler J. (1930). *Johannes Kepler-Der kaiserliche Mathematiker. Kepler-Festschrift, 1 Teil*. Regensburg: Graphische Kunstanstalt Heinrich Schiele.
- Kepler J. (2003). *Kepler's Somnium: The Dream, or Posthumous Work on Lunar Astronomy. Trans. with a commentary by Edward Rosen*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Kepler J. Bernegger M. (1672). *Epistolæ mutuae J. Kepleri & M. Berneggeri*. Argentorati: sumptibus Josiae Staedelii.
- Odifreddi P. (2017). *Dalla Terra alle Lune. Un viaggio cosmico in compagnia di Plutarco, Keplero e Huygens*. Milano: Rizzoli.

Kepler's Astronomy: An Interplay between Kinematics and Dynamics

Paolo Bussotti - DIUM, University of Udine - paolo.bussotti@uniud.it

Abstract: Within the research that I am developing on the transition from a merely kinematic approach to a dynamical one in the history of astronomy and physics,¹ Kepler plays a notable role. He is mainly known for his three planetary laws. However, Kepler did not only try to determine the kinematics of the solar system, he also developed a theory on the causes of the planetary motions. Kepler's theory of forces is not satisfactory, but his idea to provide a dynamical treatment of astronomy is revolutionary. Thus, I will first briefly analyse Kepler's kinematics, later on his basic dynamical ideas. Finally, I will concisely comment on his conceptions.

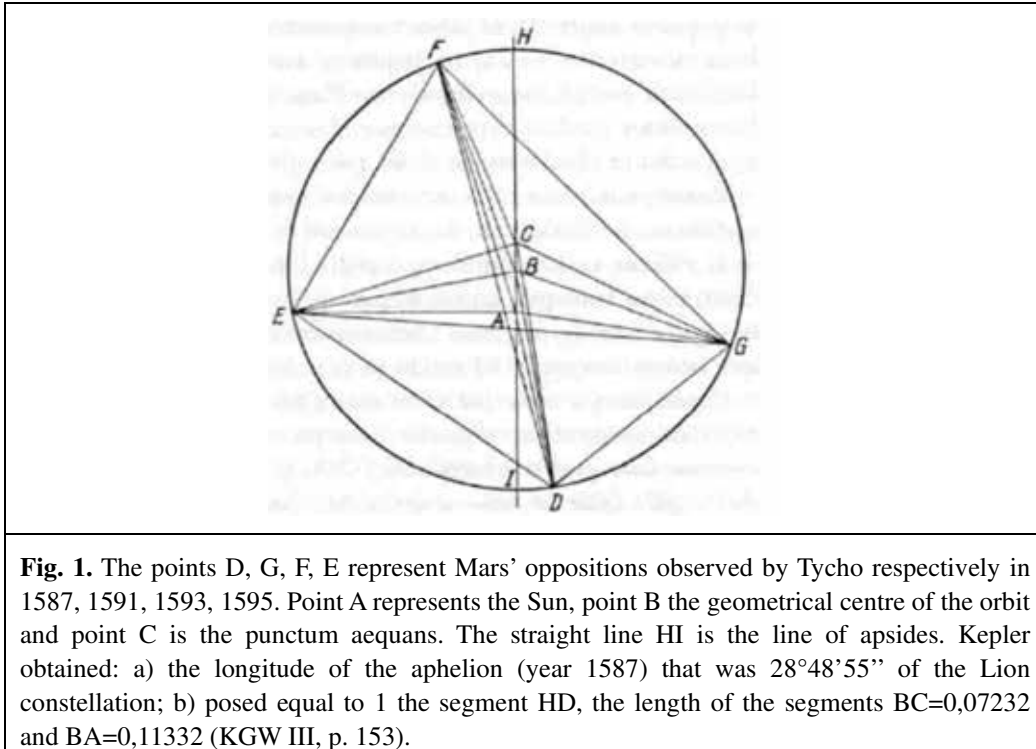
Keywords: Kepler, Relation kinematics-dynamics, Relation physics-astronomy.

1. Kepler's kinematics

The main purpose of *Astronomia nova* (Kepler 1609) is to determine the shape of Mars' orbit, which means to determine its parameters. Kepler focused on the determination of: 1) longitude of the nodes; 2) inclination of Mars' orbit in respect to the ecliptic; 3) position of the apses line; 4) eccentricity of the orbit. At the beginning of his investigations, which lasted from 1602 to 1609, he supposed that the orbit of Mars was an eccentric circle. He exploited the observations left by Tycho Brahe and relied on his own mathematical capabilities and patience in repeating long and exhausting series of calculations. Kepler was able to determine the longitude of the ascending node which is $46\frac{1}{3}$ degrees. He also proved that the plane of Mars' orbit is inclined by $1^{\circ}50'$ on the plane the ecliptic, that Mars' orbital plane is constant and that it passes through the Sun. The most difficult problems concern items 3) and 4) (See the second part of the *Astronomia nova*, chapters XIII and the XIV, entitled respectively *Investigatio inclinationis planorum eclipticae et orbitae Martis* (Kepler 1609, pp. 133-140) and *Plana eccentricorum sunt ἀταλαντα* (ibid., pp. 140-142)).

In order to determine the position of the line of apsides and the eccentricity of Mars' orbit, Kepler resorted to an eccentric model with *punctum aequans*. He named his construction *hypothesis vicaria* (see Fig. 1).

¹ Among the results of this long period research, see (Pisano, Bussotti 2018).



This model represented accurately the longitudes of all the twelve oppositions reported by Tycho, but failed to represent correctly the latitudes. Kepler hoped to save his model by posing $CB=BA=0,09282$, the so-called bisection of eccentricity, an old device used by Ptolemy in the context of geocentric astronomy. This supposition improved the model because Kepler represented correctly the positions of Mars at 90° from the apsides, but the positions at 45° , 135° , etc. from the apsides were represented with an error of $8'$. Because of the improvements in the precision of astronomical observations fostered by Tycho Brahe, Kepler regarded this error as incompatible with the standard of accuracy of his own theory. Thus, the model did not work, unless one admitted that the *punctum aequans* oscillates back and forth on the line of apsides, but – Kepler wrote – “I do not see how this can be reconciled with natural reasons” (Kepler 1609, p. 182).

Kepler began a *tour de force* which guided him to discover the ellipticity of the orbits. However, he first demonstrated that in the improved version of *hypothesis vicaria*: 1) a planet is swifter at perihelion and slower at aphelion, even if he was aware that, out of the apsides, his law is not exactly true, but only approximately;² 2) the distance law holds: the times for the planets to cross equal distances near the apsides are dependent on the distance Sun-planet. Kepler extended this law to the whole orbit, which is not correct (Kepler 1609, pp. 233-234). However, this first version of the area law is approximately true (see: Aiton 1969; Stephenson 1987; Davis 1992).

² In his *Principia* Book I, Section III, Proposition XVI, Corollary I, Newton established that, given an elliptical orbit in which the centripetal force is located in one of the two foci, the speed of the body in each point *P* is inversely as the perpendicular from the focus to the tangent at *P*.

Kepler abandoned the circularity of the orbits because he could not admit that the *punctum aequans* moves back and forth on the apsides line. After many attempts, he realized the orbit to be an ellipse. The crucial step towards this discovery was the particular value assumed by the secant of the maximum Mars' optical equation. Kepler understood that it was compatible with the orbit's elliptical form (Kepler 1609, Chapter LXVI).

Thus, in the 59th chapter of his masterpiece Kepler stated his first two laws:

[...] when Mars reciprocates on the diameter of an epicycle, its orbit becomes a perfect ellipse; and that the area of the circle measures the sum of the distances of points on the circumference of the ellipse (Kepler 1609, p. 367).³

The third law is presented in the *Harmonice mundi*:

But it is absolutely certain and exact that the proportion between the periodic times of any two planets is precisely the sesquialterate [namely 3/2] proportion of their mean distances, that is, of the actual spheres (Kepler 1619, p. 302).⁴

This law was deduced empirically, as was also the case with the ellipticity of the orbits. Kepler relied upon Tycho's observations, which he believed to be correct in defining the distances among the celestial spheres.

Therefore, from a logical point of view, the law of the orbit ellipticity and the third law were obtained by Kepler empirically and the area law was achieved extending to the ellipse a property discovered through the *hypothesis vicaria*, a hypothesis that, at the end, Kepler refused. However, the development of science does not rely only upon a series of logical deductions or on empirical data appropriately organized. Kepler was also guided by his dynamical and cosmological convictions. They do not belong to the logic of Kepler's kinematics, but inspired his researches within which his laws are included. Let us see some features of Kepler's dynamics.

2. Kepler's dynamics

With regard to the movements of the planets around the Sun, Kepler thought that four problems had to be solved: 1) what kind of force is responsible for the movement in longitude of the planets and according to which rule does this force act? 2) what kind of force can make the paths elliptical? 3) what kind of force is responsible for the movement in latitude of the planets? 4) what kind of force is responsible for the movement of the planet's apsides-line?

I offer an outline of the first two problems.

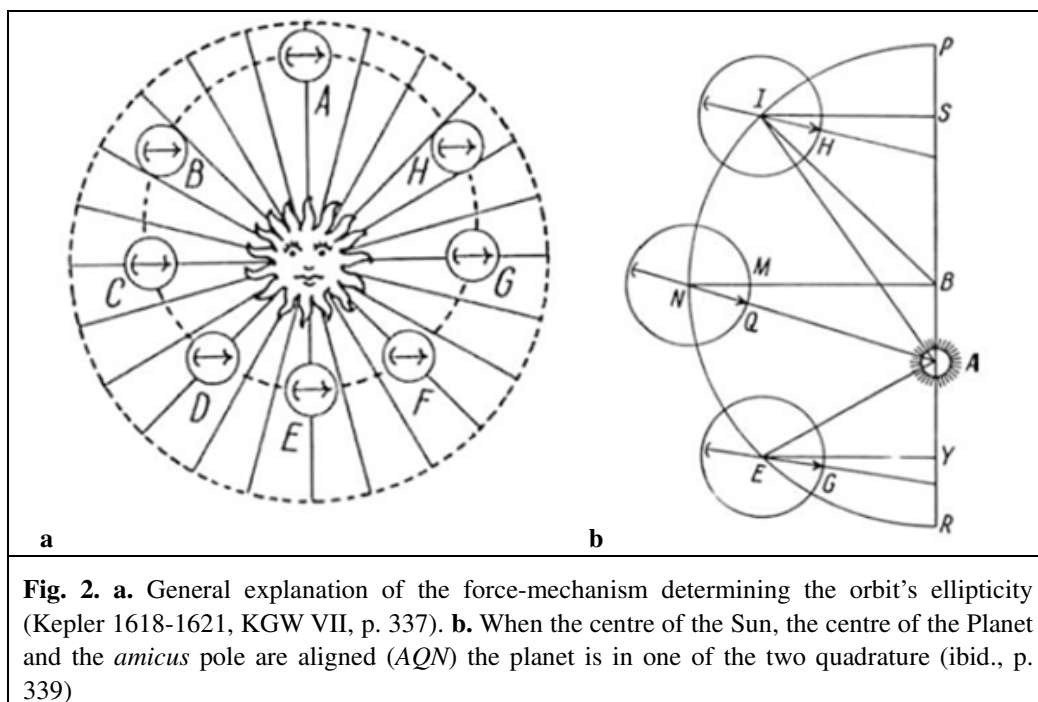
With regard to the mean motion in longitude Kepler thought that it was due to a force he named *virtus motrix*. It has the following main four features: a) it is located in the centre of the system, namely the Sun, which rotates around its axis. The *virtus motrix*

³ Translation in Kepler 1992, p. 577.

⁴ Translation in Kepler 1997, p. 411.

intensity decreases as the distance from the Sun (Kepler 1609, p. 237, lines 14–24); b) the *virtus motrix* depends on the rotation of the Sun. It is spread through a *species immateriata* (Kepler 1609, pp. 240–242) radiating from the Sun; c) The *virtus* is *promotoria* (produces movements), not *tractoria* (attracts). The *species immateriata* is not material by definition. However, it moves the planets. Kepler claimed that this is possible because the *species immateriata* is “not free from geometrical laws” (Kepler 1609, p. 241; Kepler 1992, p. 383). This assertion is remarkable: for Kepler the *species immateriata* is not something spiritual. He compared *species immateriata* with light, which is also neither a material nor a spiritual entity. The analogies between *species immateriata* and light are as numerous as important: 1) light is composed of an imponderable substance, that is different from *virtus motrix*'s *species immateriata*, but is equally imponderable and is subject to geometrical determinations; 2) light is emitted by any single point of the emanating surface (Kepler 1604, p. 20); 3) light propagates to infinity through rays. Each single ray does not miss its intensity while receding from the source because light, being imponderable, is subject to no resistance in its path (*ibid.*, pp. 20-21); 4) light propagates instantaneously; its speed is infinite (*ibid.*, p. 21).

All these characteristics also belong to the *species immateriata*. On the other hand, there are two significant differences: A) light's spread is prevented by the opaque bodies, whereas this is not the case for the *virtus motrix*; B) a point of the Sun's surface emanates *circulariter* (that is, “in circle”) the rays of the *species immateriata* composing the *virtus motrix*. This means that the intensity of the *virtus motrix* decreases as the distance from the source. Instead, light is spread from a source *orbiculariter*, namely “in a sphere”. Therefore, light's intensity decreases as the inverse square distance from the source.



As to the reasons because a planet moves in an ellipse, Kepler in the *Astronomia nova* introduced a further kind of force, the *libratory force*, of which a more precise characterization is offered in the *Epitome*. He regarded the Sun and the planets as magnets. The Sun is an enormous magnet, one pole of which is on the surface, while the other is internal. In respect to such Sun's magnetic pole, the planets have an attractive pole (which Kepler called *amicus*) and a repulsive, unfriendly one, called *discors*, indicated by the tail of the arrow (Fig. 2). When the *amicus* pole is directed towards the Sun, the planet approaches our star; when the *discors* pole is directed towards the Sun, the planet moves away.

Kepler also gave a mathematical description of the libratory force because he tried to deduce the ellipticity of the orbits and the area law from such description. For, the magnetic axis of the planet has an inertia, but it does not remain parallel to itself: its position changes slightly due to the magnetic attraction exerted on it by the Sun. However, Kepler first analysed the action of the libratory force supposing that the magnetic axis of the planet remains parallel to itself and, precisely, that it remains perpendicular to the apsides line. In the first part of the fifth book of the *Epitome* Kepler reasoned like this (see Fig. 3):

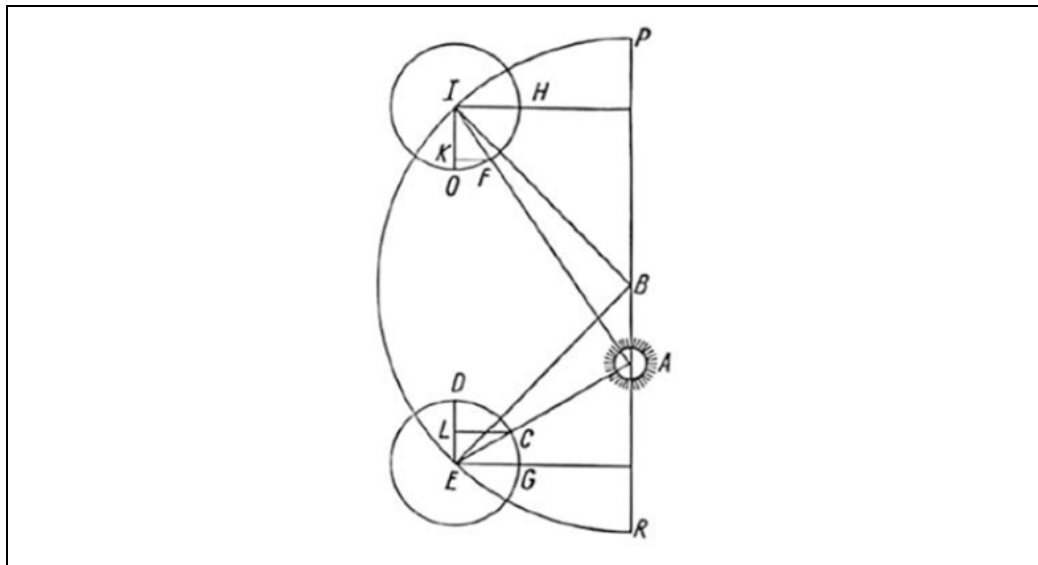


Fig. 3. Diagram referring to the situation described by Kepler (1618-1621, KGW VII, p. 369). Be A = Sun; I, E = different positions of the planet's centre; EG, IH = position of the planet's magnetic axis that remains perpendicular to RP during the planet's revolution; AI, AE = vector radius Sun-planet. Be drawn ED and IO parallel to RP. If the perpendiculars to these lines are drawn from F and C, they cut ED and IO in L and K, respectively. When the planet is in P and in R, its magnetic axis is perpendicular to the radius-vector Sun-planet and there is no magnetic attraction.

Kepler, then, developed his analysis considering that, in the movement of the planet from P to R, its radius-vector is not perpendicular to its magnetic axis and, hence, the Sun exerts a magnetic attraction. Kepler calculated its intensity in this way (see Fig. 4):

3. He proved that the constant of proportionality between the amount of libration and the eccentric anomaly is exactly the eccentricity of an ellipse.

The orbit itself is, thence, an ellipsis.

Kepler developed furtherly his reasoning until he reached the area law and what we now call Kepler's equation $\alpha = \beta + e \sin \beta$, where α is the mean anomaly, which is also the measure of the time necessary for a planet to reach a point P of eccentric anomaly β starting from the aphelion, and e is the eccentricity of the elliptical orbit.

Therefore: Kepler first developed a dynamical theory of the planetary movements. He mathematized in part this theory and, in his view, tried to deduce kinematics from dynamics. As a matter of fact, the opposite is true: Kepler knew that his three laws are valid, and he tried to adapt some features of his dynamic forces to such situation. Therefore, dynamics is deduced from kinematics. His dynamics is not obtained starting from the force expressed as function of some quantities (first of all, the distance Sun-planet). This approach needed the infinitesimal calculus, through which we can deduce that if the force is inverse as the distance an ellipse cannot be obtained. Notwithstanding these errors, Kepler's idea to reconduct kinematics to dynamics shows his greatness as a scientist.

Bibliography

- Aiton E.J. (1969). "Kepler's Second Law of Planetary Motion". *Isis*, 60 (1), pp. 75-90.
- Davis A.E.L. (1992). "Kepler's 'Distance Law'—Myth, not Reality". *Centaurus*, 35 (2), pp. 103-120.
- Kepler, J. (1604). *Ad Vitellionem paralipomena quibus astronomiae pars optica traditur*, in KGW, vol. II.
- Kepler, J. (1609). *Astronomia nova*, in KGW, vol. III.
- Kepler, J. (1618-1621). *Epitome astronomiae copernicanae*, in KGW, vol. VII.
- Kepler, J. (1619). *Harmonice mundi*, in KGW, vol. VI.
- Kepler, J. (1992). *New Astronomy*. Translation by W.H. Donahue. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kepler, J. (1997). *The Harmony of the World*. Translation by E.J. Aiton, A.M. Duncan, J.V. Field. Philadelphia: American Philosophical Society.
- KGW (1938-2017). Van Dyck W, Caspar M. et al. (eds), *Johannes Kepler Gesammelte Werke*. Revised April 2013. 20 Vols. München: Deutsche Forschungsgemeinschaft und Bayerische Akademie der Wissenschaften. Beck'sche Verlagsbuchhandlung.
- Pisano R., Bussotti P. (2018). *On the Conceptualization of Force in Johannes Kepler's Corpus: An Interplay Between Physics/Mathematics and Metaphysics*, in R. Pisano, J. Agassi, D. Drodzova (eds.), *Hypotheses and Perspectives in the History and Philosophy of Science. Homage to Alexandre Koyré 1892-1964*. Cham: Springer, pp. 295-345.
- Stephenson, B. (1987). *Kepler's Physical Astronomy*. New York - Berlin - Heidelberg - London - Paris - Tokyo: Springer.

Boscovich on Orbit Determination for Comets and Planets (1746-1785)

Luca Guzzardi - Università degli Studi di Milano - luca.guzzardi@unimi.it

Abstract: The problem of comet orbit determination has been one of the most important challenges in early modern astronomy since Newton's *Principia* at least, but came to an apex in the mid-eighteenth century, when many comets were being observed and a plurality of methods for calculating their paths with increasing precision emerged. My contribution studies Ruggiero Boscovich's contribution to this field from the early 1740s until his 1782 solution for Uranus orbit. He started with a modified form of Chéseaux's method of cometary path determination (*Dissertatio de cometis*, 1746), presented a more sophisticated version in the early 1770s (*De orbitis cometarum determinandis*, 1774), and finally advanced a method that could be applied to cometary and planetary paths as well (*Teoria del nuovo astro osservato prima in Inghilterra*, 1782; *Opera pertinentia ad opticam et astronomiam*, III, 1785). I show that (a) Boscovich was aware of the peculiarities of the problem of determining the orbit of a comet compared to that of a planet and the advancements made by other astronomers, but (b) at a certain point he changed his initial approach and strove for a method of growing generality. I claim that this feature was the most important merit of his last paper, making of it one of the most significant contributions of his time — despite some flaws and the limits of Boscovich's mainly geometric style of orbit determination.

SCIENTIFIC INSTRUMENTS

Skilled Scientific Instrument Makers in Rome in the 19th Century: The Lusvergh Family

Roberto Mantovani - University of Urbino "Carlo Bo" -
roberto.mantovani@uniurb.it

Abstract: There are numerous scientific instruments scattered in museums, scientific institutions, schools and private collections in Italy and throughout the world which bear the signature of the Lusvergh family. This distinctive family, originally from Munich, settled in Rome around the middle of the seventeenth century and worked there from father to son until the first half of the nineteenth century. Their surname is known in different variants: from Lusurg to Lusverg and then, especially in the 19th century, Luswergh or Lusvergh. It was undoubtedly the most extraordinary and long-lived family of scientific instrument makers operating in Italy. Their production initially focused on mathematical, gnomonic, astronomical and surveying instruments, became specialized in the nineteenth century in physical, astronomical, and, towards the middle of the century, photographic ones. In this period, four members of the family worked as makers, machinists and keepers of scientific instruments: the brothers Domenico and Luigi, then Angelo, Domenico's son, and finally Giacomo, Angelo's son. Their presence is documented in all the strategic places in Rome where studies in physics and astronomy were cultivated, i.e. the Observatory of the *Collegio Romano*, the Observatory of the University on the Capitoline Hill, the *Accademia dei Nuovi Lincei*, the *Collegio Nazareno* and the Physics Cabinet of the *Sapienza* University. During the century, the Lusverghs collaborated with important Roman scientists such as Feliciano Scarpellini, Saverio Barlocchi, Paolo Volpicelli, Angelo Secchi, Giambattista Pianciani and Ignazio Calandrelli. Angelo and Giacomo also worked in the Rome fire brigade, making themselves useful in constructing some portable hydraulic fire pumps models. In 1829, Angelo personally tested with a singular experiment for this brigade, the effectiveness of a new fireproof suit having an asbestos head protection designed in Rome by Marquis Origo.

L'inventario degli astrolabi in Italia. Descrizione del progetto e primi risultati

Giancarlo Truffa - Independent scholar e socio SISFA - truffag@gmail.com

Abstract: The astrolabe has been the most used instrument for the investigation of the sky for many centuries, both as an instrument for computation and as an instrument for observation. Starting from the thirties of the XX century several inventories of the astrolabes existing worldwide have been made. The most recent publications have been dedicated to the instruments of Indian and Spanish, both Islamic and Latin, origins. Starting from this documentation, and other available publications, like catalogues of museums and exhibitions, I begun to collect all the relevant information useful to update the inventory of the astrolabes existing in Italy and to provide detailed description for each instrument. After a presentation of the contents of the project, I will describe some instrument I already studied and some new identification based on the documentation collected until now.

Keywords: Italy, astronomical instruments, astrolabes.

1. L'astrolabio¹

Carlo Alfonso Nallino, uno dei più grandi studiosi del mondo arabo, che ha fornito importanti contributi alla storia dell'astronomia, diede questa definizione dello strumento nella voce dedicata all'astrolabio nell'Enciclopedia Treccani (Nallino, Silva 1930):

Nome di vari tipi di strumenti portatili astronomici di rame, di bronzo o di ottone (eccezionalmente di legno), usati fino al 18° sec. per il duplice scopo di determinare l'altezza del Sole o di un altro astro qualsiasi sull'orizzonte, e di risolvere speditamente problemi di astronomia sferica.

Il tipo più comune è costituito da uno spesso piatto o disco di metallo, con diametro di 10-20 cm, che si tiene in mano sospingendolo al pollice per mezzo di un anello inserito all'estremo di un diametro, in modo da disporlo nel piano verticale passante per l'astro: l'altezza (o distanza zenitale) di questo viene misurata guardandolo attraverso un'opportuna alidada (o diottra) rotante intorno a un asse centrato nel disco e munita di traguardi all'estremità.

Gli astronomi facevano scarso uso dell'astrolabio (insufficiente per le misure di precisione), che ebbe invece grandissima voga fra gli astrologi fino al 18° sec.

¹ I testi dedicati alla storia ed alla teoria dell'astrolabio in italiano non sono molti: Trento (1989). Questa edizione conteneva anche un modello di astrolabio in carta che purtroppo manca nella ristampa; Pizzamiglio (2007). Consiglio ancora l'articolo di North (1974) per la chiarezza ed il dettaglio di informazioni.

Come è indicato, l'astrolabio è uno strumento complesso, con molteplici funzioni, perché permette di prendere misure astronomiche, di determinare l'ora, il luogo geografico, è un calcolatore analogico, fornisce la rappresentazione in due dimensioni dell'universo in tre dimensioni ed è anche un oggetto artistico e rappresentativo, tuttora molto ambito dai collezionisti.

La forma più diffusa di astrolabio è l'**astrolabio planisferico**, composto dalla madre nella quale è ricavata una cavità dove trovano posto i timpani, fino ad un massimo di sette, ogni faccia dei quali ha la griglia di coordinate stereografiche polari per una specifica latitudine, e la rete, con la posizione delle stelle principali. Sul dorso della madre sono disegnati i cerchi graduati da utilizzare per l'osservazione e numerose curve per la misura del tempo e per calcoli ausiliari. Un cursore, posizionato sulla rete, serve per facilitare la lettura delle coordinate stellari, mentre un'alidada con traguardi è posizionata sul dorso per misurare l'altezza dei corpi celesti.

Per eliminare l'esigenza di molti timpani, nell'XI secolo il matematico arabo spagnolo Al-Zarqali inventò l'**astrolabio universale**, detto *safea*, in cui si utilizza la proiezione stereografica orizzontale per creare un'unica griglia di coordinate valida per ogni latitudine.

Una variante alla *safea*, inventata dal fiammingo Hugo Helt intorno alla metà del '500, fu descritta dallo spagnolo Juan de Rojas Sarmiento, da cui prende il nome di **astrolabio del Rojas** (Rojas 1550). In questo caso viene utilizzata una proiezione ortografica della sfera celeste in cui i paralleli diventano linee rette ed i meridiani delle semi-ellissi.

Esistono altri due tipi di astrolabio, l'**astrolabio sferico**, di cui esiste un solo esempio completo ed alcuni frammenti, e l'**astrolabio lineare**, conosciuto solo attraverso testi arabi manoscritti.

Invece non rientrano nella classe degli astrolabi la sfera armillare, la quale viene ancora confusa con l'astrolabio a causa del nome greco dello strumento, *astrolabon*, letteralmente "prendo gli astri", da cui è derivato anche il nome di astrolabio, e l'**astrolabio nautico**, che fu inventato probabilmente in Europa nel XV secolo e serve solo per determinare l'altezza di un corpo celeste.

2. Inventari e cataloghi

A partire dagli anni '30 del secolo scorso, diversi studiosi hanno prodotto degli inventari di strumenti scientifici conservati in collezioni pubbliche e private. Il primo fu il curatore del Museo di Storia della Scienza di Oxford, Robert T. Gunther (1869-1940), nel 1932 (Gunther 1932), seguito subito dopo la II guerra mondiale dall'ingegnere e collezionista belga, Henri Michel (1885-1981) (Michel 1947).

Nel 1955 Derek J. de Solla Price (1922-1983), fisico e storico inglese, divenuto poi docente a Yale e consulente dello Smithsonian Institution di Washington D.C., pubblicò (Price 1955) un elenco degli astrolabi conosciuti (abbreviato come IC), dove assegnò agli strumenti pubblicati da Gunther nel 1932 i numeri da 2 a 336, proseguendo

l'inventario fino al numero 1189. Gunther aveva elencato 8 astrolabi in collezioni italiane, mentre Price ne aggiunse altri 48.

Alla fine degli anni '50 anche la "Division of History of Science and Technology" (DHST) che fa parte della "International Union of History and Philosophy of Science and Technology" (IUHPST) caldeggiò la redazione di inventari della strumentazione scientifica in ogni paese membro. Per l'Italia furono pubblicati 5 volumi nel 1963 (Inventaire 1963), nel primo dei quali sono elencati una quarantina di astrolabi.

Sempre Price nel 1973, in collaborazione con Sharon L. Gibbs e Janice A. Henderson pubblicò un nuovo elenco (Gibbs *et al.* 1973), abbreviato CCA, dove proseguirono la lista IC dal numero 2000 fino al numero 3924 ed aggiunsero altri 28 astrolabi presenti in Italia

Agli inizi degli anni '90 David A. King, docente di storia della scienza alla Goethe-Universität di Francoforte sul Meno, in Germania, lanciò un progetto molto ambizioso di catalogazione di tutti gli strumenti conosciuti precedenti al 1500 ed ottenne un primo finanziamento dalla Fondazione per la ricerca tedesca, ma i fondi non vennero rinnovati ed il progetto abbandonato nel 1996. Recentemente King ha messo a disposizione su internet una versione preliminare del catalogo, dove ha proseguito la numerazione IC dal numero 4000 fino al numero 5000, con un incremento di altri 16 strumenti "italiani" (King 1996).

Complessivamente da questi inventari risultano un centinaio di strumenti in collezioni pubbliche e private.

3. Perché un nuovo inventario? Motivi ed approccio

I motivi per cui ho intrapreso questo progetto sono molteplici.

Innanzitutto ritengo sia importante conoscere dove e quali strumenti si trovano in Italia per poterli documentare il più dettagliatamente possibile, in modo che si possa valorizzarne l'importanza sia come bene scientifico che come bene artistico, cercando di sensibilizzare soprattutto le istituzioni dove le collezioni non sono a fine scientifico, nelle quali il bene scientifico è poco valutato e rimane poco studiato o addirittura ignorato.

Una miglior conoscenza del singolo strumento ci permetterebbe di documentare l'attività dei costruttori di strumenti, di cui si conosce ancora molto poco e, in particolare, di cercare di individuare i costruttori di strumenti non firmati o firmati in modo non riconoscibile.

La documentazione dettagliata del singolo strumento, attraverso schede e fotografie, soprattutto se pubblicate, potrebbe anche evitare il rischio di furti scoraggiando la possibilità di vendere gli strumenti.

Ovviamente uno studio approfondito potrebbe anche portare al riconoscimento di copie o, addirittura, di falsi, che purtroppo furono diffusi tra fine '800 ed il '900. Chiaramente si tratta di un argomento molto delicato comportando una revisione del valore anche economico dell'oggetto all'interno della collezione.

L'approccio iniziale del progetto è stata la preparazione di un elenco degli astrolabi esistenti in Italia in base ai precedenti inventari, a cataloghi di musei, di mostre e di vendite antiquarie. Contemporaneamente ho preparato uno schema di scheda da compilare per ogni strumento con il maggior numero di dati ed informazioni raccogliabili attraverso uno studio dello strumento (Fig. 1).

Strumento		Città		Collezione	
U. n.°	Inv. n.°	Costruttore	Data		
Materie	Caratteristiche	Spessore			
Elaborazione	Caratteristiche	Caratteristiche	Spessore		
Matte	Caratteristiche	Spessore	Materie		
Alfabeto	Caratteristiche	Caratteristiche	Materie		
Caratteristiche	Caratteristiche	Caratteristiche	Materie		
Forma	Caratteristiche	Caratteristiche	Materie		
Forma e qualità	Caratteristiche	Caratteristiche	Materie		
Scrittura	Caratteristiche	Caratteristiche	Materie		

Misure in cm.

Classificazione dello strumento nella rete							
no.	Nome dello strumento	Materiali	Decorazioni	Forme	Materiali	no.	no.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							
95							
96							
97							
98							
99							
100							

Fig. 1. Scheda da compilare per l'inventario

Partendo dai dati più dubbi, ho iniziato a contattare le istituzioni ed i collezionisti individuati per verificare l'esistenza degli strumenti, richiedendo di inviarmi la loro documentazione, se era disponibile, e foto di alta qualità degli strumenti.

Poi ho iniziato a visitare personalmente le collezioni che si sono dette disponibili allo studio dei loro strumenti, misurando e fotografando in dettaglio tutte le parti, in particolare la rete e le iscrizioni (Fig. 2). Purtroppo, non tutte le istituzioni sono disponibili a lasciar smontare gli strumenti o a fornire le foto richieste.

In particolare, per lo studio dei tipi di scrittura utilizzati sto cercando di coinvolgere uno studioso di paleografia, ed un esperto linguista per la lettura e traduzione degli astrolabi con scritte in arabo ed ebraico.

Come risultato finale, spero di pubblicare un catalogo generale di tutti gli strumenti conservati in Italia o almeno documentare le collezioni più importanti di cui manca un catalogo.



Fig. 2. Esempi della documentazione fotografica

4. Primi risultati

La consultazione degli inventari di strumenti, dei cataloghi di alcune raccolte pubbliche e di alcune mostre dove sono stati esposti degli strumenti, il contatto con alcune istituzioni ed alcune visite hanno permesso di redigere una lista aggiornata di astrolabi conservati in collezioni pubbliche (Fig. 3).

La situazione delle collezioni private è più complicata perché alcune sono state smembrate e, in buona parte, vendute all'estero perdendone le tracce sul mercato antiquario. In vari casi i collezionisti non sono disposti a pubblicizzare le loro collezioni.

Dai precedenti inventari è stato così possibile eliminare alcuni errori. Ad esempio al Museo Archeologico Nazionale di Perugia non si trova un astrolabio di Girolamo Della Volpaia (IC n.504) bensì un quadrante solare, oppure lo strumento indicato essere presso la Biblioteca Regionale di Palermo (IC n.512) si trova invece presso la Biblioteca Comunale di Palermo.

Il confronto con molte pubblicazioni che, a partire dai primi dell'800, hanno illustrato strumenti e raccolte non solo italiane, mi ha permesso di incominciare ad ottenere dei risultati interessanti, di cui fornisco due esempi.

Citta'	Istituzione	No
Bologna	Museo civico medievale	1?
	Universita'. Museo della Specola	2
Brescia	Musei Civici di Arte e Storia	2
	Pinacoteca Martinengo	1?
Castel Gandolfo	Specola vaticana	2
Catania	Castello Ursino	1
Faenza	Museo Torricelliano	2
Fano	Biblioteca Federiciana	1
Firenze	Fondazione Scienza e Tecnica	1
	Museo Galileo	23
	Museo Nazionale del Bargello	1
Genova	Museo Galata	1
	Societa' Ligure di Storia patria	2
Milano	Castello Sforzesco. Civiche raccolte d'arti applicate	3
	Pinacoteca Ambrosiana	7
	Museo Poldi Pezzoli	1
Modena	Galleria estense	1?
	Musei Civici	2
Napoli	Museo di Capodimonte	2
	Museo della Certosa e Museo Nazionale di San Martino, Sezione navale	6
Padova	Museo Civico di Arti applicate, Palazzo Zuckerman	1
	Universita'. Museo di Storia della Fisica	1
Palermo	Biblioteca Comunale	2
	Museo regionale?	?
Pavia	Musei dell'Universita'	2
Roma	Museo Astronomico e Copernicano	7 *
Torino	Musei Civici Palazzo Madama	1
	Musei Reali Palazzo Reale	1
Venezia	Museo Correr	1
	Museo Storico Navale	1
Totale		77
Legenda		Dubbi 4
Visitata		
Esiste catalogo o pubblicazione dettagliata		
Notizia non confermata		
* Gli astrolabi erano 14 prima del furto nel 1984		

Fig. 3. Elenco degli astrolabi in collezioni pubbliche italiane. Aggiornato al 30.09.2021

4.1 Gli astrolabi del Museo dell'Università di Pavia

Nel 1880 il conte vicentino Almerico da Schio, noto soprattutto per gli studi meteorologici, descrisse gli astrolabi latini della famiglia Conti-Barbaran (da Schio 1880, pp. 67-68):

Il Nob. Conte Giulio Conti-Barbaran possiede in Toara, terra del Vicentino, un completo corredo di strumenti Astrolabici e geometrici latini, composto di tre oggetti principali, oltre altri minori.

Di più grande è un disco d'ottone del diametro di quaranta centimetri. [...] Costituirebbero una specie di effemeride perpetua per il Sole, la Luna ed i cinque pianeti antichi, più un calendario con tutti gli elementi cronologici dei cicli solare, lunare, e delle feste mobili. [...]

Il secondo strumento ha il diametro di 23 centimetri [...], se non erro sarebbe quell'Astrolabio universale detto il Planisferio del Rojas [...]

Il terzo è un perfetto Astrolabio settentrionale di ottone del diametro di centimetri 22,7, [...]. Sull'armilla è scritto in caratteri majuscoli latini *Annibalis Raymundi Veronensis* [...]

Da un riscontro diretto, è stato possibile constatare che questi tre strumenti, due astrolabi ed uno strumento astrologico/calendario molto complesso, si trovano presso il Museo dell'Università di Pavia. Particolarmente interessante è l'astrolabio (IC n.2062) che porta la scritta di proprietà di Annibale Raimondo (Fig. 2), perché è composto da parti con scritte in caratteri gotici ed altre con caratteri rinascimentali. Annibale Raimondo (1505-1591), di origini veronesi, fu un medico ed astrologo molto noto, attivo a Venezia nella seconda metà del '500. Al momento non è stato possibile svolgere ricerche negli archivi del Museo e dell'Università per cercare di determinare quando e in che circostanza gli strumenti sono pervenuti all'Università di Pavia da una collezione privata vicentina. L'altro astrolabio (IC n.2063), databile a fine '500-inizi '600, è interessante perché presenta uno dei pochi esempi di astrolabio del Rojas presenti in Italia.

4.2 L'astrolabio della Biblioteca Federiciana di Fano (PU)

Presso la Biblioteca Federiciana di Fano è conservato un astrolabio firmato e datato *BERNARDINVS AVRIFEX HOC OPUS FECIT .P. 1565* (IC n.2058). Questo costruttore di strumenti è stato identificato con un Bernardino Campi (fine XV sec.-metà XVI sec.), orafo di Pesaro, di cui si sa solo che fu il padre di Bartolomeo Campi (1510-1573), famoso orafo ed architetto pesarese, al servizio dei Della Rovere e di Filippo II di Spagna.

Però molte caratteristiche di quest'astrolabio, dalla forma della rete, dei puntatori delle stelle, i caratteri utilizzati, il trono, sono simili a quelle di due altri astrolabi, uno conservato presso l'Adler Planetarium di Chicago (IC n.177), firmato *OPUS BERNARDINI ZABEI IN PADOVA* e datato *ANNO DOMINI 1559 MENSIS APRILIS*, ed il secondo conservato presso la Columbia University Library di New York, Rare Books and Manuscripts, Smith Collection, (IC n.545) anch'esso firmato *Patavii Bernardinvs Sabevs Faciebat MDLVIII*.

Bernardino Zabeo fu un orafo ed orologiaio padovano, morto intorno al 1575, il cui nome viene riportato in vari documenti presso gli archivi di Padova e di Venezia come *Bernardino Zabeo ab Horologiis de Padua quondam Baptistae* o *A Spheris* e come *maestro de horologi et astrolabii*. Nel 1550 partecipò al concorso per la riparazione e per il posto di regolatore dell'orologio di Piazza S. Marco a Venezia, concorso in cui presentò una relazione molto precisa sullo stato dell'orologio con una descrizione delle sue funzioni, mentre nel 1556 costruì l'orologio di Ponte di Brenta.

I dati anagrafici e la somiglianza tra i due strumenti firmati ed il terzo di Fano farebbero tendere all'attribuzione anche di questo terzo strumento a Bernardino Zabeo. Naturalmente ulteriori indagini documentarie e controlli degli strumenti potrebbero chiarire meglio la questione.

Bibliografia

- Schio (da), A. (1880). *Di due astrolabi in caratteri cufici occidentali trovati in Valdagno*. Venezia: Ferd. Ongania Editore.
- Nallino C.A., Silva G. (1930). "Astrolabio". *Enciclopedia italiana di scienze, lettere ed arti fondata da Giovanni Treccani*, vol. 5, pp. 96-98.
- Gibbs S.L., Henderson J.A., Price, D. (1973). *A computerized checklist of astrolabes*. [New Haven: Department of History and Science and Medicine, Yale University].
- Gunther R.T. (1932). *The astrolabes of the world*. Oxford: Oxford University Press. (Ristampato a London: North Holland, 1976).
- Inventaire des instruments conservés en Italie* (1963). Milano: Museo nazionale di storia della scienza e della tecnica Leonardo da Vinci
- King D.A. (1996). *A Catalogue of Medieval Astronomical Instruments* [online]. URL: <<https://davidaking.academia.edu/research#catalogueofmedievalastronomicalinstruments>> [data di accesso: 29/10/2021]
- Michel H. (1947). *Traite de l'astrolabe*. Paris: Gauthier-Villars, 1947 (ristampato a Parigi: Alain Brieux, 1976).
- North, J. (1974). "L'astrolabio". *Le scienze*, 68, pp. 62-73.
- Pizzamiglio P. (2007). *Astrolabi per misurare cielo e terra*. Brescia: Editrice La scuola.
- Price, D. (1955). "An International Checklist of Astrolabes". *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 8, pp. 243-263, 363-381.
- Rojas Sarmiento J. (1550). *Commentariorum in astrolabium quod planisphaerium vocant: libri sex nunc primum in lucem editi, ...* Lutetiae: apud Vascosanum.
- Trento P. (1989). *L'astrolabio: storia, funzioni, costruzione*. Roma: Biblioteca del vascello. (ristampato a Viterbo: Stampa alternativa /Nuovi equilibri, 2011).

Le Sfere Planetarie di Giove, Venere, Luna e Sole & Ottava sfera nei Musei Civici di Vicenza: note relative al loro ritrovamento ed aspetti storico-didattici descrittivi

Attilio Giovanni Carolo - Ricercatore indipendente - atcarol@tin.it

Abstract: This communication presents four mid-16th-century planetary models found during an investigation, started in 2015, on a 19th-century composite apparatus of Physics objects and machines that is now part of the Musei Civici di Vicenza collection. Planetary models were tools used to represent the Cosmos according to the Ptolemaic system, and each one of them was designed to show the movements of a single celestial body in conformity with the observations gathered by astronomers up to the time. The Vicenza planetary models were probably made in Venice around the third quarter of the 16th century and can be attributed to A. Descroliers, a manufacturer who had trained in Leuven. They were conceived as interpretative tools of the Ptolemaic system as illustrated in G. von Peurbach's *Theoricae Novae Planetarum* (1472) and later Commentaries. Sparse bibliographic traces can only allow to speculate that they belonged to the Paduan Wunderkammer of archpriest Paolo Gualdo – known to maintain a friendly relationship with G. Galilei – in the 17th century; in 1621, they were inherited by the Museum of Palazzo Gualdo in Pusterla in Vicenza; in later times, they were then dispersed following the dismemberment of the Museum from 1650 on and returned to Vicenza in 1708.

Keywords: Sfere planetarie, Theoricae planetarum, Musei Civici Vicenza.

1. Introduzione

Nella comunicazione si presentano le quattro Sfere Planetarie (SP) riferite ai corpi celesti Venere, Giove, Luna e Sole, quest'ultima comprensiva di un'altra, la Ottava Sfera (Fig. 1). Si tratta di reperti databili alla seconda metà del '500, rinvenuti al Museo Naturalistico-Archeologico di Vicenza ad inizio 2016, dove si trovavano accomunati in un composito repertorio di strumenti e macchine di fisica ottocentesco – denominato “del Fusinieri” – una raccolta posta a magazzino che non risultava studiata e inventariata in precedenza.

Vengono inoltre delineate, nei termini che si porrebbero in una visita guidata: una ricostruzione della loro realizzazione, i passaggi con cui giunsero al Museo Civico di Vicenza e delle ipotesi di presentazione a un pubblico di visitatori interessato ad un approfondimento tematico quale il confronto tra il sistema geocentrico di Tolomeo e il sistema eliocentrico di Copernico.



Fig. 1. Da sinistra, le Sfere Planetarie di Sole, Luna, Venere, Giove nei Musei Civici di Vicenza (prima del restauro avvenuto nell’ottobre 2017, presso il Centro Conservazione Restauro “La Venaria Reale”, Torino).

2. Le Sfere Planetarie, note di presentazione generale

Denominate anche “Theoriche dei pianeti”, le SP in esame sono dei modelli in metallo realizzate alcuni decenni antecedenti le prime osservazioni telescopiche, al pari dei non molti altri esemplari di cui si ha conoscenza, conservati presso i Musei Vaticani, il Museo Galileo di Firenze, il Deutsches Museum di Monaco di Baviera, l’Adler Planetarium di Chicago.

Fecero la loro comparsa come strumenti dimostrativi ben dopo le già diffuse Sfere Armillari, proprio nei decenni in cui il mondo delle sfere concepito da Tolomeo, oltre a confliggere con il modello proposto nel 1543 da Copernico, non riusciva a dare risposta e non poteva accogliere le osservazioni e le misurazioni astronomiche che via via venivano raccolte dagli astronomi. Principalmente non accoglieva i rilievi di Tycho Brahe che riferivano della Stella Nova apparsa nel 1572 - vista brillare per più di un anno - e della cometa osservata nel 1577 a una distanza dalla Terra di almeno 230 raggi terrestri, nello spazio che nel modello tolemaico doveva essere occupato dalla sfera di Venere (Rigutti 1999, pp. 72-78).

Nella loro realizzazione, le SP furono concepite a fini didattici (Poulle 2007, p. 352). Davano infatti dimostrazione di come potessero prodursi i moti degli astri erranti allora noti (Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove, Saturno), così come si osservavano dalla Terra, attorno alla quale si riteneva ruotassero, muovendosi sullo sfondo della sfera delle stelle fisse; astri che si osservavano cambiare nel tempo di dimensione, di luminosità, di velocità e soprattutto, in certi tratti, di direzione e verso di moto. Si ritiene che le SP abbiano avuto concezione e progettazione dagli assunti del trattato astronomico di George von Peurbach, (1423-1461) *Theoricae novae planetarum* (edito

postumo nel 1472) e che siano state ispirate inoltre dai contributi di molti autori europei espressi nei *Commentari* successivi alle riedizioni dell'opera e alle sue numerose traduzioni. In ogni singolo modello di SP, l'agire di un peculiare accostamento di sfere, una interna all'altra, consentiva di dare dimostrazione nello spazio a tre dimensioni di come si ottenesse il moto composto risultante del singolo astro attorno alla Terra, da considerarsi ferma e al centro del Cosmo. L'astro osservabile dalla Terra viene rappresentato, nella specifica sfera intestataria, da una Sferula. Ogni corpo celeste, dalla Luna fino a Saturno, come proposto da G. von Peurbach (Lerner 2000, pp. 169-176), doveva avere un proprio "cielo" particolare, delimitato da due superfici sferiche concentriche, che necessariamente confinava con un altro "cielo" più piccolo inglobato internamente, e con un "cielo" più grande, ad esso esterno, da cui era contenuto. La Luna internamente confinava con la sfera del Fuoco; Saturno, il pianeta errante più lontano dalla Terra, esternamente confinava con la Ottava sfera.

Come presentazioni al pubblico, intervallate da lunghe eclissi, le SP sono state esposte a Vicenza: all'inaugurazione del Museo Civico nel 1855; al Museo Naturalistico Archeologico ad ottobre 2016. Da novembre 2017 a marzo 2018 sono state esposte anche al Palazzo del Monte di Pietà a Padova, alla Mostra "Rivoluzione Galileo. L'arte incontra la scienza".

3. Descrizione fisica e note di rilevamento

Le quattro sfere presentano tutte una struttura portante esterna costituita da tre anelli a sezione rettangolare, tra loro ortogonali. Gli anelli rappresentano il coluro degli equinozi, il coluro dei solstizi e l'eclittica, unico anello dei tre a riportare delle incisioni – le dodici case dello zodiaco, ciascuna graduata in unità, raggruppate per cinque, per dieci, fino a trenta divisioni. Interna alla singola struttura portante, vi è la Sfera Totale (il cielo) del corpo celeste, costituita da una successione di sfere, ciascuna solo prefigurata con una coppia di dischi piatti tra loro ortogonali e unitamente saldati. Il numero di coppie formate da un disco traforato (posto in verticale) e da un piatto traforato (disposto orizzontalmente) tra loro connessi a formare un corpo unico (un orbe) è di tre: si riferiscono all'orbe superiore, all'orbe inferiore e all'orbe intermedio. In ogni esemplare, internamente all'orbe inferiore, una cavità sferica rappresenta lo spazio dove si può immaginare si collochino i "cieli" più interni. Sul lembo dei coluri sono avvitati: in alto, un apparato di sospensione esterno; in basso, un manico per l'impugnatura (Fig. 2).

3.1. Note di rilevamento

Materiale di costruzione: ottone, ad eccezione dei perni di rotazione in acciaio; diametro delle sfere: 200 mm; altezza totale sfera: 300 mm (considerando la lunghezza del manico-impugnatura); altezza del piedistallo in legno: 14 cm; spessore dei dischi e piatti traforati: 1,5 mm. Per ogni SP si sono trascritte le iscrizioni in lingua latina incise sui singoli orbi costituenti e si è ritenuto opportuno raccogliere nei particolari, con una serie di schizzi a mano libera, alcuni congegni meccanici che sono stati adottati dal costruttore.



Fig. 2. Sfera Planetaria di Venere, Musei Civici di Vicenza.

4. Caratteristiche osservate

Dall'analisi comparativa con le immagini delle SP conservate ai Musei Vaticani¹ e con le rappresentazioni grafiche delle *Theoricae* che aprono i capitoli dell'opera di G. von Peurbach, sono state rilevate altre specifiche connotazioni. Nella sfera Luna è mancante un intero Orbe, il più esterno; nella sfera Sole, invece, è rappresentata in più un'altra sfera costituita da tre anelli tra loro ortogonali, contigua alla più esterna propria della sfera Sole, munita sull'eclittica di due congegni che le consentono, quale Ottava Sfera, di dare dimostrazione del moto oscillatorio di trepidazione degli equinozi (congegni meccanici analoghi nel funzionamento e nella disposizione a quelli posizionati in alcuni rari modelli di sfere armillari pervenute ai giorni nostri, realizzati a metà '500². Analizzando l'immagine della SP Giove conservata al Deutsches Museum³, si è colta un'identica esecuzione generale e alcuni particolari costitutivi che compaiono anche nella sfera in nostro possesso, dove invece manca la rappresentazione di un'altra sfera, la più esterna a tutte.

¹ Si veda: [Astrum 2009] URL: <https://www.danilopivato.com/introduction/articles/astrum_2009/pages/astrum2009_1.htm> [data di accesso: 28/10/2021].

² Si veda: [Sfera armillare]. URL: <<http://divulgazione.fisica.unipd.it/musei-e-mostre/museo-di-storia-della-scienza/loggetto-del-mese-del-museo-di-storia-della-fisica/marzo-2013-sfera-armillare/>> [data di accesso: 28/10/2021].

³ Si veda: [Planetolabium] <URL: <https://digital.deutsches-museum.de/item/19641/>> [data di accesso: 28/10/2021].

5. Attribuzione

Le Sfere non sono firmate ma sono attribuibili ad Adrien Descroliers. L'attribuzione è stata ricavata dal confronto con i simili modelli di sfere conservate ai Musei Vaticani (Fig. 3), in particolare i modelli del moto solare e del moto lunare (Chinnici 2009, p. 136).



Fig. 3. Sfere del Sole conservate presso i Musei Vaticani (sx) e i Musei Civici di Vicenza (dx).

Adrien Descroliers (c.1550-c.1585), probabilmente originario di Angers, si forma a partire dal 1564 a Lovanio, città del Bramante Fiammingo, dove apprende alla scuola-bottega di Gualterus Arsenius (c.1530-c.1580) l'arte della lavorazione dei metalli, dell'incisione e del tracciamento delle suddivisioni nei cerchi graduati; una volta lasciata la città di formazione, dal 1571 al 1579 compie un viaggio in Europa, che lo vedrà nel Nord Italia (a Venezia, a Bondeno - Ferrara e a Mantova), per portarsi successivamente ad Anversa e poi a Parigi.⁴ Altri punti che concorrono a sostegno dell'attribuzione vengono da E. Poulle, secondo cui, a Lovanio, di una nuova serie di strumenti si realizzarono «perfino alcuni *Theorice orbium*, che sono dimostrazioni della scomposizione su più orbite dei movimenti dei pianeti» (Poulle 2007, p. 358), e dall'ipotesi avanzata nella scheda di presentazione del quarto di cerchio astrolabico conservato dal Musée Paul-Dupuy di Tolosa,⁵ dove si afferma che i tre astrolabi firmati Descroliers sono praticamente identici a quelli realizzati da Gualterus Arsenius, e viene avanzata l'ipotesi che nel suo viaggiare per l'Europa Descroliers possa avere agito sia come artefice che esercitava la propria professione, sia quale rappresentante della produzione tecnico-scientifica avente origine nelle officine-botteghe del comparto produttivo di Lovanio. A sostegno di quest'ipotesi, si ricorda quanto sostiene Anthony Tur-

⁴ Cfr. [Adrianus Descrolieres] URL: <<http://www.mhs.ox.ac.uk/epact/maker.php?MakerID=11>> [data di accesso: 28/10/2021].

⁵ Cfr. [Astrolabe quart de cercle] URL: <http://2000ans2000images.toulouse.fr/fr/search-notice/detail/gmhp1479nws4tvka8eo2t34vj3t2yvlbsl4ekehq4cpauepm7> [data di accesso: 28/10/2021].

ner (Turner 1991, pp.7-8), che cita Descroliers tra gli artigiani itineranti, che passavano da un centro universitario all'altro e da una corte all'altra dei vari patroni, a prestare la propria opera e alla ricerca di acquirenti e di committenze.

6. Uso divulgativo delle Sfere Planetarie

Le SP sono presenti a Vicenza dal 1708 (Sbicego, Merlo 2008, pp. 105-131). Ne giunsero sei, unitamente ai testi della libreria e ai molti beni d'arte della donazione che il giureconsulto della Serenissima Giovanni Maria Bertoli aveva disposto passassero alla patria città (due sfere si pensa siano andate disperse nell'incendio al Museo del 18 marzo 1945, causato da bombardamento aereo). Si ipotizza che il Bertoli le possa avere acquistate dagli eredi Gualdo quando iniziarono a vendere le varie collezioni raccolte nel Museo di Chà Gualdo alla Pusterla. Tra le raccolte, le «macchine usate in quell'età a dispiegare la celeste meccanica colla dottrina di Tolomeo» citate da A. Magrini potevano essere le SP in esame (Magrini 1856). Ripresentarle pubblicamente oggi acquisisce valore su vari fronti: a fini didattici, per le classi di studenti interessate ad approfondire il tema delle concezioni cosmologiche; per gli studiosi di strumentaria storica, in quanto i quattro esemplari si possono ritenere opera dello stesso artefice dei modelli nei Musei Vaticani e al Deutsches Museum di Monaco di Baviera; in ambito cittadino, considerando il repertorio scientifico che era al Museo Gualdo (Puppi 1972), la Wunderkammer di P. Gualdo, risalendo infine alle vicende della prima Scuola di Astronomia istituita a Vicenza dall'Accademia Olimpica nel 1557.

Bibliografia

- Chinnici I. (a cura di) (2009). *ASTRUM 2009. Astronomia e Strumenti. Il patrimonio storico italiano quattrocento anni dopo Galileo. Catalogo della mostra*. Livorno: Sillabe.
- Lerner M.P. (2000). *Il mondo delle sfere*. Milano: La Nuova Italia.
- Magrini A. (1856). *Notizie di Girolamo Gualdo fondatore del M. Gualdo nel sec. XVI*. Vicenza, Paroni.
- Poullé E. (2007). *La produzione di strumenti scientifici*, in *Il Rinascimento Italiano e l'Europa*, vol III. Costabissara (Vicenza): Angelo Colla Editore.
- Puppi L. (a cura di) (1972). *1650. Giardino di Chà Gualdo*. Firenze: L.S. Olschki Editore.
- Rigutti M. (1999). *Storia dell'Astronomia occidentale*. Firenze: Giunti.
- Sbicego L., Merlo S. (2008). *La libreria di Giovanni Maria Bertoli*, in *300 anni di Bertoliana*, vol I. Vicenza: Biblioteca Civica Bertoliana.
- Turner A.J. (1991). "Gli strumenti scientifici 1500-1900". *I nuovi quaderni dell'antiquariato*, 37.

The KN3000 Accelerator and the History of the Nuclear Physics in Florence in the Last Three Decades of the Past Century through a Museum Itinerary

Mariaelena Fedi - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sezione di Firenze - mariaelena.fedi@fi.infn.it

Samuele Straulino - Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze - samuele.straulino@unifi.it

Abstract: The “Garbasso” building housed the Institute (later Department) of Physics of the University of Florence from 1921 to the early 2000s. It was built on the hill of Arcetri, close to the Astronomical Observatory and to the Villa that many years earlier had hosted Galileo. Among many research activities developed here during almost the entire 20th century, the history of the KN3000 accelerator is really interesting. In fact, the electron injector of the *electrosynchrotron* installed by CNEN in Frascati, once dismissed, was assigned in 1971 to the nuclear physics group in Florence and here was converted to a positive-ion accelerator, exploiting the locally available technological expertise. Afterwards, it has been used for research in pure and applied nuclear physics for three decades. After the installation in 2003 of a 3 MV Tandem accelerator in the new Physics Department of the University, in Sesto Fiorentino, thanks to a special funding by INFN, the KN3000 was decommissioned and left in the room where it has been in operation for years. After a long period of inactivity, part of the original staff suggested to restore the accelerator and the associated equipment to create a museum exhibition. In the planned museum, the accelerator is one of the stages of a wider route which, together with Villa Galileo, also includes two institutions whose operations are still based on the hill of Arcetri: Observatory (OAA-INAF) and National Institute of Optics (INO-CNR). The accelerator project, mainly funded by Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze and the University of Firenze (UNIFI) and receiving significant support from INFN, will be completed by the first half of 2023.

Keywords: Particle Accelerator, Nuclear Physics, Galileo Galilei.

1. Arcetri

The hill of Arcetri represents a place of natural beauty, history and science, as the aerial photo taken in 1985 (Fig. 1) suggests. Four main buildings can be identified: the so-called Garbasso building (A), which housed the University's Physics Department, the CNR – National Institute of Optics (B), the Solar Tower (C) and the Arcetri Observato-

ry (D) of the National Institute of Astrophysics (INAF). Since the early 2000s, the Physics Department (currently Physics and Astronomy Department) has moved to the new University scientific area, located in Sesto Fiorentino. However, the hill remains a living place of science, as activities are still ongoing at CNR – INO and INAF. Moreover, the Garbasso building houses now the Galileo Galilei Institute (GGI) for theoretical physics, a national center for advanced studies of the National Institute of Nuclear Physics (INFN), while some rooms of the same building are kept by University members working at the nearby Observatory. “Villa il Gioiello”, where Galileo stayed in the last years of his life, is a few hundred meters away from the Department. The Villa has recently undergone restoration and rearrangement interventions; it is at present one of the interest points of the “Sistema Museale” of the University of Florence. On May 17, 2013 the hill of Arcetri was declared a historic site of the European Physical Society because of the history of the Institutes, the significance of the research carried out in the past decades and the high level of the scientists who worked there.

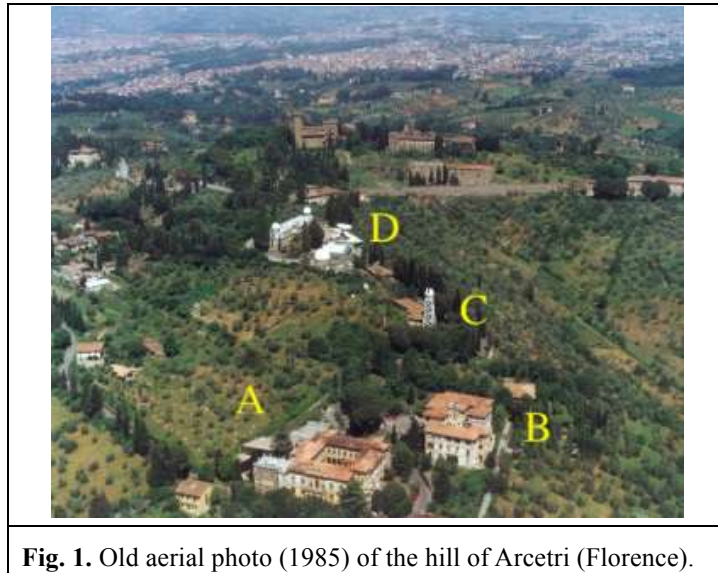


Fig. 1. Old aerial photo (1985) of the hill of Arcetri (Florence).

At the beginning, the leading actor of this story of the Physics Department was Antonio Garbasso, who got the idea of making a new building to house the Physics Institute, which in the early 20th century was located in the center of Florence. Garbasso offered the local scientific community a more comfortable and suitable environment for the research that was developing in those years. The building was inaugurated on November 7, 1921. Garbasso was an undisputed protagonist not only from a logistical and architectural point of view, but also because he recruited many important figures for the nascent university, including people of absolute importance, such as Rita Brunetti, Vasco Ronchi, Franco Rasetti, Enrico Fermi, Enrico Persico, Bruno Rossi, Beppo Occhialini, Gilberto Bernardini, Daria Bocciarelli, Giulio Racah: for this reason, historians of science refer to the “school of Arcetri” when speaking about scientists working there in that period. Several photos illustrate those years’ life in Arcetri, such as the one re-

ported in Fig. 2, showing a moment of ease during a lunch among colleagues. The activities carried out in Arcetri in 1920's and 1930's can be reconstructed through many testimonies. As an example, Michele Della Corte reports when, as a high school student, went with his class to the hill of Arcetri in the early 1930's: "Basically there were two fields of research: some problems of nuclear physics concerning, if I remember correctly, the interactions of alpha particles with nuclei, and cosmic radiation. It was the first time I had heard of this topic and I was fascinated by it. With great clarity Bernardini explained to us the structure and functioning of the Geiger counters and the coincidence records recently devised by Bruno Rossi" (Della Corte 1999). A complete picture of the activities carried out in that period at the Institute of Physics is outlined in (Casalbuoni *et al.* 2021).



Fig. 2. A lunch in Arcetri around 1935. From left to right: Lorenzo Emo Capodilista, Beatrice Crinò, Gilberto Bernardini, Attilio Colacevich, Daria Bocciarelli.

2. Nuclear Physics with accelerators in Florence

In the following years, research activities in nuclear and subnuclear physics became increasingly differentiated. In the specific case described here, the installation of the first particle accelerator, named PN400, is worth to be mentioned. The PN400 accelerator, which is now on display in the entrance hall of the Department of Physics and Astronomy in Sesto Fiorentino, was installed in a small bunker connected to the main building. It had a terminal voltage of 400 kV and, being equipped with a source for hydrogen ions, was capable of accelerating protons and deuterons. By using this accelerator, nuclear physics studies were carried out, in particular production of isomeric states, measurements of decay times and cross sections. The research group initially included Manlio Mandò (leader), Tito Fazzini, Piergiorgio Bizzeti, Anna Maria Bizzeti-Sona, Mario Bocciolini, Giuliano di Caporiacco, Pietro Sona, Paolo Maurenzig, Nello Tacchetti, Paolo Blasi.

At the end of the 1960s, this accelerator was not powerful enough for the planned researches and the nuclear group faced the problem of purchasing or acquiring a new machine. Some years before, in the INFN National Laboratories of Frascati, the *electro-synchrotron* had been assembled; its injector was an accelerator for electrons (KS3000) built in 1956 by High Voltage Engineering Corporation (Massachusetts), which had remained in operation until the end of the 1960s. When the KS3000 in Frascati was going to be dismissed, the Florence group applied for the assignment of this accelerator and this was moved to Arcetri in the early seventies. Here, with a great deal of work by technicians and researchers, it was converted into a positive ion accelerator and renamed KN3000. In the meantime, the laboratory was also expanded: a larger bunker was built with a new measurement room. In Fig. 3 the location of the accelerator in the period 1982–2003 is shown. At the beginning, only nuclear spectroscopy measurements were made with the KN3000 machine. However, the group composed of Piergiorgio Bizzeti, Maurizio Bini, Tito Fazzini, Paolo Maurenzig, Andrea Perego, Giacomo Poggi, Pietro Sona, Nello Taccetti was dedicated to measurements of parity violation of nuclei (FWEIN and WEIN2 experiments) (Taccetti 2017). The FWEIN apparatus is shown in Fig. 4: in this picture we can see some people who today promote the recovery of the accelerator as a museum.

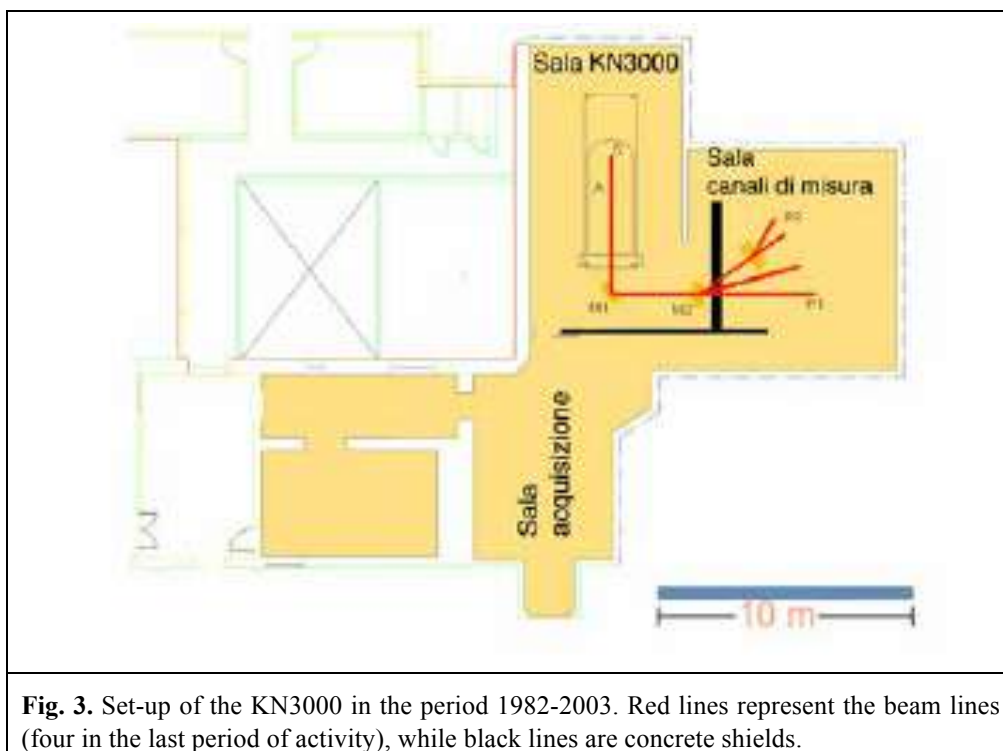


Fig. 3. Set-up of the KN3000 in the period 1982-2003. Red lines represent the beam lines (four in the last period of activity), while black lines are concrete shields.

In the subsequent years, further developments took place, especially from the mid-1980s. Mainly thanks to the initiative of Pier Andrea Mandò, the accelerator began to be used also for measurements in the fields of environmental physics and cultural heritage, with a measurement channel dedicated to these studies (Mandò 2013). Over time,

such activities became prevalent among those carried out at the accelerator, since the nuclear group has moved to other experimental themes, such as the dynamics of collisions among nuclei, which required larger accelerators in other experimental sites in Italy and abroad. In Fig. 5, the external beam set-up to study artworks and environmental samples is shown: this is one of the first miniatures analyzed using the PIXE technique around 1986. PIXE (Particle Induced X-ray Emission) allows us to obtain information about the elements present in an object or a sample, analyzing the characteristic X-rays emitted from the material under study after irradiation by the accelerated protons. This method can be used to study the composition of any material that can be brought to the laboratory, such as the atmospheric particulate matter collected on filters or the pigments in ancient miniatures, as in the example shown in the figure. A great technological advance of those years was the achievement of the external beam: this made irradiating the object under study much easier and safer, basically removing the need to collect samples, thus contributing to enhance the non-invasivity and non-destructivity characteristics of PIXE.

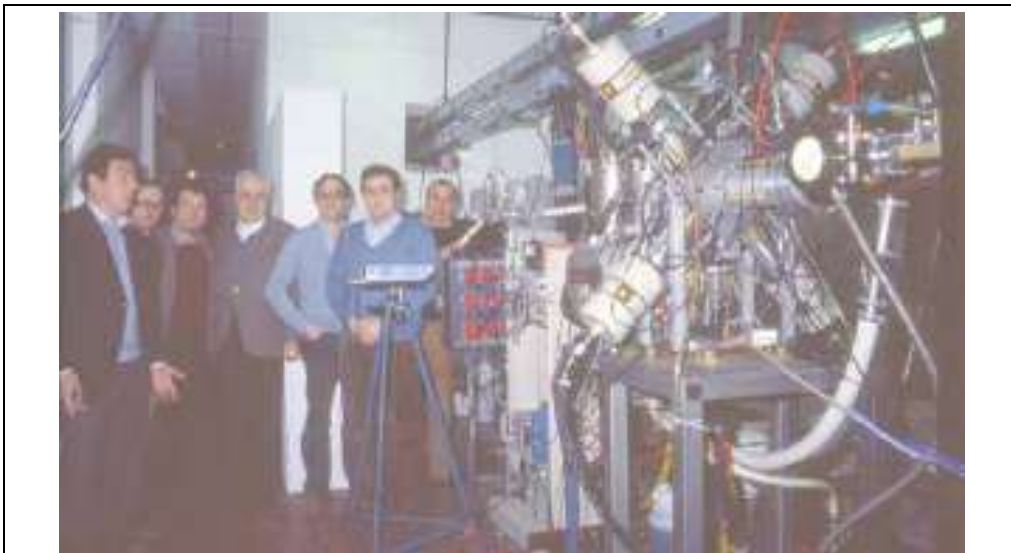
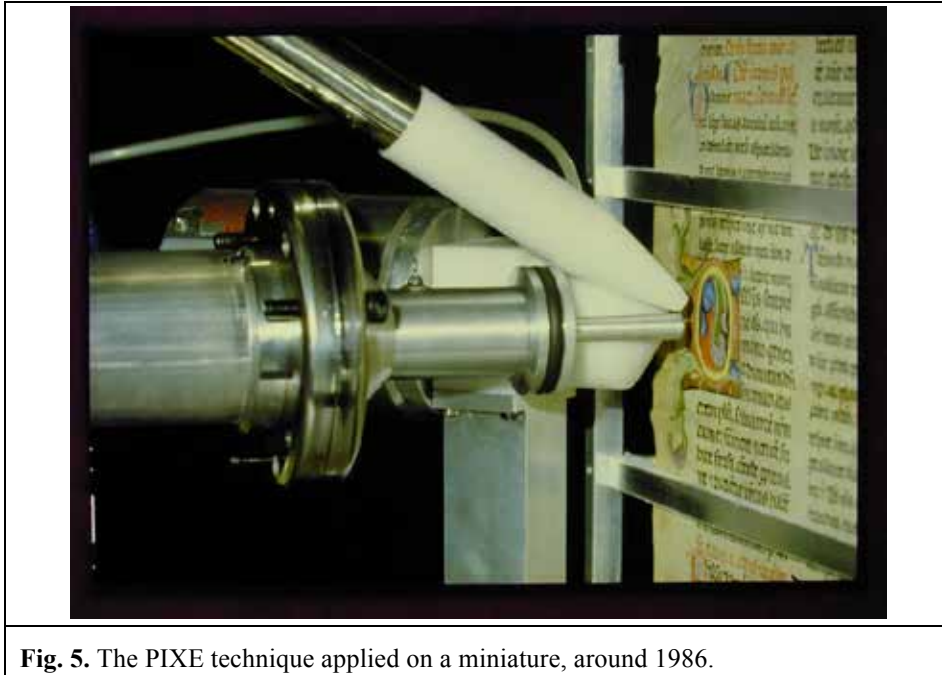


Fig. 4. A picture of the FWEIN experiment in the 1980's. From left to right: N. Taccetti, P. Calonaci, M. Bini, T. Fazzini, P. Del Carmine, G. Poggi and A. Pecchioli.

These studies have continued until 2003, when the definitive transfer to the Sesto Fiorentino new site took place. Here, in the laboratory called LABEC, Laboratory of Nuclear Techniques for the Environment and Cultural Heritage, a new Tandem accelerator funded by INFN was installed. In continuity with what have been started in Arcetri, but also expanding the experimental capabilities and the fields of application, many techniques are today commonly applied and developed, such as Ion Beam Analysis (IBA), including PIXE, Accelerator Mass Spectrometry (AMS), implantations, detector tests.



3. The “route of science in Arcetri”

The laboratories in Arcetri thus remained empty and rapidly deteriorated due to some infiltration of water from the ceiling. Despite the apparent decay, the people who had worked on the KN3000 facility had the idea to enhance the accelerator in a museum sense, to reconstruct a part of the Florentine physics of the 20th century. In 2016, the proposal of creating an educational-scientific itinerary on the hill of Arcetri was born, involving all the institutions there present (UNIFI, INFN, INO-CNR, OAA-INAF).

There were several reasons promoting this idea: the intense dissemination activity of the Observatory, which has ever welcomed many school classes until the beginning of the pandemic emergency in 2020, the renewed attendance of “Villa Il Gioiello” for scientific meetings, the proposal of the restoration of the accelerator by old users and the existence, starting from 2011, of a collaboration agreement (“Il Colle di Galileo”) among the aforementioned institutions that are present in loco. In 2018, the proposed “route of science in Arcetri” has really started, thanks to the availability of funding from the Cassa di Risparmio di Firenze Foundation. It represents a scientific and educational path consisting of various stages, located in those buildings that one can meet along the internal road of the Campus (the KN3000 accelerator within the Garbasso building, the National Institute of Optics, the Arcetri Astrophysical Observatory), also including “Villa il Gioiello” for its valuable historical significance.

For the accelerator stage, a restoration of the laboratories, financed by the University of Florence, will start shortly, and a subsequent museum installation will be created (a project has been prepared and discussed in detail and is in the final approval stage).

The set-up will be of educational type, to allow visiting students and general public to discover and understand basics of radioactivity and how the machine worked.

In the entrance corridor, the history of nuclear physics research in the building is highlighted through portraits of scientists and the main achievements reached by the Florentine school. Then visitors enter a first room dedicated to natural radioactivity, where we plan to show simple radiation detection by Geiger counters and more advanced measurements using germanium detectors. In the same room, a detector will count the incoming cosmic rays using the coincidence circuit by Bruno Rossi. In the next room, a small Van de Graaff generator, as an example of an electrostatic machine capable of reaching high potential differences, and a fine beam tube, to show the magnetic deflection of an electron beam in a low pressure tube, are placed: these devices explain the fundamental working principles of the accelerator. Then visitors enter the accelerator room: here they find a large room, as the dividing walls serving as shields, drawn in black in Fig. 3, will be demolished. Two measurement points will be reconstructed, even though without obviously restoring the functionality of the particle accelerator. One channel will be dedicated to the experiments carried out in the past on fundamental physics studies and the other one to measurements in the applied physics field.

Acknowledgements

Special thanks to prof. Giacomo Poggi, president of the Colle di Arcetri Committee, who is coordinating these activities, already in an advanced stage of development, also for his help with this manuscript. Authors wish also to acknowledge other people who contribute to the renaissance of the KN3000 as a museum: Oscar Adriani (director of INFN – Firenze), Franco Celletti, Stefania De Curtis (director of GGI – INFN), Piero Del Carmine, Daniele Dominici (director of the journal “Il Colle di Galileo”), Duccio Fanelli (head of the Physics and Astronomy Department, University of Florence), Pier Andrea Mandò, Andrea Stefanini and Nello Taccetti.

References

- 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.
- Della Corte M. (1999). *L’Istituto di Fisica in Arcetri nei ricordi di Michele Della Corte* [online]. URL: <<http://www.fisica.unifi.it>>.
- Mandò P.A. (2013). “Nascita e prime fasi della attività di fisica nucleare applicata a Firenze”. *Il Colle di Galileo*, 2 (2), pp. 27-42.
- Taccetti N. (2017). “Fisica con gli acceleratori in Arcetri”. *Il Colle di Galileo*, 6 (1), pp. 19-38.

SCIENTIFIC MUSEUMS

Behind the Exhibit: Displaying Science and Technology at the National Museum of Science and Technology “Leonardo da Vinci” in Milan

Elena Canadelli - Università di Padova - elena.canadelli@unipd.it

Abstract: Science and technology museums are important places of production, appropriation, and dissemination of scientific and technical knowledge. Created in the nineteenth century, these museums expanded in the interwar years thanks to the financial support of both the state and private industry. Many industrial museums opened in those years, while many existing museums planned to transfer their collections and exhibitions into new and more spacious buildings. From the very beginning, politics had a significant impact on the history of these museums and on the narratives they wanted to communicate. After World War I, as temples of progress, innovation and political and economic supremacy, many of these museums flourished, directed by two opposing drives: on the one hand, a growing technological nationalism, and on the other hand, a strong ideal of internationalism among nations. My talk focuses on the case study of the Italian National Museum of Science and Technology “Leonardo da Vinci” in Milan and the great interest in science and technology exhibitions and museums that spread throughout Italy during the 1930s. The museum was established in 1953 in Milan under the auspices of Guido Ucelli, an influential engineer working as general manager at Riva. Ucelli had been trying for a long time to create a museum of technical and industrial devices following the main examples in the field. The opening of the museum dedicated to the “genius” of Leonardo was the result of a long and complex planning phase that lasted more than twenty years and had its roots in the 1930s. The story of this museum allows us to retrace the long-term and complex process that in post-unification Italy has led to recognize, also by the law, scientific collections and museums as cultural heritage.

The New History of Physics Museum in Padua - Exploring the Potentialities of a University Physics Collection

Sofia Talas - Museum of the History of Physics, University of Padua -
sofia.talas@unipd.it

Abstract: The Museum of the History of Physics holds thousands of scientific instruments that were used for physics research and teaching in Padua from the 18th century onwards. It was founded in 1995. We have just developed a project to renovate the Museum, with the aim of shedding new light on the potentialities of Padua University physics collection.

The paper will discuss some of the main peculiarities of the new display, which actually brings the public into Padua's Cabinet of Physics and shows how physics was taught and studied in Padua from the 18th century onwards. We will see how connections with the global developments of physics emerge throughout the visit, as well as links with other disciplines, such as art and architecture. Stories of successes and failures come to light, often connected to the political, social and economic context, and we will see how instruments themselves offer food for thought on current issues in science and society.

Visiting the Museo della Specola in Palermo through Virtual and Augmented Reality

Laura Daricello - INAF OA Palermo - laura.daricello@inaf.it

Laura Leonardi - INAF OA Palermo - laura.leonardi@inaf.it

Ileana Chinnici - INAF OA Palermo - ileana.chinnici@inaf.it

Manuela Coniglio - INAF OA Palermo - manuela.coniglio@inaf.it

Donatella Randazzo - INAF OA Palermo - donatella.randazzo@inaf.it

Salvatore Speciale - INAF OA Palermo - salvatore.speciale@inaf.it

Abstract: The INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo (OAPa) has recently implemented some ICT solutions to enhance and spread the knowledge of the Museo della Specola and of the archival and book heritage preserved in the Observatory. These innovative tools, which offer personalized forms of learning and give access to additional information on request, have made the museum more reachable to the public even during the pandemic and have enlarged the audience of users of the historical heritage preserved at the Specola. The context also takes into account the guidelines and the objectives of the three-Year Plan for the Digitization and Innovation of Museums of the Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities and in the National Plan for the Digitization of Cultural Heritage as outlined in the three-year plan for the digitization of the Italian Public. All these projects and experiments are the result of the synergies between the members of the Communication, Education and Outreach Team and the members of the Heritage Team of OAPa and are part of the museum communication plan drawn up in collaboration with Dr. Martina Sanzeri - OAPa contractor in 2019 - and constitute its development and application. From March 2021, some experiments and research activities in the field of AR and VR for the valorization and enhancement of the museum are included in the activities of the PRIN financed by INAF “Virtual Reality and Augmented Reality for Science, Education and Outreach”. Virtual and augmented reality are the new frontier in the field of the enhancement and the valorization of cultural heritage and answer to the need to make objects and contexts more accessible.

Keywords: Scientific Cultural Heritage, Virtual and augmented reality, INAF Palermo Observatory.

1. Introduction

Inaugurated in 2001, the Museo della Specola mainly exhibits scientific instruments dating back to the 18th-19th centuries, which are part of the heritage deriving from the over-200-years activity of the Observatory. The collections, owned by the University of Palermo and managed by OAPa, are housed in the premises of the old *Specola Panormitana*, founded on the top of the Royal Palace in 1790 by Ferdinand I of Bourbon. In order to make the museum more accessible to the public, the Communication and Education and Outreach Service and the Cultural Heritage Team of the OAPa have worked in synergy to experiment and implement some new communication technologies to enhance and spread the knowledge of the Museo della Specola. These initiatives are the development and application of the museum communication plan drawn up in collaboration with Dr. Martina Sanzeri - OAPa contractor in 2019.

2. Experiments with augmented reality

2.1. AR app to enhance the museum

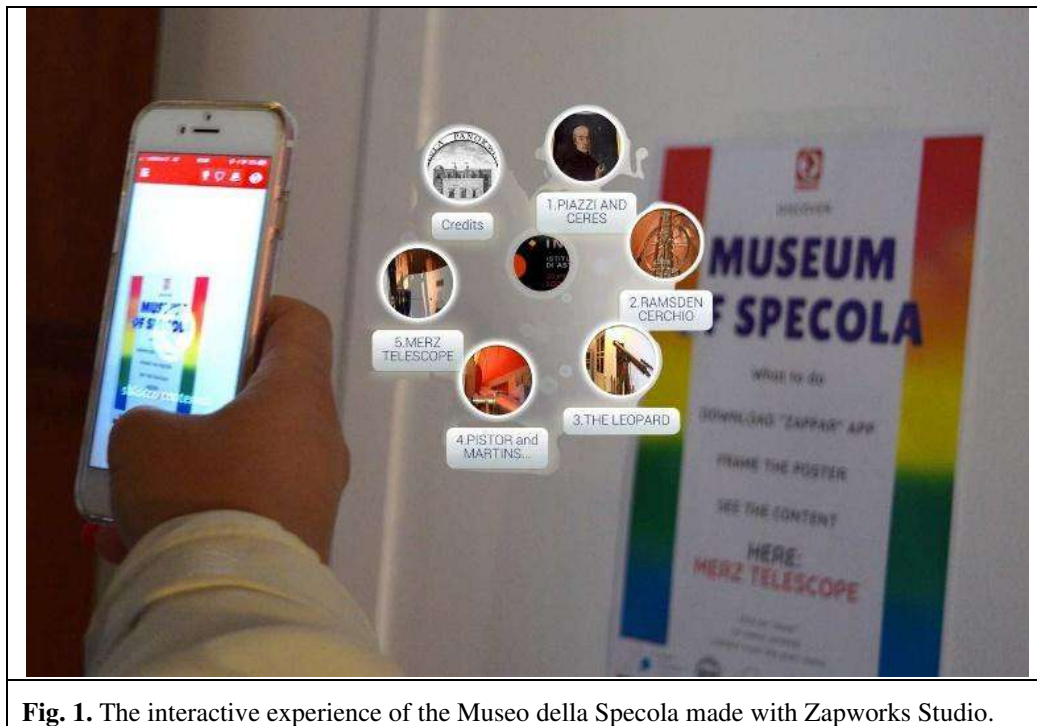


Fig. 1. The interactive experience of the Museo della Specola made with Zapworks Studio.

The OAPa started experimenting with augmented reality to promote the Museo della Specola in 2018-2019, with two projects: an interactive experience of the Museo della Specola (Fig. 1), that allows the public to interact with the instruments collected inside the museum and with the history of the Observatory and at the same time to move inside

the museum;¹ an augmented reality virtual tour of the museum, presented in 2018 at a Science Festival in Palermo, which gives access to extra contents. All these materials can be reached simply using a smartphone to scan a code and by downloading for free the Zappar app. In the recent years other augmented reality projects have been developed, both for education and outreach activities, and for scientific purposes.

“**Selfie at the Museo della Specola**” is an interactive experience in AR created with Metaverse software; simply by positioning yourself in front of a white wall, the app allows you to take and share on social networks images of yourself together with some instruments of the museum. This tool attracted many students during a science festival.

2.2. Multimedia products with AR and VR made for scientific or outreach purposes

In November 2020 Ileana Chinnici (astronomer at OAPa - her main field of research is history of 19th-century astronomy) was asked to illustrate a virtual tour of the Museo della Specola² for the Antique Telescope Society (ATS) Virtual Conference (Fig. 2). In this occasion, the OAPa made a video with augmented and virtual reality effects to present the museum and its collections and share scientific information with other scholars and researchers. In March 2021 the Scientific Instrument Commission (SIC) hosted a virtual visit to the Museo della Specola³. With the use of a multimedia product with AR/VR effects, Ileana Chinnici shared with other scientists a selection of interesting items collected in the museum.



Fig. 2. One of the Leopard’s Telescope in the video for the ATS Virtual Conference in 2020.

¹ <https://edu.inaf.it/news/per-la-scuola/la-realta-aumentata-per-il-museo-della-specola-dellosservatorio-astronomico-di-palermo/>

² ATS video: <https://www.youtube.com/watch?v=lGuLDTg8eIM>

³ SIC video: <https://www.youtube.com/watch?v=VOVjdEf9axs>

In both the videos, the voice of the researcher accompanies the visitor to discover the museum through a journey in which the real spaces are “augmented” and enriched by images and additional information. The instruments are taken up and explained in a careful way. These products were highly appreciated for their communicative effectiveness.

3. The virtual tour of the Museo della Specola

In 2019 we started thinking about making a virtual tour of museum and then to publish it on the web to virtually open it to the public and schools even during the pandemic. We used the technique of photogrammetry with a high-resolution camera to photograph instruments and rooms, to create usable 3D objects and import them into an open source javascript library for the visualization, and to carry out the perspective conversion from a curved image to a flat image on the monitor. The virtual navigation (Fig. 3) gives the possibility to move between the rooms, accompanied by a narrator and supported by a map, text boxes and a menu and to get closer to the historical items collected. In many cases, we inserted high-resolution navigable photos to see the most minute details of some instruments (see: <http://virtuale.oapa.inaf.it/SpecolaVirtuale.html>).



Fig. 3. A screenshot of the virtual tour of the Museo della Specola.

4. Experiments with virtual reality: 3D models of some scientific items and volumes kept in the Museo della Specola

Between 2019 and 2021, we made 3D models of some scientific items and volumes kept in the Museo della Specola and in the library of the Observatory. OAPa made models of the plaster bust of Father Angelo Secchi⁴ (Domenico Costantino, ca. 1870), of the plaster bust of Giuseppe Piazzi⁵ (Villareale School, early second half of the 19th century), of the Pendulum Clock⁶ (Cumming & Grant, London, 1790), of a late 19th century model of Mars⁷ and of the Terrestrial globe⁸ (Bonne, late 18th century). There are also the 3D models of Angelo Secchi's three-volume work entitled *Le soleil: exposé des principales découvertes modernes sur la structure de cet astre, son influence dans l'univers et ses relations avec les autres corps célestes. 2. éd., revue et augmentée*, published in 1875-1877,⁹ and an animation of the *Atlas céleste de Flamsteed (1776)*¹⁰ preserved in the OAPd Historical Library. All the models are published on Sketchfab, the world's leading platform for sharing content in virtual reality, and some of them can also be reached from the virtual tour of the museum. The high-definition reproduction of a three-dimensional model can now be considered practice in the field of cultural heritage documentation. It gives the possibility of examining an item in its details and allows to obtain data and information, which can be useful for fruition, restoration and conservation.

5. The digital collections of the cultural heritage preserved in OAPa

With the aim of preserving and enhancing fruition of our cultural heritage, the OAPa Heritage Team has recently developed a project to create digital collections of the items of historical interest kept inside OAPa. This kind of initiative provides for the convergence of categories of collections traditionally separated from each other. This trend, condensed in the acronyms MAB (Museums, Archives and Libraries) and GLAM (Gallery, Library, Archive and Museum), is increasingly shared in the national and international panorama of cultural heritage, also from a cataloguing point of view. The historical heritage of OAPa, testimony of its life through the centuries, fits particularly well with this approach, as it brings together heterogeneous resources such as archival papers, books, scientific instruments, works of art, furnishings, architectural elements, which are deeply connected to each other and constitute the pieces of a single cultural mosaic. To realize the project, we chose the Omeka platform,¹¹ an open Source content Management System for the creation and management of digital collections characterized by ease of use by both administrators and users (Fig. 4).

⁴ <https://sketchfab.com/3d-models/angelo-secchi-6a6cd525b0484756bdf6ed319cddf6b>

⁵ <https://sketchfab.com/3d-models/giuseppe-piazzi-85093b5c5b5a4dec878aca872bc2ba87>

⁶ <https://sketchfab.com/3d-models/orologio-a-pendolo-cumming-grant-1300c9e69ddb410ba955996eab931e99>

⁷ <https://sketchfab.com/3d-models/modello-di-marte-b4acf1ef2fc14891bea1c8f873d571fa>

⁸ <https://sketchfab.com/3d-models/globo-terrestre-bonne-79d6f25a93474cc7861fb126b96d1274>

⁹ <https://sketchfab.com/3d-models/asecchi-le-soleil-1875-1877-fd4bf792a13f420ebebcb8aef25012ada>

¹⁰ <https://sketchfab.com/3d-models/animation-of-atlas-celeste-de-flamsteed-1776-7b86416a83264f4f9a2e333de6247052>

¹¹ www.omeka.org

With the Dublin Core as a resource description standard, Omeka has the advantage of offering full interoperability with major cultural metadata aggregators, such as Europeana.¹² Its information architecture is based on two essential elements: the document (item), and the collection. Each item in a synthetic form offers essential information, provided with internal links to other items of collections present on the platform and to other external online resources available, including the catalog cards present on the INAF 'Polvere di Stelle' portal or the 3D resources shown above. In this way, Omeka can be configured as a real dynamic virtual museum. Another important function available on Omeka is the creation of virtual exhibitions with the items already cataloged on the platform, which follow itineraries that can be divided into sections and enriched with textual descriptions. Furthermore, the images and main information relating to each single item can be easily shared on the main social networks. Work on the Omeka platform is constantly in progress, as it is continuously enriched in terms of resources and connections (see: <http://starlod.astropa.inaf.it/>).



6. An eBook on the foundation of the Specola in Palermo

Among its resources, the Omeka platform also presents a recently published eBook on the foundation of the Specola.

The connection between the platform and the collections allows the reader to make real-time insights into instruments, books, tools, archive papers and architectural elements mentioned in the text and cataloged in Omeka (see: <http://starlod.astropa.inaf.it/ebook>).

¹² www.europeana.eu

7. The Facebook and Instagram accounts of the Museo della Specola

The Museo della Specola has recently opened accounts on Facebook (www.facebook.com/Specola.Palermo) and Instagram (www.instagram.com/specola.palermo) in order to expand its cultural offer to an ever wider audience, with whom to share stories and insights on the museum, archival and book heritage of the Palermo Astronomical Observatory and on the characters who animated the life of the Specola in Palermo.

References

- [*Piano Nazionale di Digitalizzazione dei Beni Culturali* (2018). Ministero per i Beni e le Attività Culturali]. URL: <http://pnd.beniculturali.it/il-piano/> [access date: 3/11/2021].
- [*Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei* (2019). Ministero per i Beni e le Attività Culturali]. URL: <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l%E2%80%99Innovazione-dei-Musei.pdf> [access date: 3/11/2021].
- Bianchini, C., Guerrini, M. (2014). *Introduzione a RDA. Linee guida per rappresentare e scoprire le risorse*. Milano: Editrice Bibliografica.
- Guerrini, M. (2020). *Dalla catalogazione alla metadattazione: tracce di un percorso*. Roma: Associazione Italiana Biblioteche.
- Guerrini, M., Possemato, T. (2015). *Linked data per Biblioteche, Archivi e Musei*. Milano: Editrice Bibliografica.
- Leonardi L. (2019). *La realtà aumentata per il Museo della Specola dell'Osservatorio Astronomico di Palermo* [online at Edu Inaf]. URL: <https://edu.inaf.it/news/per-la-scuola/la-realta-aumentata-per-il-museo-della-specola-dellosservatorio-astronomico-di-palermo/> [access date: 12/11/2021]
- Leonardi, L., Daricello, L. and Giacomini L. (2021). *Learning astronomy through Augmented Reality: EduINAF resources to enhance students' motivation and understanding*, in *Europlanet Science Congress 2021* [online]. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2021/EPSC2021-530.html> [access date: 12/11/2021]
- Randazzo, D., Coniglio, M, Chinnici, I. (2021). *Creating and sharing a LAM digital collection*, in *Proceedings of the IX LISA: Multidimensional Astronomy Librarianship* (online, 14-18 June 2021). (in press).
- Salarelli, A. (2016). "Management of small digital collections with Omeka: The MoRE experience (A Museum of REfused and unrealised art projects)", *Bibliothecae.It*, 5(2), pp.177–200.
- Zanazzi, A., Daricello, L., Leonardi, L., Di Benedetto, C. and Tuscano, M. L. (2021). *Attracting public interest in astronomy through art and cultural heritage*, in *Europlanet Science Congress 2021* [online]. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2021/EPSC2021-740.html> [access date: 12/11/2021]

Scientific Collections and Preventive Conservation

Anna Giatti - Fondazione Scienza e Tecnica, Firenze - collezioni@fstfirenze.it

Abstract: Cultural objects can be prone to degradation as a result of the environment in their enclosures such as display cases or crates. Scientific instruments are no different, and their preservation must take into consideration the variety of materials they are made from as well as the condition of their exhibition spaces and storage areas. A Preventive Conservation¹ approach foresees a series of measures aimed at containing or avoiding the elements of degradation in cultural heritage and is now considered a core objective especially for small- and medium-sized museums. These collection spaces are often far from ideal because they are in historical buildings, often without accurate climate control systems. Preventive conservation often struggles to become an integrated part of collections management and this may be linked to a lack of skilled or specifically allocated professionals in charge of the collections. The European Project Apache (Active & intelligent PAcKaging materials and display cases as a tool for preventive conservation of Cultural Heritage) aims to contribute to widespread adoption of Preventive Conservation by identifying and disseminating novel and affordable approaches, materials, and sensors. The Fondazione Scienza e Tecnica (FST) of Florence is a member of the project consortium, contributing case studies from their scientific and technological collections and in my presentation I will provide an overview of the research carried out there. I will also briefly explain the Apache project general results, such as the App, the innovative sensors, the cutting-edge materials and the training programme that has been developed to disseminate best practice as broadly as possible.

¹ Please see ICOM-CC resolution Terminology <http://www.icom-cc.org/54/document/icom-cc-resolution-terminology-english/?id=744#.YNr0FUzOPIU>.

SCIENCE COMMUNICATION AND ITS HISTORY

Divulgazione e comunicazione dell'astronomia a Napoli: da Ernesto Capocci ai *social media*

Mauro Gargano - INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte -
mauro.gargano@inaf.it

Amata Mercurio - INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte -
amata.mercurio@inaf.it

Abstract: The dissemination of scientific knowledge is for Neapolitan astronomers a practice that started when Naples did not yet have an observatory, and which now continues to animate the Capodimonte Observatory's initiative to disseminate the astronomical culture towards ever wider audiences of curious and passionate about the science of the stars. This communication traces the cultural tradition of the Capodimonte Observatory in the use of traditional tools for the dissemination of astronomical knowledge from the Enlightenment period, passing through Capocci, undoubtedly the main protagonist of editorial initiatives to educate in astronomy, up to modern mass media such as websites, radio programs, and social networks, to stimulate the interest of young and curious people in the study of cosmos.

Keywords: Public Engagement, Astronomical Outreach, Social media, Italian Astronomers.

1. La diffusione delle scienze nell'Italia illuminista

Durante una seduta del Senato, che discuteva la legge per l'acquisto di un nuovo telescopio per l'Osservatorio di Brera, l'astronomo napoletano Annibale de Gasparis rammentò ai colleghi senatori l'arguta risposta di François Arago data a una signora che gli chiedeva a cosa servisse l'astronomia: «Madama, l'astronomia serve a far ribassare il prezzo dello zucchero» (Senato 1878). La diffusione delle conoscenze scientifiche, in particolare quelle astronomiche, è stata per gli astronomi un compito che hanno affrontato sempre con grande attenzione e passione. I testi di Galilei, dialogici e in italiano, avevano uno scopo più ampio che rivolgersi ai soli scienziati coevi; essi rappresentavano un modo, che oggi si può chiamare di formazione e informazione dell'opinione pubblica, per comunicare a platee più ampie le nuove concezioni e scoperte astronomiche. Il Settecento, con i grandi sviluppi tecnologici e con la visione illuminista ed enciclopedica del sapere, ha segnato un'accelerazione nelle modalità di comunicare le scienze, anche per allargare il pubblico a cui rivolgersi: un esempio tra molti le *Lettres a une princesse d'Allemagne sur divers sujets de Physique e de Philosophie*, pubblicate tra il 1760 e il 1762 da Eulero.

Nel Settecento, il dibattito tra cartesiani, leibnitziani e newtoniani animò l'interesse scientifico e culturale italiano, trovando nell'Alma Mater e nell'Istituto delle scienze e delle arti di Bologna un importante centro di riferimento. Nel 1752 Francesco Maria Zanotti, convinto cartesiano, pubblicò *Della forza de' corpi che chiamano viva*, un dialogo a più voci tenuto a Napoli con i principali protagonisti partenopei impegnati nelle scienze sperimentali e nell'annoso dibattito, come Francesco Serao, Niccolò di Martino, Felice Sabatelli e Faustina Pignatelli. Il volume, che testimonia efficacemente le diverse posizioni, provò a dare voce a esperienze e sensibilità diverse, coinvolgendo uomini e donne di diversa provenienza sociale e culturale e sensibilizzando un più ampio interesse verso le nuove conoscenze fisiche, soprattutto di carattere sperimentale (Schettino 1998).

A Napoli il circolo scientifico che si era costituito intorno alle collezioni di Ferdinando Vincenzo Spinelli, principe di Tarsia, fu animato da molti scienziati impegnati a fare esperimenti sull'elettricità e osservazioni astronomiche. All'impegno scientifico dell'epoca non vi fu a Napoli una pari attenzione per la diffusione delle conoscenze astronomiche. Le sole informazioni astronomiche di uso pubblico stampate a Napoli furono le sintetiche notizie e le effemeridi riportate nel *Calendario della Corte* che dal 1758 continuò la pubblicazione del "Discorso storico" stampato dal 1721 da alcuni tipografi napoletani.¹ Al suo interno era riportato anche "L'Almanacco Universale del Commentatore d'Urania, o sia del Segretario delle Zifre Celesti" (Zappella 2001, p. 705).

2. La specola napoletana e l'astronomia per tutti

Con il rientro a Napoli di Giuseppe Cassella, allievo di Sabatelli, le effemeridi del 1788 calcolate per il meridiano della città, *Dei principali movimenti e fenomeni de' corpi celesti*, furono la prima pubblicazione napoletana a contenere notizie e dati astronomici utili «al pubblico bene e vantaggio e alle premure di qualcheduno a cui è a cuore l'avanzamento delle Scienze astronomiche». I volumi di Cassella ebbero vasta eco e diffusione, ottenendo anche un lusinghiero giudizio da parte dell'Accademia di scienze lettere e arti di Padova. Esiliato in Francia per il sostegno dato alla Repubblica napoletana del 1799, Ferdinando Messia de Prado fu reintegrato nel 1806 da Giuseppe Bonaparte, prima nella cattedra universitaria di astronomia, e nel 1809 nominato direttore dell'Osservatorio astronomico di Napoli (Capaccioli 2009). Nel *Calendario dell'anno 1810 pel Regno di Napoli fatto nell'Osservatori di S. Gaudioso*, Messia de Prado indicò perentoriamente che le effemeridi avevano un uso scientifico e civile senza alcun valore di predizione: «È ormai tempo che si cessi d'ingannare il volgo co' nomi di quella vana dottrina, che chiamasi Astrologia». Il testo segnò un ulteriore passo degli scienziati napoletani per educare alle scienze del cielo e avvicinare più persone verso la conoscenza dell'astronomia. Nel 1811 Federigo Zuccari fu chiamato alla direzione dell'Osservatorio da Gioacchino Murat, il quale, nel 1812, volle dare alla più antica istituzione scientifica napoletana una nuova e imponente sede sulla collina di Miradois, non lontano dalla

¹ Le annate più antiche (1721 e 1723) del periodico sono conservate presso la biblioteca della Società Napoletana di Storia Patria. Vivi ringraziamenti a Paola Milone, responsabile della biblioteca della società napoletana, per la cortese collaborazione.

reggia di Capodimonte. La magnificenza dell'edificio e una collezione di strumentazione astronomica d'avanguardia richiamò l'attenzione anche della nascente stampa periodica napoletana. Così, nel «Giornale degli annunzi» Zuccari fu invitato a spiegare insoliti e ordinari fenomeni astronomici: «Quello che passa per un'astro novellamente apparso non è che Marte» – argomentava Zuccari – «Il Volgo l'ha creduto un nuovo ospite della Reggia di Urania. Quando mancano i lumi per riconoscere l'identità del medesimo oggetto l'immaginazione lo moltiplica, e ne fa due, o più, secondo le apparenze» (Zuccari 1813 pp.2-3). Inoltre, Zuccari rielaborò la struttura del *Calendario* introducendo una serie di «Discorsi», saggi astronomici anche di natura popolare per formare ed educare platee di pubblico sempre più interessate ai temi astronomici.

La prima osservazione astronomica fatta da Capodimonte nella sera del 17 dicembre 1819 da Carlo Brioschi segnò la conclusione dei lavori di fabbrica. La Specola divenne non solo un punto di riferimento per la ricerca astronomica, ma anche un presidio culturale per le sue architetture, le sue vedute e per la ricca collezione di strumenti. Re Ferdinando I e il principe ereditario Francesco di Borbone furono tra i primi a visitare la nuova specola napoletana nel 1821. Incuriositi della bellezza dello spazio, i viaggiatori italiani e stranieri chiedevano di poter visitare l'osservatorio, sperando anche di osservare il cielo con i potenti telescopi di Capodimonte; inoltre, alcuni professori napoletani, come quelli della Nunziatella, conducevano annualmente gli studenti in visita didattica all'Osservatorio. Nel 1820 era stato il ministro degli Interni, Giuseppe Zurlo, a sollecitare Brioschi nel definire un calendario di aperture bisettimanali dell'Osservatorio per «la gioventù desiderosa d'istruirsi nell'astronomia» (Zurlo 1820).

3. L'astronomia culturale di Ernesto Capocci

Il principale protagonista napoletano delle attività di divulgazione scientifica fu senza dubbio Ernesto Capocci. Figura di spicco anche della vita culturale e politica partenopea della prima metà dell'Ottocento, Capocci guardò con attenzione alle esperienze europee per la divulgazione scientifica, combinando «l'amore della bella letteratura [...] col culto della scienza» (Zanella 1880, p. 134). Egli produsse una serie di iniziative editoriali per l'educazione e la diffusione delle conoscenze scientifiche.

Capocci era nipote di Zuccari e già dal 1815 cominciò a frequentare l'Osservatorio di Napoli, occupandosi di rilevazioni meteorologiche e poi dello studio delle comete. Nel 1825 pubblicò il suo primo volume di divulgazione scientifica: *Dialoghi sulle comete scritti in occasione delle cinque apparse nell'anno 1825*. Con lo pseudonimo di Noreste, Capocci prese a pretesto il salone di una caffetteria per spiegare, in modo semplice ed efficace, quei fenomeni celesti e, più in generale, le conoscenze scientifiche dell'epoca sulle comete.

Dopo aver sperimentato la strada del romanzo storico, pubblicando nel 1839 *Il primo viceré di Napoli*, in cui narrò le vicende cavalleresche della disfida di Barletta, l'astronomo di Capodimonte ideò nel 1845 *Annuario del reale Osservatorio di Napoli*, una pubblicazione intesa ad allargare lo spettro delle informazioni scientifiche alle scienze affini all'astronomia, come la meteorologia, la geografia e la statistica, trattate in

forme semplici e accessibili a tutti. Nelle intenzioni di Capocci il volume era «destinato ad andar per le mani di tutti [...] sia per perfezionamento della mente [...] sia per gli usi pratici» (Capocci 1845, p. 3); la pubblicazione, però, fu stampata per due sole annualità.

Durante il decennio in cui fu estromesso dalle attività dell'Osservatorio per il suo sostegno ai moti liberali-risorgimentali, Capocci si dedicò con maggiore intensità a studi e a iniziative letterarie per la divulgazione dell'astronomia e della cultura scientifica (Capaccioli 2009). Nel 1853 pubblicò *Quadro del Sistema planetario solare*, una tavola grafica con i parametri fisici di pianeti, comete e asteroidi «per la istruzione della gioventù e per sussidiar la memoria». La tavola ebbe grandi apprezzamenti, compreso quello di Angelo Secchi, e un buon successo di vendita tanto da spingere l'editore a chiedere a Capocci la stesura di un manuale d'uso per spiegare i contenuti scientifici del «foglio industremente litografato» (Capocci 1853, pp.1-2). Tre anni dopo diede alle stampe un'opera di ampia erudizione *Illustrazioni cosmografiche della Divina Commedia*. Un volume di grande impatto culturale per la letteratura e per la divulgazione delle scienze, che fa emergere in modo chiaro e semplice le profonde conoscenze astronomiche di Dante Alighieri le quali affiorano in una lunga sequenza di terzine distribuite nelle tre cantiche. Allo studio sugli elementi astronomici del poema dantesco e sulla data del viaggio nell'Oltretomba avevano dedicato ampi saggi illustri letterati e scienziati; anche Galileo Galilei fu invitato a tenere, nel 1587, due lezioni all'Accademia Fiorentina «intorno la figura, sito e grandezza dell'inferno di Dante». Capocci si prefisse invece un obiettivo diverso: rendere popolari, cioè riconoscibili anche «da chi non è profondo analista», tutti i riferimenti astronomici descritti da Dante (Olostro 2001). Conscio del grande compito: «non è impresa da pigliare a gabbo», Capocci strutturò in forma dialogale il suo viaggio nell'astronomia dantesca colloquiando con Beatrice, un'appassionata lettrice della Commedia, che non ha «mai potuto comprendere che voglia dirsi in questi versi» e che si stupisce «come niun astronomo italiano siasi mai dato il pensiero di studiar di proposito, e dichiarare il vero senso di cotali brani enimmatici» (Capocci 1856, p.1).

Non trascorse neanche un anno e Capocci si produsse in una nuova avventura letteraria. Anticipando di otto anni la pubblicazione del romanzo di Jules Verne *De la Terre à la Lune*, Capocci divenne antesignano del filone letterario della fantascienza che si poggia su salde basi scientifiche, pubblicando nel 1857 *Relazione del primo viaggio alla Luna fatto da una donna nell'anno di grazia 2057*, un raffinato racconto che lo scienziato napoletano fa attraverso il resoconto che l'astronauta Urania, accompagnata dall'astronomo Arturo e dall'equipaggio dell'aerostata Giordano Bruno, scrisse all'amica terrestre: Ernestina. Il libello di Capocci, 22 pagine in 16°, si connatura come un'opera in cui emergono sia le conoscenze astronomiche dello scienziato sia la straordinaria capacità di prevedere modalità ed esigenze che solo l'astronomia e l'ingegneria del XX secolo hanno dovuto e saputo affrontare.

All'intensa produzione libraria, Capocci aggiunse una proficua collaborazione con giornali e riviste napoletane, come *Il nomade*, *Lucifero* e *Poliorama pittoresco*. Come suo zio Zuccari, anche Capocci raccolse ogni spunto dato da nuove scoperte o fenomeni celesti per parlare di astronomia scrivendo di diversi temi: asteroidi, comete, fasi della Luna ed eclissi. Nel 1856, Capocci pubblicò su *Il nomade*: «Il più grande cannocchiale

del mondo”, un articolo con cui propose la costruzione di un «Osservatorio cosmico» internazionale sulle Ande peruviane per fare nuove ricerche e scoperte «entro le nebulose, o nelle valli della Luna, o ne’ buchi della fotosfera solare» (Capocci 1856). Una tale idea prese forma cent’anni dopo, quando nel 1953 Walter Baade e Jan Oort pensarono di costruire un osservatorio europeo sulle Ande cilene. Il 5 ottobre 1962 Belgio, Germania, Francia, Paesi Bassi e Svezia firmarono la convenzione per la costituzione dell’ESO a cui l’Italia di Ernesto Capocci aderì solo il 24 maggio 1982 (Blaauw 1991).

4. L’astronomia sociale di Bemporad

Un successivo impulso alle iniziative di diffusione dell’astronomia fu dato dall’arrivo alla direzione dell’Osservatorio di Capodimonte di Azeglio Bemporad, prima assistente di Max Wolf all’Osservatorio di Heidelberg e poi astronomo a Catania dove lavorò alla realizzazione del *Catalogo Astrofotografico per la zona di Catania* per il progetto internazionale della “Carte du Ciel”. Giunto a Napoli nel 1912, Bemporad indirizzò l’attività scientifica dell’Osservatorio verso l’astrofisica stellare e incentivò la presenza di alunni e studenti a Capodimonte per facilitare la didattica scolastica. Nel 1915 scrisse, così, una lettera a Bruno Cotronei, provveditore agli studi di Napoli, affinché questi sollecitasse

i professori di fisica dei licei e istituti tecnici di Napoli a condurre almeno una volta l’anno i loro studenti a visitare [l’osservatorio per] farsi un’idea (più chiara di quella che non possa acquistarsi sui libri) di quegli elementi di geografia astronomica [che sono] assai poco familiari agli stessi docenti (Bemporad 1915).

Nonostante il difficile periodo bellico,² le scuole arrivarono a Capodimonte per assistere alle lezioni didattiche di Bemporad e con loro numerosi gruppi di cittadini e alcune associazioni napoletane, e non solo, richiedevano visite, osservazioni e incontri presso la specola partenopea. Nel 1916 Bemporad scrisse anche a Melania D’Abro Pagratide, ispettrice dell’ospedale Regina Elena e dell’ospedale territoriale della Croce Rossa Italiana del Carminiello, invitandola a «condurre i soldati convalescenti [...] a visitare quest’Osservatorio [fargli osservare] Venere [...] le macchie del Sole [...] e con schiarimenti proporzionati al grado medio di cultura dei militari». Nella lettera Bemporad sottolineò come nel 1915 circa 5000 soldati tedeschi convalescenti avessero visitato l’Osservatorio di Heidelberg: «Come al solito dunque arriviamo in ritardo, ma sempre in tempo, poiché la guerra è tutt’altro che finita» (Bemporad 1916). Con la conclusione del primo conflitto mondiale, gli appuntamenti in osservatorio con scuole, associazioni e appassionati di astronomia ebbero un forte incremento, nella convinzione che l’Osservatorio avesse anche un compito sociale e una funzione morale da assolvere, come lo stesso Bemporad scrisse:

² L’osservatorio era stato parzialmente occupato dal Genio militare per posizionare vedette, riflettori, mitragliatrici e cannoni in funzione antiaerea.

[una signora] mi ha detto che all'O. di Brera in Milano è rigorosamente vietata l'ammissione del pubblico a visite serali. Anche qui era vietata prima della mia venuta. Io ho creduto di dover cambiare sistema, perché l'O. è mantenuto dal Governo e le tasse le paghiamo tutti! (Bemporad 1927).

5. La comunicazione *social* per le generazioni YZA

Nel 1989 il Cern di Ginevra sperimentava un nuovo protocollo per la comunicazione dei dati: http. Efficace modalità informatica per trasmettere dati sperimentali e risultati scientifici. Quando questa tecnologia divenne accessibile a tutti in modo gratuito, cambiarono anche i modi di interagire delle persone su scala globale. Prima i siti ipertestuali, poi i blog tematici e i motori di ricerca, infine il vasto e variegato ecosistema dei *social media*, hanno trasformato la tradizionale modalità di accedere alle informazioni. Così anche la comunicazione delle conoscenze scientifiche ha trovato nuovi e più diretti modi per rivolgersi al pubblico e ha sperimentato nuovi approcci per formare ed educare i ragazzi nati tra la fine del passato secolo e i primi decenni del III millennio: *Millennials*, *Zoomers* e *Gen Alpha*. L'ecosistema digitale e il suo utilizzo per la divulgazione di cognizioni e risultati scientifici si basa, oramai, su un'articolata scienza della comunicazione che permette di costruire efficaci strategie per giungere a differenti tipologie di utenti modulando anche la forma dei contenuti che si intende diffondere (Fontaine *et al.* 2019).

La lunga ed efficace tradizione nella didattica e comunicazione scientifica dell'Osservatorio di Napoli, descritta per sommi capi nelle sezioni precedenti, ha permesso agli astronomi di Capodimonte di adattare alle nuove modalità di diffusione delle informazioni la divulgazione dell'astronomia, bilanciando il rigore scientifico dei contenuti e l'efficacia comunicativa. L'Osservatorio napoletano ha attivato così i suoi canali social sulle piattaforme Facebook, Instagram, YouTube, Twitter, G+ e Flickr, scegliendo poi di concentrare la propria comunicazione sulle prime tre. La costante interazione con gli utenti, la pubblicazione di contenuti scientifici che suscitano curiosità e interesse, la promozione di attività didattiche e iniziative multidisciplinari, hanno permesso alle pagine dell'Osservatorio di Capodimonte di crescere costantemente nel tempo.

In aggiunta alla tradizionale credibilità e affidabilità per le ricerche condotte dalla più antica istituzione scientifica di Napoli, le pagine *social* offrono ai *follower* uno strumento chiaro ed efficace per interloquire direttamente con i ricercatori. Considerando i dati al 2 settembre 2021 le pagine dell'Osservatorio sono seguite da 18.766 e 1808 *follower* su Facebook (fb) e Instagram (ig), rispettivamente; mentre il canale YouTube (yt), dedicato essenzialmente alla pubblicazione di seminari scientifici e interviste, conta 520 iscritti. Questi numeri fanno dell'Osservatorio astronomico di Capodimonte l'istituto di ricerca più seguito sia tra tutti i dipartimenti dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, di cui l'Osservatorio è parte, sia tra tutti gli istituti degli enti di ricerca italiani presenti sulle varie piattaforme. Anche la copertura dei contenuti proposti dall'Osservatorio indica una costante e crescente attenzione. Nel periodo 3 settembre 2019 - 2 settembre 2021, le

pagine hanno ottenuto l'attenzione di 604.216 (fb) e 20481 (ig) persone, mentre nel periodo 5 marzo 2012 – 2 settembre 2021 i contenuti del canale yt sono stati visti da 188.858 utenti. La distribuzione anagrafica dei *follower* mostra una prevalenza di utenti compresi tra i 25 e i 45 anni. Le pagine dell'Osservatorio, pur avendo una diffusione spiccatamente locale, intercettano *follower* nel resto d'Italia e, seppur con piccole percentuali, utenti residenti in altri paesi europei (ad es. 0,6% Regno Unito, 0,3% Francia, Germania e Spagna) e in altri continenti (ad es. 0,2% Brasile e Stati Uniti).



Anche l'analisi dei *post* evidenzia come l'interesse degli utenti è vasto, spaziando dai temi scientifici, ai fenomeni astronomici, come la splendente Luna primaverile (Fig. 1). Pure contenuti più squisitamente culturali e storici, come un affresco pompeiano (7270 contatti), l'anniversario della morte di Giordano Bruno (8908), il suono del centro galattico (22020), lo sviluppo della teoria della gravità di Newton (25268), testimoniano un'attenzione costante per contenuti multidisciplinari proposti dall'osservatorio (dati @oacn.inaf).

L'interesse dei *follower* per i temi presentati sulle piattaforme *social* non potrà certo sostituire la curiosità di mettere l'occhio al telescopio, di fare una lezione al planetario, di ammirare le collezioni storiche. Anzi, si percepisce un effetto moltiplicatore tra l'incremento dei *follower* e la crescente richiesta di visitare l'osservatorio, come testimoniano gli oltre 6000 studenti che nel 2019 hanno partecipato alle attività didattiche, le circa 3 iniziative divulgative e culturali mensili partecipate da 250/300 persone per evento serale. Inoltre, dal 2020 i ricercatori dell'Osservatorio collaborano con una radio locale alla rubrica settimanale: "Notizie dalla Spazio" per commentare e

presentare in 200 secondi i più recenti risultati scientifici e le suggestioni culturali che si intersecano con l'universo, come la musica e il cinema. Insomma, gli astri e gli astronomi di Capodimonte continuano a essere degli imbattibili influencer.

Bibliografia

- Blaauw A. (1991). *ESO's Early History*. Garching bei München: ESO.
- Capaccioli M., Longo G., Olostro Cirella E. (2009). *L'astronomia a Napoli dal Settecento ai giorni nostri*. Napoli: Guida Editore.
- Capocci E. (1845). *Annuario del reale Osservatorio di Napoli*. Napoli: stamperia dell'Iride.
- Capocci E. (1853). *Quadro del Sistema planetario solare*. Napoli: stamperia dell'Iride
- Capocci E. (1856). "Il più grande cannocchiale del mondo". *Il nomade. Rivista politica scientifica letteraria illustrata*, I (40), pp. 316-317, e I (42), pp. 330-331.
- Fontaine G., Maheu-Cadotte M., Lavallée A., Mailhot T., Rouleau G., Bouix-Picasso J., Bourbonnais A. (2019). "Communicating science in the digital and social media ecosystem". *JMIR Public Health Surveill*, 5 (3): e14447
- Olostro Cirella E., Virgilio N. (2001). *Ernesto Capocci, un divulgatore di scienza nella Napoli dei Borbone*, in Schettino E. (a cura di), *Atti del XX Congresso SISFA* (Napoli 1-3 giugno 2000). Napoli: Cuen, pp. 197-203.
- Schettino E. (1998). "L'insegnamento della fisica sperimentale a Napoli nella seconda metà del Settecento". *Studi settecenteschi*, 18, pp. 367-376.
- Senato del Regno d'Italia (1878). "Discussione del progetto di legge ...". *Atti parlamentari della Camera dei Senatori, Discussioni, Tornata del 1° luglio 1878*. Roma: Tipografia del Senato di Forzani e compagni, p. 657.
- Zanella G. (1880). *Storia letteraria d'Italia*, Milano: Vallardi.
- Zappella G. (2001). *Il libro antico a stampa*, Milano: Bibliografica.
- Zuccari F. (1813). "Risposta", *Giornale degli Annunzi*, I (38).

Fonti d'archivio

ASOC = Archivio Storico dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte.

ASS = Ivi: Attività Scientifica. Servizi.

Bemporad A. (1915). Minuta di lettera al Provveditore agli studi. ASOC, ASS, B. 4, f. 5.

Bemporad A. (1916). Minuta di lettera alla Principessa D'Abro Pagratide, 19 settembre. ASOC, ASS, B. 4, f. 5.

Bemporad A. (1927). Minuta di lettera, 20 ottobre. ASOC, ASS, B. 4, f. 5.

Zurlo G. (1820). Lettera a C. Brioschi, 11 novembre. ASOC, ASS, B. 4, f. 5.

An Astronomical Card Game: Contents, Circulation and Public

Ilaria Ampollini - IHMC/Paris 1 - ilaria.ampollini@unitn.it

Abstract: The present contribution will investigate a card game titled *The Elements of Astronomy and Geography*, invented in 1795 by the abbot Paris and published in London by John Wallis. In 1807, the game was translated into French language and circulated in a new, reworked edition. On the basis of meaningful, yet little, evidence, some hypotheses on the circulation and the audiences of the game will be outlined. The analysis is part of a wider research project, aimed at analysing a series of science-themed board games and card games, published between the 18th and the 19th century by the Wallises.

Keywords: Card games, Scientific knowledge, Science popularization, Astronomy, Audiences, Translation, Circulation.

1. Scientific knowledge and games

1.1. A history to be written

For a long time, many outstanding scholars have been discussing the meanings, the history and the evolution of play and games within human culture (for instance, the groundbreaking works by Huizinga 1938; Caillois 1958). Within such a rich and long-standing theoretical framework, in the following decades an increasing number of studies has investigated the history of the games (e.g., Hargrave 1966; Goodfellow 2008; Levy 2017; Parlett 2018; Seville 2019) by focusing on their contents, their physical characteristics, their uses and circulation, thus connecting such research to the fields of cultural studies, material history and the history of education.

These studies have brought to light a stunning richness of topics, contexts and social practices (for instance, Smoller 1986; Goodfellow 1998; Dove 2016; Norcia 2019). Nevertheless, to date no author has specifically investigated science-themed games, except for some papers analyzing a few, paradigmatic examples (Keene 2011; Seville 2016), and no attempt has been made to offer a systematic and exhaustive overview of these games.

The present contribution is part of a wider research project aiming at studying the science-themed board games and card games conceived and published by the Wallises, a family of publishers active in London between the 18th and the 19th century.

1.2. Science-themed games by the Wallis family

It was John Wallis who opened the first shop¹ around 1775;² later on, his son Edward took over the family business.³ Between the second half of the Eighteenth century and the first half of the Nineteenth, they sold to Londoners books and toys for children: it was a new, flourishing market (Plumb 1975; Denisoff 2008). Their shelves also offered board games and card games, mostly addressed to a juvenile audience. Many of these games had history or geography as their main theme, such as the card decks devoted to the history of France or England, and the board games centred on geographical tours (e.g., Wallis; Cooke 1796). Some others, however, dealt with scientific topics, which went from arithmetic to astronomy, from natural philosophy to zoology.

One of the earliest examples is that of the board game *Arithmetical Pastime* (1798), intended to teach the “rudiments of arithmetic, under the idea of amusement”, translated from German. In 1804, it was the turn of *Science in Sport, or the Pleasures of Astronomy* (see Keene 2011), which interestingly saw the collaboration with Margaret Bryan, one of the most famous female authors of science popularization (Tailerach-Vielmas 2011, p. 4; Brück 2009, p. 15-19). One year later, *Science in sport, or, the pleasures of natural philosophy* (1805) was on the Wallis’s shelves and in 1813 *The naturalist: a new game, moral and instructive* finally came out. Edward proposed some re-editions of his father’s publications, likely the most successful ones, but he also introduced innovative subjects. His catalogue included, for instance, the *Wallis's elegant and instructive game exhibiting the wonders of nature in each quarter of the world* (1818), where nature is romantically described as marvellous and frightening at the same time, and the *Wallis's new game of genius* (1830 ca), which was, as specified by the subtitle, a “Compendium of inventions connected with the arts, sciences, and manufactures”.

Consistently with the changes typical of the epoch with regard to children’s education (Shefrin 1999; Talairach-Vielmas 2011), the Wallis’s games were intended to be educational games, so that the scientific knowledge was taught together with moral advice. Interestingly, the only game where this does not happen is the card game *The elements of astronomy and geography*, which also was the first science-themed game published by the Wallises.

¹ There were probably two shops, one in Ludgate Hill Street and one in Cornhill (“WALLIS, John”, British Book Trade Index, URL: <<http://bbti.bodleian.ox.ac.uk/details/?traderid=72631>> [access date: 13/10/2021]).

² He soon became well-known for his dissected maps. Dissected maps were early examples of jig-saw puzzles, invented around the 1760s (Norgate 2007).

³ “WALLIS, Edward”, British Book Trade Index. URL: <<http://bbti.bodleian.ox.ac.uk/details/?traderid=72611>> [access date: 13/10/2021]. The other son, John jr., became the librarian of Royal Marine Library (“WALLIS, John [jr]”, British Book Trade Index, URL <<http://bbti.bodleian.ox.ac.uk/details/?traderid=72634>> [access date: 13/10/2021]).

2. The Elements of astronomy and geography: a card game

2.1. The two editions

In 1795, John Wallis published the card game titled *The elements of astronomy and geography: explained on 40 cards*. The author was the abbot Louis Michel Paris, a French teacher of geography and astronomy. We do not have any precise information to help us trace back the genealogy of their collaboration. However, we know that Paris, who was born in Argentan (Normandy) in 1740 and had been working there for a while, in 1792 left his hometown, forced by the tragic events of the French Revolution, and moved to London, where he remained until 1801 (Rabbe et al. 1834, p. 537). We may then hypothesize that, while in England, the abbot met Wallis and so the project of the card deck took shape. We cannot say whose, between the two, the original idea was. At the time, as we have seen above, Wallis had already published some board games and at least one card deck. Nevertheless, the *Elements of astronomy and geography* was the first science-themed game sold by Wallis, so that the topic may have been proposed by Paris, who then designed the contents.

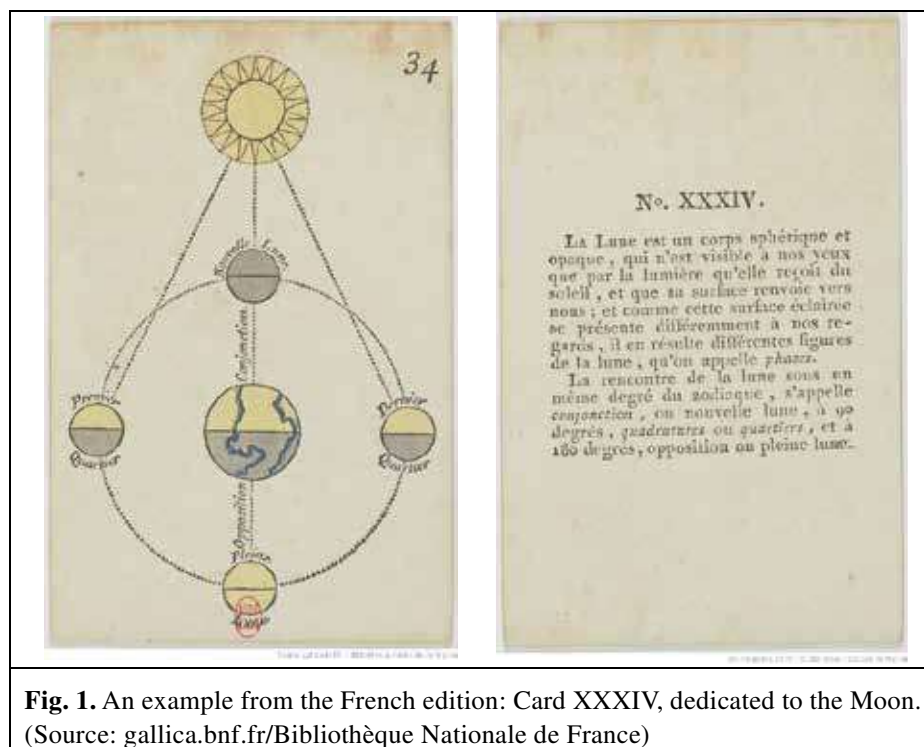


Fig. 1. An example from the French edition: Card XXXIV, dedicated to the Moon. (Source: gallica.bnf.fr/Bibliothèque Nationale de France)

The game consisted of 40 cards, “beautifully engraved and coloured”, as the title printed on the box ran: each card was illustrated on the front,⁴ while the correspondent caption was displayed on the back. As indicated by the rules, in order to get the point players had to properly describe the figures without looking at the written explanations.

⁴ The name of the illustrator is unknown. We do not know if it was the abbot Paris himself.

The deck starts with the picture of an armillary sphere, simply defined as “a round body, encompassed by circles, lines, and points” (card I), while the second card shows the two hemispheres, with the Equator, the Tropics and the Arctic and Antarctic Circles depicted. The caption says that “the Map of the World is a representation of the Earth on a plain surface” (card II). The following cards go back to the basic concepts of geometry, from straight and curved lines (card III) to circles (card IV), from circumference (card V) to its elements, such as the diameter (card VI), axis (card VII) and angles (card VIII). From card IX, notions about the Earth are given. First, our planet is described as “convex, or round like a ball”, then definitions of the Equator, Meridians, Longitude and Latitude, Horizon and further astronomical fundamental terms are given. Finally, the last cards are devoted to the Moon, the Eclipses, the winds and the atmosphere. The illustrations are simple and essential, easy to understand.

In 1807, a French edition appeared: titled *Jeu élémentaire d'astronomie et géographie*, the card deck was illustrated by the famous engraver Godard, in Alençon, and the text was printed by the Frères Brée in Falaise.⁵ According to the few biographical notes available (see Lange 1833, p. 402), the contents were signed by Paris himself: since they are different from the English original edition, we may assume that the abbot had been modifying the game just before he died.⁶ The changes between the two versions are worth outlining quickly. First, two cards were added, with volvelles depicted on them. Secondly, the descriptions provided in the French version are sometimes simply reformulated and made clearer (this is the case with the cards on the eclipses (Moon and Sun); some other times, the text turns out to be more complex and articulated than that offered by Wallis's publication. The first card, for instance, gives now a longer explanation of the armillary sphere, which is defined as a “machine” capable of representing the movements of celestial bodies. Similarly, on card XII several details about the Equator are added and the concept of Latitude is introduced, whilst previously the card just said that “THE Equator divides the Globe into two equal parts; one north, and the other south; it is the measure of time”. Again, on card XXV a historical account is added: speaking of the climatic zones, Paris recalls that Polibius had tried to introduce two torrid zones (instead of one), divided by the Equator, but “personne ne l'a suivi”. A last example is given by card XXXIX, which in the English edition told players that “the wind is an agitation of the air, by which a particle is transported from one place to another”; the second edition, instead, gives a digression about the air. “L'air”, it is specified, “est un fluide [...] qui s'efforce toujours de garder ou de rétablir l'équilibre de toute ses parties”: the wind occurs, writes Paris, when the balance is broken and needs to be restored.

All these modifications are likely attributable to the abbot's desire to improve the game before putting it on the French market; however, the hypothesis of a change of aspired audience cannot be completely discharged, as the following paragraph will clarify.

⁵ Both the cities are placed in Normandy and close to Argentan, the hometown of the abbot Paris, where he had returned in 1801 and where he had died in 1806.

⁶ Similarly, we know that he was reworking his *Introduction à l'étude de la géographie*, when he died (Lange 1833, p. 402).

2.2. Circulation and audiences: some hypotheses

It is evident that it is extremely difficult to assess what circulation Paris's card game has had and what audiences were effectively reached; nevertheless, an attempt can be made.

At first glance, one may be inclined to hypothesize that the card deck was addressed to a juvenile audience, like the vast majority of Wallis's items, or even specifically to students, being the abbot Paris a teacher of astronomy and geography – he worked as a teacher in London too, in a school for French people (Lange 1833, p. 402). Moreover, the card X explicitly says: “The students who begin to study the Globes, cannot imagine how those who are opposite to them can stand on the surface”. Mentioning “students” may suggest that they were the first intended public. However, if we look at the French translation, we notice that the term “students” is translated as “Ceux qui commencent l'étude du globe”, that is “Those who start studying the globe”: these, as it is clear, can be people who want to learn astronomy and geography, and not forcefully only students. So that, at least for the French edition, we can imagine a broader audience, especially since we do have some evidence moving in this direction.

A first clue is offered by the French newspapers that advertised Wallis's game. One comes from the famous and widespread *Le Moniteur*, that in August 1808 presented the card deck to its readers as “equally instructive and fun”.⁷ We find no mention of an intended public made exclusively of students and neither of young people. A second clue comes from the periodical *L'Epicurien Français*,⁸ which lists the card game among the new books. After the same words⁹ we had read on *Le Moniteur*, a further, meaningful paragraph is added here. It is in fact said that the cards designed by the abbot Paris will be “very useful for those who want to learn, with no trouble and at a low-cost, some very extensive notions about the two sciences in question”.¹⁰ The choice of the term “personnes” seems to confirm that the game was described and perceived as a game suitable for a heterogeneous audience.

A last record leads us to hypothesize that not only the expected, but also the effective players were not, or not only, young students. We in fact find the Wallis card game listed among the books of an anonymous French architect (Anonyme 1856), put on sale after his death. The owner being unknown, one may argue that the *Eléments d'astronomie et géographie* were there because of some child from the architect's family. However, it must be noted that the game, in the catalogue of his library, is numbered together with the *Abregé d'Astronomie*, a compendium of astronomical notions, written in 1774 by the astronomer and populariser Jérôme Lalande (see Ampollini 2019). The *Abregé* was a popular treatise, conceived for “the great number of amateurs”:¹¹ we then can prudently hypothesize that the anonymous architect had both the card game and Lalande's work to

⁷ “Les connaisseurs sauront apprécier le mérite de ces cartes, également instructives et amusantes”, *Le Moniteur*, 15 Août 1808, p. 896.

⁸ *L'Epicurien Français*, Tome XI, Août 1808.

⁹ See note 7.

¹⁰ “Elle seront très-utiles aux personnes qui voudront acquérir, sans peine et à peu de frais, des notions assez étendues sur les deux sciences qui en sont l'objet”, *L'Epicurien Français*, Tome XI, Août 1808.

¹¹ “le plus grand nombre des amateurs” (Lalande 1774, p. III).

acquire some notions of astronomy. That is, Paris's game in France did not exclusively circulate among students or young, but also among adults willing to learn.

Similarly, the additions introduced in this second edition can be explained with Paris's desire to enrich the information provided, being that the aspired players were not only children.

3. A brief conclusion

The aspect of the real circulation of this card game – and, more in general, of all the science-themed card and board games – can give us important indications about its uses, cultural meanings or the contexts it has crossed. Not only. The issue also pertains its and their place in historiography: to date, these games have in fact been analysed through the lens of the history of education (as in Keene 2011). However, the possibility that they have been addressed not only to children or young students, but to a more heterogenous public, forces us to consider the necessity of looking at them also in their relationship with the history of science popularization. This is a history, after all, that still needs to be enriched – both of objects and periods.

References

Primary Sources

- Anonyme (1856). *Catalogue de livres provenant de la bibliothèque de feu M.V ..., architecte à Paris: dont la vente aura lieu, les lundi et mardi 28 et 29 avril 1856*. Rouen: A. Le Brument.
- Lalande J. (1774). *Abregé d'Astronomie*. Paris: Veuve Desaint.
- Paris Abbé (1795). *The elements of astronomy and geography*. Paris: J. Wallis.
- Paris Abbé (1807). *Jeu élémentaire d'astronomie et géographie*. Falaise: Frère Brée.
- Wallis E. (1818). *Wallis's elegant and instructive game exhibiting the wonders of nature in each quarter of the world*. London: E. Wallis.
- Wallis E. [1830 ca]. *Wallis's new game of genius, or, Compendium of inventions connected with the arts, sciences, and manufactures*. London: E. Wallis.
- Wallis J. (1798). *An arithmetical pastime: intended to infuse the rudiments of arithmetic, under the idea of amusement*. London: J. Wallis.
- Wallis J. (1805). *Science in sport, or, The pleasures of natural philosophy: a new game*, London: J. Wallis.
- Wallis J. (1813). *The naturalist: a new game, moral and instructive*, London: J. Wallis.
- Wallis J.; Bryan M. (1804). *Science in Sport, or the Pleasures of Astronomy. A new & instructive pastime*. London: J. Wallis.
- Wallis J.; Cooke S. (1796). *Wallis's Complete Voyage Round the World. A New Geographical Pastime*. London: J. Wallis.

Secondary Sources

- Ampollini I. (2019). *Cronaca di una cometa non annunciata. Astronomia e comunicazione della scienza nel XVIII secolo*. Roma: Carocci.
- Caillois R. (1958). *Les Jeux et les hommes: le masque et le vertige*. Paris: Gallimard.
- Denisoff D. (ed.) (2008). *The Nineteenth-Century Child and Consumer Culture*. London/New York: Routledge.
- Dove J. (2016). “Geographical board game: promoting tourism and travel in Georgian England and Wales”. *Journal of Tourism History*, 8 (1), pp. 1-18.
- Goodfellow C.G. (1998). “The Development of English Board Game. 1770-1850”. *Board Game Studies*, 1, pp. 70-80.
- Goodfellow C.G. (2008). *How we played. Games from Childhood Past*. Cheltenham (Gloucestershire): The History Press.
- Hargrave C.P. (1966). *A history of playing cards and a bibliography of cards and gaming*. New York: Dover Publications.
- Huizinga J. (1938). *Homo ludens. Proeve eener bepaling van het spel-element der cultuur*, Haarlem: H.D. Tjeenk Willink. Trad. It. *Homo ludens*. Saggio introduttivo di Umberto Eco. Milano: CDE. 1985.
- Keene M. (2011). “Playing among the stars: Science in Sport, Or the Pleasures of Astronomy (1804)”. *History of Education*, 40 (4), pp. 521-542.
- Lange G.J. (1833). *Éphémérides normandes, ou, Recueil chronologique, historique et monumental sur la Normandie*. Caen: Bonneserre. vol. 1.
- Levy A. (ed.) (2017). *Playthings in Early Modernity. Party Games, Word Games, Mind Games*. Kalamazoo: Medieval Institute Publications.
- Norcia M.A. (2019). *Gaming Empire in Children’s British Board Games, 1836-1860*. New York and London: Routledge.
- Norgate M. (2007). “Cutting borders: Dissected maps and the origins of the jigsaw puzzle”. *The Cartographic Journal*, 44 (4), pp. 342-350.
- O’ Bryan R. (2019). *Games and Game Playing in European Art and Literature (16th-17th Centuries)*. Amsterdam, Amsterdam University Press.
- Parlett D. (2018). *History of Board Games*. Brattleboro: Echo Point Books & Media. 2nd edition.
- Rabbe A., Vieilh C.A., de Boisjolin F.G., Binet de Sainte-Preuve F.G. (dir.) (1834). *Supplément de la Biographie universelle et portative des contemporains, ou Dictionnaire Historique*. Paris: Adolphe Everat. Tome Cinquième.
- Seville A. (2016). “The Game of the Sphere or of the Universe – A Spiral Race Game from 17th century France”. *Board Game Studies Journal*, 10, pp. 1-16.
- Seville A. (2019). *The Cultural Legacy of the Royal Game of the Goose. 400 years of Printed Board Games*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Shefrin J. (1999). “Make it a Pleasure and Not a Task”: Educational Games for Children in Georgian”. *The Princeton University Library Chronicle*, 60 (2), pp. 251- 275.
- Smoller L.A. (1986). “Playing Cards and Popular Culture in Sixteenth-Century Nuremberg”. *The Sixteenth Century Journal*, 17 (2), pp. 183-214.

- Talairach-Vielmas L. (2011). "Introduction". In Idem (ed.). *Science in the Nursery: The Popularisation of Science in Britain and France, 1761-1901*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, pp. 1-33.
- Taylor K. (2009). "Mogg's Celestial Sphere (1813): The Construction of Polite Astronomy". *Studies in History and Philosophy of Science*, 40. pp. 360-371.

Newspapers

La Gazette Nationale ou Le Moniteur.
L'Epicurien Français.

Databases

[British Book Trade Index]. URL: <<http://bbti.bodleian.ox.ac.uk/#>>.

“Second Star to the Right” - A cultural Project to Catch the Public Interest towards the History of Astronomy, Promoting Art and Cultural Heritage

Alessandra Zanazzi - INAF OA Arcetri - alessandra.zanazzi@inaf.it

Laura Daricello - INAF OA Palermo - laura.daricello@inaf.it

Chiara Di Benedetto - Studio Bleu e UniPd - chiara.dibenedetto@studiobleu.it

Caterina Boccato - INAF OA Padova - caterina.boccato@inaf.it

Abstract: This paper illustrates the cultural project “Second star to the right”, designed by Istituto Nazionale di Astrofisica and Bas Bleu. It is an astro-tourism project connecting art, tourism, history and astronomy, conceived to underline the importance that the study of the sky has always had for mankind, and its impact on culture.

Based on a long research work in the history of astronomy, “Second star to the right” intends to involve various audiences inviting them to visit the historic centre of cities such as Padua, Florence and Palermo to discover the different ways in which astronomy is present in works of art and culture: Sun, Moon, planets and constellations are often hidden inside churches and palaces, depicted in marble inlays or paintings. Clocks, sundials, zodiac signs, geographical maps, places connected to scientists, scientific instruments and other “astronomical secrets” that the Italian cultural heritage contains testify how astronomy has not only inspired art with its beauty, but is deeply linked to history and society; in fact, some of these elements were designed for “public utility”, to respond to the needs of the society of the time, and they reflect scientific progress. The project includes:

- The series of tourist guidebooks *Second star to the right* and a guidebook especially addressed to children;
- City maps with astronomical itineraries;
- Events and activities for visitors, families, students, etc.;
- The development of new information and communication technologies to facilitate the exploration and allow access to additional updated contents.

Keywords: Astro-tourism, Art & Astronomy, Guidebooks, Information Communication Technology.

1. Introduction

Education, outreach, history of astronomy and Astro-tourism are among the research interests of Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), the Italian public body in charge of performing research in all the Astrophysics and Space Physics domains and of its diffusion

and promotion. For many years, researchers at various INAF Observatories carried out researches and activities highlighting, on one hand, the presence - at different times - of hundreds of astronomical signs in monuments, places, museums in Italian historical cities; and on the other hand, the success obtained by all the initiatives, visits, and activities carried out for the public to discover such elements. In 2014, INAF and Bas Bleu, an agency in Padua specialized in communicating science through creative projects, started working on the project “Second star to the right” to promote astronomy through tourism, art, history and society to increase public interest in the science of the sky while at the same time enhancing the scientific cultural heritage.

This cultural project is well-structured: it includes many media and, thanks to the synergy between a research centre (INAF) and a creative agency (Bas Bleu), it conveys deep astronomical research with a simple but rigorous language and with great care and research on the graphical aspects. The first milestone of the project was the publication in 2015 of the guidebook *Padova. Seconda stella a destra*, which gave way to further steps: *Padova a testa in su* (2017), a guidebook especially designed for children; more events and activities, such as “astronomical walks”, and activities for families; the publication of *Firenze. Seconda stella a destra* in 2019 and *Palermo. Seconda stella a destra* (2021), and the development of Augmented Reality content to enhance some details of the sites and catch the interest of students and young visitors.



Fig. 1. The cover and an example of the graphic elements within the guidebooks.

2. The guidebooks

The guidebooks propose astronomical itineraries walking downtown in the historic centres in order to allow citizens, tourists, students and families to explore monuments from an astronomical perspective, and discover the astronomical contents of many monuments and places connected to the past and also to modern ongoing science.

At the moment, three guidebooks are already part of the series *Second star to the right* (Padua, Florence and Palermo - due end 2021) and each one contains more or less 20 different sites roughly divided into different itineraries.

The guidebooks have an easy format, they are simple and attractive: a good balance between science value and pleasure. They are written in an accessible language and, in the case of a specific vocabulary, difficult words are explained. Graphical elements on every page have been designed for an aesthetic experience and to highlight the different routes with different colors, depending on the theme (e.g., measuring time; following the footprints of important astronomers; representing Earth and sky; etc.).

With a nice and appealing graphic look, the guidebooks lead the visitors in the search for science into artistic masterpieces, historical monuments, churches, museums, places that tell us about renowned scientists and current researches. Just to mention a few examples, the visitors will discover that the world-famous Brunelleschi Dome of the Cathedral of Florence preserves the world tallest sundial; that in the Giotto's Scrovegni Chapel in Padua there is the first-ever comet painted in a Nativity scene - namely the Halley comet - and that on top of the Royal Norman Palace in Palermo there is the telescope used for the discovery of the first asteroid in history, Ceres.

3. The maps

To facilitate an autonomous exploration, to make it easier to discover astronomy in works of art, architecture and urban planning, to find scientific instruments and to follow the footsteps of well-known scientific characters, all the guidebooks are accompanied by a map, both in Italian and English languages.

On the one side of the map, there are the streets of the historic centre of the city, with the itineraries and numbered icons of the main places. On the other side, there is a small introduction, the instructions for use and twenty short texts and pictures describing the main sites on the guidebook.

The maps follow the graphic concept of the whole project and use the same simple and clear language. They can be used independently from the guidebook, since they are detachable, and might also be distributed separately.

It was a great challenge to provide a good synthesis of the contents of the guidebooks and to describe in a few lines each astronomical place.

4. Walking tours, events, activities

The publishing project was also designed from the very beginning to be accompanied by a series of activities for the public, like guided tours, thematic activities for children and families, informative conferences, public events and activities developed in collaboration with actors on the territory.

These activities in particular, and the whole project in general, created new important cultural synergies and contributed to enhancing the collaborations at the local level between observatories and universities, museums, churches, public institutions, associations and private companies: literally bringing together different actors and skills in a useful dialogue.



Fig. 2. Different and variegated audience attending “walking tours” and events

5. The guidebook for kids

After the publication of the first astronomical guidebook of Padua, INAF and Bas Bleu started thinking of a guidebook especially addressed to kids, carefully illustrated and full of proposals for activities and experiments. This product, *Padova a testa in su*, has been published in 2017. In the next future, we plan to produce also for more cities the illustrated guidebooks for children, written in a suitable language and with proposals for performing small experiments or building simple tools to “hands-on” understand some of the themes dealt with (e.g., building a simple sundial or observing the Moon activity).



Fig. 3. The cover and an example of the illustrations within the guidebook for kids

6. Information Communication Technology and New Technologies enhancements

Due to the pandemic, many of the sites described in the guides have been closed for almost two years and, of course, the boxes with opening days and hours and the contacts were often not valid. Thus, in order to overcome the above-mentioned limitations, the five itineraries of the guidebook of Palermo are integrated with QR codes that give access to

extra content and updated information. The website linked to the QR codes will give access to augmented and virtual reality resources, allowing both personal interactive explorations and insights, and the visitor enjoy the guidebook even when some of the sites are closed. In addition, ICT - e.g., Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) - is a powerful way to reach new generations, accustomed to interacting with screens and multimedia and offers new learning opportunities, giving access to digital content that may encourage users to deepen the topics.



Fig. 4. A first Augmented Reality experiment for the Palermo guidebook interactive elements

7. Conclusions

With this project, we want to promote astronomy and archeo-astronomical research through tourism, art, history and society: the ultimate goal is to enlarge the interest of the general public towards astronomy and science. Proposing astronomical touristic itineraries in the historic centre of cities, to highlight the importance of astronomy in the life of a city and, in general, the fundamental role that the sky has always played in human life, has proven to be a successful way to attract to the science of the sky a varied and non-specialist public. Furthermore, the presence of QR codes in the guide gives access to extra content and updated information, thus overcoming some limitations due to the pandemic. Since Istituto Nazionale di Astrofisica is present in 13 major Italian cities, we expect that in the next future more guidebooks of the cities with INAF sites will be added to the series. The next challenge for the project is to develop some AR/VR/App contents to improve the visitor experience with updated information, extra content, video and audio insights, animated 3D models appearing on-demand on the pages of the guide, as in an innovative pop-up book. Furthermore, to allow a friendly exploration of the itineraries, we are also experimenting with location-based AR applications using the position tracking of mobile phones. In Florence, the Municipality is showing a great interest in the project. This will lead to the inclusion of an astronomical itinerary in the downloadable App designed by the Municipality itself to create more specific cultural routes for tourists.

References

- Benacchio L., Cappelli V., Di Benedetto C. (2015¹, 2017²). *Padova. Seconda stella a destra*. Padova: Les Bas Bleu Ed.
- Benacchio L., Di Benedetto C., Cappelli V. (2017). *Padova a testa in su*. Padova: Les Bas Bleu Ed.
- Cater C.I. (2010). “Steps to Space; opportunities for astrotourism”. *Tourism Management*, 31 (6), pp. 838-845.
- Di Benedetto C., Cappelli V., Zanazzi A. (2019). *Firenze. Seconda stella a destra*. Padova: Les Bas Bleu Ed.
- Leonardi L. (2019). *La realtà aumentata per il Museo della Specola dell’Osservatorio Astronomico di Palermo* [online at Edu Inaf]. URL: <<https://edu.inaf.it/news/per-la-scuola/la-realta-aumentata-per-il-museo-della-specola-dellosservatorio-astronomico-di-palermo/>> [access date: 3/11/2021].
- Leonardi L., Daricello L., Giacomini L. (2021). *Learning astronomy through Augmented Reality: EduINAF resources to enhance students’ motivation and understanding*, in *Europlanet Science Congress 2021* [online]. URL: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2021/EPSC2021-530.html>> [access date: 3/11/2021].
- Martinello L.M. (2009) *Offerte turistiche innovative legate alle risorse territoriali. Un’analisi di casi studio in Trentino* (Tesi di Laurea specialistica in Scienze e tecnologie per l’ambiente e il territorio). Università degli Studi di Padova.
- [*Piano Triennale per la Digitalizzazione e l’Innovazione dei Musei* (2019). Ministero per i Beni e le Attività Culturali]. URL: <<http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l%E2%80%99Innovazione-dei-Musei.pdf>> [access date: 3/11/2021].
- [*Portal to the Heritage of Astronomy. UNESCO Astronomy and World Heritage Web Portal*]. URL: <www3.astronomicalheritage.net/> [access date: 3/11/2021].
- Radu I. (2014). “Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis”. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18 (6), pp. 1533-1543.
- Wu H., Lee S.W., Chang H., Liang J. (2013).” Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education”. *Computers & Education*, 62, pp. 41-49.
- Zanazzi, A., Daricello, L., Leonardi, L., Di Benedetto, C. and Tuscano, M. L. (2021). *Attracting public interest in astronomy through art and cultural heritage*, in *Europlanet Science Congress 2021* [online]. URL: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2021/EPSC2021-740.html>> [access date: 3/11/2021].
- Zanazzi A. Di Benedetto C. (2021). *Second star to the right*, in *16th International Public Communication of Science and Technology Conference (PCST 2020+1)* [online]. URL: <<https://pcst.co/archive/virtual/paper/708>> [access date: 3/11/2021].
- Zanazzi A., Di Benedetto C., Cappelli V. (2019). *Firenze. Seconda stella a destra*. Padova: Les Bas Bleu Ed.

The History of Astronomy, *fil rouge* of the INAF guide “Palermo. Second star to the right”

Maria Luisa Tuscano - SISFA

Abstract: Third in order of publication, after Padua and Florence, in the “Second star to the right” program – an editorial project by the creative agency Bas Bleu Illustration – the guide of the INAF Astronomical Observatory “G.S. Vaiana” in Palermo has been promoted as part of communication, teaching and dissemination activities, of which Laura Daricello is responsible. The project aims at presenting to the general public monuments, people and events connecting the city to the science of heaven. I have collaborated with the Observatory for identification and study of sites related to astronomy and for most of the guide texts. In the five selected itineraries in the city, some monumental contexts stand out for their astronomical tradition: first of all, the Astronomical Observatory whose significant history is documented in the Specola Museum, section curated by Ileana Chinnici. More recurrent topics in the city are related to the history of time measurement. Over the years they had been the subject of my studies I reported at SISFA conferences (Urbino, Acireale, Florence, Arezzo, Bari and online). During the documentary investigation and the interpretation of some iconographic representations, more evidences emerged connected to the history of astronomy. This report refers to two of them: the mosaic of the Creation of the stars in the Palatine Chapel of Palazzo dei Normanni, linked to the astronomical culture of King Roger II, and the bas-relief of the Botanical Garden which alludes to the discovery of Uranus by Herschel with the related debate for the choice of its name.

Keywords: Cultural Astronomy, Palatine Chapel Palermo, Botanical Gardens

1. Il metodo storico- scientifico per la guida *Palermo. Seconda stella a destra*

Terzo volume di una collana editoriale varata dall’INAF con l’Agenzia creativa Bas Bleu Illustration, all’interno di un progetto di astroturismo,¹ *Palermo. Seconda stella a destra* si propone al grande pubblico per far conoscere o riscoprire luoghi, vicende, monumenti e opere d’arte legati all’astronomia nel centro storico di Palermo.

La guida nasce nell’ambito delle attività di comunicazione, didattica e divulgazione dell’INAF Osservatorio Astronomico “G. S. Vaiana” insieme a Bas Bleu illustration.²

¹ In questa collana sono state già pubblicate le guide astronomiche di Padova e Firenze. Per una sua dettagliata informazione si rimanda alla relazione di Alessandra Zanazzi *et al.*, presente in questi stessi Atti.

² Laura Daricello, responsabile di questo settore nell’Osservatorio astronomico, ha coordinato il progetto della guida. Da parte di Bas Bleu hanno partecipato alla stesura del libro Chiara Di Benedetto, Valeria Cappelli e Andrea Meneghetti.



Fig. 1. Copertina della Guida astronomica di Palermo.

Ho collaborato con l'Osservatorio Astronomico individuando e studiando i siti attinenti all'astronomia nonché con la compilazione della maggior parte dei testi della guida.³

I contenuti sono previsti per un'utenza con comuni conoscenze scientifiche e proposti attraverso formulazioni in grado di trasmettere l'essenza logica dell'argomento rendendone al contempo gradevole la comprensione. Questo è stato possibile grazie a un attento e paziente lavoro di squadra con la casa editrice che, ove necessario, ha armonizzato i testi preparati con inclusioni di carattere estetico ed emozionale.

La strutturazione del libro è stata ottenuta attraverso il principio della contestualizzazione che caratterizza il metodo della storia dell'astronomia, condizione particolarmente articolata nella città di Palermo, crocevia di culture, pertanto con uno sviluppo storico non lineare. La lettura capillare del territorio ha attinto alle diverse pagine della tradizione astronomica, filo conduttore del libro, ma in qualche caso essa ha messo in luce circostanze peculiari che, sia pure in modo marginale, possono dare un contributo a quadri storici generali. Si propongono di seguito due circostanze emerse durante gli studi per la guida di Palermo, che ne costituiscono un esempio.

2. Il mosaico nella Cappella Palatina di Palermo: *Fiant Luminaria in Firmamento*

Fondata da Ruggero II e consacrata nel 1140 come Basilica dei Ss. Pietro e Paolo, la Cappella Palatina nel Palazzo dei Normanni a Palermo costituisce un'eccellenza del Patrimonio arabo-normanno dell'UNESCO. Al suo interno le rappresentazioni iconografiche riconducibili all'astronomia, da me descritte, sono molteplici e individuabili nei mosaici bizantini delle pareti e del pavimento, nonché nel soffitto igneo alveolare (*muqarnas*).

³ Le pagine della guida dedicate al Museo della Specola, sono state scritte da Ileana Chinnici.

Il primo nucleo delle decorazioni musive, presenti nel presbiterio e nella navata centrale, fu commissionato da Ruggero II che, secondo le testimonianze storiografiche, intervenne con proprie istruzioni per la loro composizione. Le pagine dell'Antico e Nuovo Testamento sono raffigurate nelle tre navate e la figura del Cristo Pantocratore si evidenzia imponente nell'abside e nella cupola.

Nella navata centrale, intercalato alle monofore della parete meridionale, si sviluppa il primo ciclo della Genesi, di cui fa parte il mosaico della *Creazione degli Astri*.⁴ Il Pantocratore vi è rappresentato in piedi con la mano destra benedicente e con il rotolo del progetto divino nella sinistra.



Fig. 2. Mosaico della Creazione degli astri. (Cortesia della Biblioteca Comunale 'L. Sciascia' di Palermo; 'Fondo Di Benedetto')

Nella parte superiore della scena campeggia la scritta *Fiant Luminaria in Firmamento*, con riferimento al versetto della Genesi che di seguito propongo in una traduzione essenziale:⁵

Poi Dio disse: «Vi siano dei luminari nel firmamento per separare il giorno dalla notte; e siano per segni e per stagioni e per giorni e per anni; e servano da luminari nel firmamento per dar luce alla terra». E così fu.

Il testo biblico lega, pertanto, la comparsa degli astri alla misura del Tempo ottenuta attraverso i loro cicli. Questa finalità non sempre è valorizzata nei commenti, ma in questo mosaico essa si esplicita come elemento conduttore. Il firmamento ha forma circolare con un tondo centrale in azzurro chiaro e una corona circolare periferica in azzurro scuro, distinguendo così il cielo "prossimo" dal cielo "remoto". Complessivamente, vi sono rappresentati 18 corpi celesti, sette nella parte centrale e undici nella corona.

⁴ In questa relazione propongo la lettura del mosaico che ho elaborata sulla base dei riferimenti astronomici.

⁵ Le traduzioni dei testi in ebraico e in greco, pur avendo ciascuna una propria identità lessicale, concordano nell'esprimere una volontà divina di legare gli astri alla misura del tempo.

I due luminari, il Sole e la Luna, più grandi e di uguale grandezza, spiccano nel centro, rispetto agli altri cinque astri, minori e dorati.⁶ Il Sole rappresenta il periodo giornaliero, la Luna, corredata di falce crescente, le fasi settimanali e il mese lunare. I cinque corpi minori richiamano i pianeti noti nell'antichità, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno, che con i due luminari ispirarono i nomi dei giorni della settimana.⁷

Un dettaglio del mosaico permette un'ulteriore considerazione: uno degli astri minori è collocato tra il Sole e la Luna e ciò lo identifica nel pianeta Venere che, secondo l'antica usanza degli Assiri e dei Babilonesi, era rappresentato insieme ai due luminari.⁸ Per la sua vivida luminosità, Venere condivideva, infatti, con essi la prerogativa di generare ombre sul suolo terrestre.

Nella corona circolare gli undici corpi stellari e dorati evocano simbolicamente l'antico Zodiaco e quindi il ciclo annuale. Com'è noto, gli antichi greci riconoscevano solo undici costellazioni e furono i Romani a introdurre la Bilancia sottraendo le due chele allo Scorpione.

Questo mosaico induce ad alcune riflessioni generali. Per prima, che il firmamento è raffigurato in modo essenziale e pragmatico: non si sottende un modello cosmologico ma si allude all'assetto cinematico come scaturisce dalla diretta osservazione. La Terra non è rappresentata nel mosaico perché costituisce il punto di osservazione dello spettatore situato nella Cappella. Dal mosaico traspare inoltre una conoscenza della cultura astronomica antica, non limitata alla tradizione occidentale ma estesa al mondo mediorientale. Questo dato potrebbe, pertanto, inserirsi come minuscolo tassello nella lettura globale delle cognizioni astronomiche in epoca normanna. Nello specifico, esso si aggiunge alle considerazioni emerse durante lo studio di opere commissionate da Ruggero II che testimoniano una propensione del monarca alla cultura scientifica (Tuscano 2014, 2019, 2021).

3. Iconografia del pianeta Urano nell'Orto Botanico di Palermo

Istituito a supporto alla nuova cattedra di Botanica nell'Accademia dei Regi Studi, nell'ambito delle riforme sociali varate da un Senato illuminato, il Giardino Botanico di Palermo fu inaugurato nel 1795. Coevo dell'Osservatorio astronomico già fondato nel Palazzo reale, l'Orto fu progettato dall'architetto francese Léon Dufourny come un grande tempio della Natura.⁹ Dotato di *Gymnasium*, solenne edificio neoclassico per la *Schola Regia Bothanices*, e di due stufe, il *Calidarium* e il *Tepidarium*, esso custodisce un arredo iconografico con peculiari riferimenti agli eventi celesti che regolano i cicli vegetativi.¹⁰

Dufourny trascorse quattro anni a Palermo (1789-1793), intrattenendo una vivace frequentazione con il contesto intellettuale della città, di cui lasciava accuratamente memoria

⁶ Il colore dorato esprime luminosità.

⁷ Si attribuisce diffusamente ai Babilonesi la denominazione dei giorni della settimana.

⁸ Giovanni Schiaparelli ce ne dà testimonianza nei suoi *Scritti sulla storia dell'astronomia antica*, indicando i monumenti in cui è stata adottata questa rappresentazione.

⁹ Léon Dufourny era presente in Sicilia per lo studio dei templi greci e di Segesta. Nel disegno dell'Orto botanico egli ne volle riproporre i canoni costruttivi con grande precisione.

¹⁰ Per il quadro dettagliato dei riferimenti astronomici dell'Orto botanico rimando a quanto ho scritto nella guida *Palermo. Seconda stella a destra*.

nel suo diario (Dufourny 1991). Massone, egli si mosse in un ambiente in cui erano già presenti alcune logge di diversa connotazione; in particolare dialogò frequentemente con Giuseppe Piazzi, anche lui massone, a cui, peraltro, faceva da tramite per la corrispondenza con J.J. de Lalande.¹¹ Da questo diario e dai suoi manoscritti conservati nella Biblioteca Nazionale di Parigi, è possibile seguire le fasi progettuali dell’Orto, anche per quanto riguarda i riferimenti astronomici (Dufor, Pagnano 1996). Al *Gymnasium* Dufourny destinò le statue delle quattro stagioni e al *Calidarium* undici bassorilievi con gli antichi segni zodiacali.



Fig. 3. Orto botanico di Palermo: particolare del *Tepidarium* con la raffigurazione di Urano. (Cortesia di Claudio Kamel)

Per il *Tepidarium* egli ebbe qualche tentennamento, ipotizzando diverse soluzioni. Alla fine decise di rappresentare nei bassorilievi del *Tepidarium*, il Sole, la Luna e i cinque pianeti da cui derivano i nomi dei giorni della settimana, accompagnandoli con le quattro fasi del giorno. Qui Dufourny trovò un’elegante soluzione per affiancare il pianeta scoperto nel 1781 da William Herschel con i cinque pianeti “antichi”: introdusse Urano nel bassorilievo della notte, quarta fase del giorno, in quanto Dio del Firmamento, collocandolo, però, a conclusione dei pianeti su un lato lungo del *Tepidarium*.

Osservando la composizione di questo bassorilievo, si nota che Urano è raffigurato con le sue peculiarità di pianeta: un uomo sdraiato, a ricordo del suo asse di rotazione quasi coincidente con il suo piano orbitale. Inoltre, la figura tiene in petto il Sole, in quanto partecipe del suo sistema.

Herschel aveva individuato il nuovo pianeta il 13 marzo, in un periodo dell’anno in cui la costellazione del Leone domina il cielo notturno.¹² Anche questo aspetto è rappresentato nel bassorilievo con un tratto della fascia zodiacale in cui è evidenziata proprio la costellazione leonina.¹³ Questo particolare è interessante, se si considera che la *querelle* per il nome del nuovo pianeta era in quel periodo molto vivace e con proposte variamente orientate. Herschel lo intitolava al re Giorgio III, Lalande sosteneva la dedica allo stesso

¹¹ Léon Dufourny disegnò alcune vetrine per gli strumenti portatili dell’Osservatorio astronomico

¹² Urano fu, però, individuato da Herschel tra le stelle dei Gemelli.

¹³ Si può supporre ragionevolmente che Giuseppe Piazzi abbia orientato Dufourny con i suoi consigli.

scopritore, Bode proponeva Urano per il ruolo di ascendente mitologico di Giove. E non mancarono altre alternative, tra cui alcune riservate a divinità e personaggi femminili. Per un certo numero di anni il nuovo pianeta fu indicato con nomi diversi, diventando un insolito “problema di Stato” su cui si confrontavano Inghilterra, Francia e Germania.

Con questo bassorilievo, l’Orto Botanico di Palermo accoglie il riverbero di questo dibattito astronomico, facendo trapelare gli orientamenti locali sull’argomento. Non sfugge, infatti, sopra il riquadro, il simbolo H, promosso da Lalande per il nuovo pianeta, e neanche il fatto che Dufourny, nei suoi manoscritti, usi già il nome di Urano, che sarà ufficialmente adottato soltanto nel corso dell’Ottocento.

Conclusioni

Pur non essendo un libro specifico per addetti ai lavori, una guida astronomica può costituire il punto di partenza per avviare percorsi educativi o ispirare qualche analisi di approfondimento. Ciò è possibile grazie al metodo peculiare con cui il racconto diventa testimonianza, la descrizione mantiene una struttura logica e la tradizione scientifica è valorizzata nella cultura del territorio.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento per la concessione delle foto alla Dr. Eliana Calandra, Direttrice del Sistema bibliotecario di Palermo, e al Sig. Claudio Kamel.

Bibliografia

- Dufour L., Pagnano G. (1996). *La Sicilia del '700 nell'opera di Léon Dufourny. L'Orto Botanico di Palermo*. Siracusa: Ediprint.
- Dufourny L. (1991). *Diario di un Giacobino a Palermo, 1789-1793*. Palermo: Fondazione Lauro Chiazzase.
- Flammarion C. (1885). *Astronomia popolare*, libro IV. Milano: Sonzogno.
- Schiaparelli G. (1925). *Scritti sulla Storia dell'astronomia antica*, tomo I. Bologna: Zanichelli; ristampa anastatica (1997). Milano: Mimesis.
- Tuscano M.L. (2014). *L'Orologio di Re Ruggero nel Palazzo dei Normanni di Palermo*, in Antonello E., Giannetto E., Mazzoni M., Ricciardo S. (a cura di), *Cielo e Terra: Fisica e Astronomia, un antico legame*. Roma: Aracne, pp. 403-408.
- Tuscano M.L. (2019). *King Ruggero II and the Reform of the Calendar*, in Campanile B., De Frenza L., Garuccio A. (a cura di), *Atti del XXXVII Convegno annuale SISFA* (Bari, 26-29 settembre 2017). Pavia: Pavia University Press, pp. 241-249.
- Tuscano M.L. (2021). *Luci meridiane nel Duomo normanno di Cefalù*, in Antonello E. (a cura di), *Atti XVII Convegno SIA "Ex Oriente: Mithra and the others"* (Roma 6-8 settembre 2017). Padova: Padova University Press, pp. 397-408.

La sinestesia musica-colore alla luce di vecchie e nuove tecnologie

Laura Franchini - Associazione Amici di Città della Scienza - crateri48@gmail.com

Silvana von Arx - Associazione Amici di Città della Scienza - silvanavonarx@gmail.com

Abstract: That particular capacity of the brain, called synaesthesia, is analyzed in the light of the most recent studies. The new technologies of virtual reality also make it possible to create artificial connections between the different sensory areas that have become new means of pain therapy, and to help for the disability of the blind and deaf. It will be shown that as early as 1725 this idea had come to Louis Bertrand Castel with his colored organ that would have allowed the deaf to enjoy the beauty of music through colors. As regards in particular the “music-color” synaesthesia, between the late nineteenth and early twentieth century musicians and painters created works in which sounds and colors strongly interfere; there is no evidence, even in their most famous writings, that they were “synaesthetes” in the neurological sense of the term. Instead, we think that their works were the result of an attempt to create a global work of art. The studies on synaesthesia have also made it possible to create teaching strategies that also allow the student to understand how close the different subjects of study are. There are many projects implemented in schools and museums where music and color workshops are held for children of different school ages with activities that help develop the ability to understand the different communication codes. Elementary cognitive processes are strengthened thanks to the musical experience, which becomes a guide for other expressive activities such as drawing and dance

Keywords: Brain, Synaesthesia, Teaching strategies.

1. Introduzione

Avete mai adoperato il termine sinestesia? E in quale ambito? Avete mai sentito un particolare sapore vedendo un colore, o avete mai visto un colore ascoltando un suono? Questi collegamenti sono fenomeni sinestetici. Proveremo a rispondere a questi interrogativi ed illustreremo le più recenti interpretazioni scientifiche del fenomeno della sinestesia grazie alle nuove tecnologie di *imaging* cerebrale. Per quanto riguarda in particolare la sinestesia “musica-colore”, musicisti e pittori, tra la fine dell’Ottocento e gli inizi del Novecento, realizzarono opere in cui suoni e colori interferivano fortemente; non c’è alcuna prova, neanche nei loro scritti più famosi, che fossero dei sinesteti nel senso neurologico del termine. Pensiamo, invece, che le loro opere fossero il frutto del tentativo

di realizzare un'opera d'arte globale. Infine, mostreremo come un approccio di tipo sinestetico possa giovare alla didattica e proporremo alcuni temi di studio per le scienze e la fisica, che questa ricerca ha suggerito.

Il termine sinestesia, che deriva dalle parole greche *syn* (assieme) e *aisthánomai* (percepisco), significa percepire insieme e fu usato per la prima volta dal neurofisiologo francese Félix-Alfred Vulpian (1826-1887) per indicare un fenomeno in cui uno stimolo, appartenente a una determinata sfera sensoriale, attiva una percezione parallela appartenente o alla stessa o ad un'altra sfera sensoriale. Ad esempio, un suono può indurre la percezione di un colore.

2. Sinestesia come integrazione multisensoriale

Le associazioni tra “musica e colori” ed anche tra “sapori e colori”, espressi con metafore come dolce suono o voce gelida, sono spesso utilizzate in ambito artistico, per creare una integrazione tra i vari sensi come in questi versi: «Verrà il tramonto, mia rosa e al di là della notte mi aspetterà spero il sapore di un nuovo azzurro», tratti dalla poesia *Le sei del mattino*, di Nâzim Hikmet (1961).

Opere di artisti famosi – come Kandinsky, Scriabin o Messiaen – che associano la musica al colore spesso sono considerate erroneamente sinestetiche o addirittura si pensa che l'artista che le ha create sia un sinestetico. Invece, tali esperienze artistiche, qualitativamente diverse dall'esperienza involontaria della sinestesia, nascono dal progetto di creare un'opera d'arte totale, che dovesse raggiungere tutti i sensi del fruitore, unificando i diversi linguaggi artistici. Un tipo di arte chiamata per questo multimodale.

In particolare, per Scriabin la luce e il colore si identificano con la musica stessa, se si abbinano i colori alle note musicali, suonando una tastiera colorata, di un *clavier à lumières*: il pubblico sarebbe stato invaso dalla luce e dai colori.

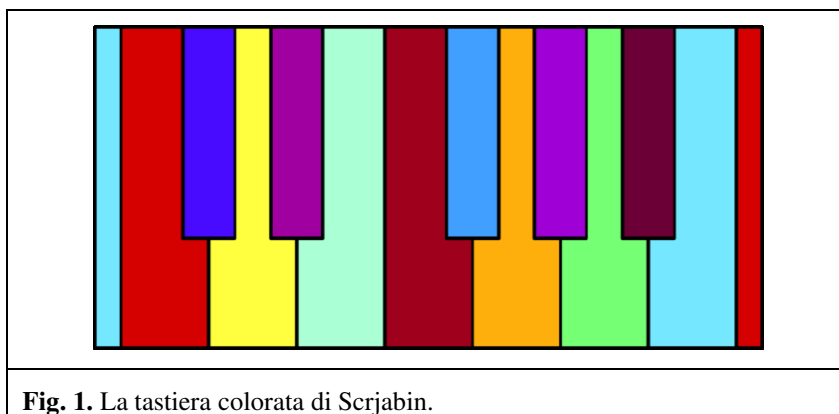


Fig. 1. La tastiera colorata di Scriabin.

Se Kandinsky sia stato realmente in grado di vedere i colori dei suoni, come un sinesteta puro, non si saprà mai, ma dipingeva con un criterio compositivo di tipo musicale, realizzando strutture visive che evocano in maniera incisiva armonie musicali ed emozioni. Egli era anche molto veloce nella realizzazione delle opere, ad esempio la *Composizione*

VII, una tela lunga 3 metri ed alta 2 metri, fu completata in soli tre giorni. Nelle sue opere pittoriche, alle quali dava titoli che evocano la musica, Kandinsky creava strutture visive che miravano a realizzare la fusione della musica con il colore.

Di Olivier Messiaen non si sa se fosse un sinestetico puro, ma aveva la capacità di contaminare i sensi. Era un grande osservatore della natura: aveva studiato il canto degli uccelli che diceva essere i più grandi musicisti sulla terra.

Messiaen componeva una musica in cui l'incontro e la sovrapposizione di accordi doveva creare l'impressione di vedere certi ben determinati accostamenti di colore. Nel settimo degli otto movimenti del suo *Quartetto per la fine del tempo*, rappresentato per la prima volta nel campo di concentramento di Görlitz nel 1941, così descrive l'arrivo dell'Angelo che annuncia la fine del Tempo in un vortice d'arcobaleni:

Durante i miei sogni, sento e vedo accordi e melodie conosciute, colori e forme note; poi, dopo questa fase transitoria, passo all'irreale ed esperisco con estasi un vortice, una penetrazione circolare di suoni e colori sovrumani. Queste lame di fuoco, queste colate di magma blu-arancio, queste stelle improvvise: ecco lo scompiglio, ecco l'arcobaleno!

3. Sinestesia e neurofisiologia

La sinestesia pura, invece, si manifesta automaticamente come fenomeno percettivo e non cognitivo e non è una patologia ma un modo diverso e più ricco di percepire il mondo. Essa è una condizione piuttosto rara che interessa il 4-5% della popolazione: di questo il 21% manifesta una sinestesia visuo-acustica.

Un episodio, raccontato da Oliver Sacks (2008) nel volume *Musicofilia*, ben descrive il fenomeno della sinestesia. Compositore precoce, Michael Torke ebbe un giorno, da bambino, uno scambio di battute con il suo insegnante di musica che gli rivelò la straordinaria singolarità della sua condizione. Disse, infatti: «Mi piace proprio questo brano azzurro» e, alla richiesta di una spiegazione, insisteva: «Sì, il brano in re maggiore ... il re maggiore è azzurro».

Per il neuroscienziato Richard Cytowic (1995) un atteggiamento sinestetico si può riconoscere grazie a queste 5 caratteristiche: 1) la sinestesia è involontaria e suscitata, cioè è provocata da uno stimolo oggettivo; 2) la sinestesia è proiettata, ossia è veramente percepita e non semplicemente immaginata; 3) le percezioni sinestetiche sono durevoli, cioè permangono con le stesse associazioni per tutta la vita dell'individuo; 4) la sinestesia ha memoria, cioè produce percezioni che si ricordano con facilità e vividezza; 5) la sinestesia è emozionale, ossia i sinestetici attribuiscono alle loro percezioni lo stesso valore emozionale delle esperienze reali.

4. Il cervello dei sinesteti

Il cervello dei sinesteti è un prezioso oggetto di ricerca. I lobi temporali (verde in Fig. 2), dove avviene il riconoscimento degli stimoli sonori, e quelli occipitali (azzurro in Fig. 2), per l'associazione visiva, sono le aree del cervello responsabili della sinestesia musica-colore. Le aree del cervello coinvolte nel controllo della sinestesia sono anatomicamente differenti rispetto a quelle dei non sinesteti, perché l'intero cervello dei sinesteti è maggiormente interconnesso di quello dei non sinesteti che non hanno questa peculiarità. Come avviene nei neonati che hanno un cervello con molte connessioni, che poi scompaiono con la crescita. In termini di attivazioni neurofisiologiche, i sinesteti reagiscono in modo diverso agli stimoli induttori: tali reazioni avvengono in tempi brevissimi, prima dell'elaborazione conscia, in un processo automatico.

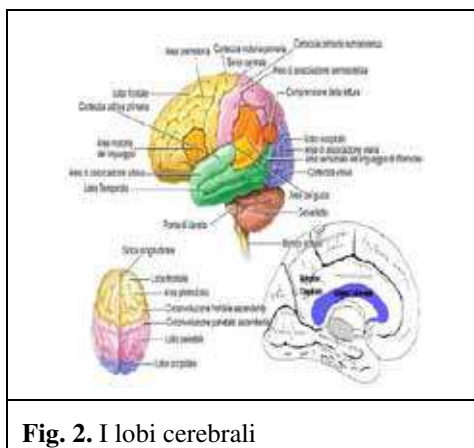


Fig. 2. I lobi cerebrali

Oggi è possibile avere informazioni sul cervello grazie a nuove tecnologie come: l'EEG (elettroencefalografia), la MEG (magnetoencefalografia) e la FMRI (risonanza magnetica funzionale) che permette d'individuare le aree cerebrali coinvolte in risposta a determinati stimoli; infine la PET (tomografia ad emissione di positroni) dà informazioni sulle differenze di afflusso sanguigno nelle varie regioni cerebrali e fornisce un'immagine a fette del cervello. Gli studi sulla sinestesia con l'aiuto di queste tecnologie hanno anche suggerito nuovi strumenti di assistenza e cura a pazienti con diverse patologie.

5. Applicazioni terapeutiche con vecchie e nuove tecnologie

Già nel 1725 il gesuita Louis Bertrand Castel (1688-1757) aveva ideato un particolare clavicembalo che avrebbe permesso ad un sordo di gioire della bellezza della musica tramite i colori. In questo strumento ogni tasto era connesso a un dischetto di vetro colorato. Premendo il tasto, si azionava una tendina che, sollevandosi, permetteva alla luce di una candela di colpire il vetro corrispondente facendo vedere i colori proiettati su una parete. In questo modo, sulla parete si poteva vedere il disegno colorato che nasceva suonando una melodia.

Molti altri ripresero e svilupparono in seguito l'idea di Castel, creando diversi tipi di organi colorati. Particolarmente interessante il *clavilux* di Thomas Wilfred (1919): produceva una fantasmagoria di immagini che poteva, secondo l'autore, essere di aiuto per curare disturbi nervosi. Il *clavilux* era un organo a colori, paragonabile a un gigantesco caleidoscopio, che produceva immagini somiglianti a fumo colorato, nuvole, veli di seta, uccelli o aurore boreali: una musica silenziosa.

Oggi sono le tecniche della realtà virtuale ad essere utilizzate per curare diverse patologie: con esse si producono associazioni sensoriali “finte”, sulle quali convogliare l'attenzione dell'utente in modo da distrarlo dal dolore, dall'ansia, dallo stress. La realtà virtuale “immersiva” si realizza isolando l'utente dall'ambiente esterno e immergendolo totalmente, mediante un casco visualizzatore, in un ambiente tridimensionale, generato dal computer.

Si produce una sorta di sinestesia “artificiale”, costruendo finte associazioni tra sensi all'interno della realtà virtuale, come ad esempio tra suoni e colori (udito e vista). La conseguenza di queste associazioni sensoriali indotte è una maggiore attenzione dell'utilizzatore verso gli stimoli ricevuti, che lo distoglierebbe dal dolore.



Fig. 3 Il clavicembalo di Louis Bertrand Castel

Il vOICe (OIC = *Oh I see*) è un dispositivo di sostituzione sensoriale SSD per non vedenti, basato sui principi della sinestesia. Ideato e sviluppato da Peter Meijer nel 1992, è sostanzialmente costituito da un *laptop*, un paio di occhiali da sole muniti di telecamera ed auricolari. Le immagini inquadrare dalla telecamera, convertite in gruppi di suoni, formano una sorta di panorama sonoro, fatto di alti e di bassi, corrispondenti a chiaro e scuro. In questo modo si produce una specie di visione sintetica con sensazioni veramente visive. Grazie alla plasticità neurale del cervello umano, con l'allenamento e la pratica costante l'utente si abitua gradualmente a distinguere gli oggetti. Questo dispositivo ha anche consentito alle neuroscienze di studiare le capacità adattative del cervello umano.

Il compositore daltonico Neil Harbisson per la prima volta nel 2004 si installò in testa una antenna che permetteva di convertire i colori in suoni, che chiamò EYBORG. Ogni colore ha una sua vibrazione (frequenza) che è trasmessa al cranio da un'antenna sviluppata in un *chip* e che viene percepita dalla membrana timpanica come un suono. Le onde vengono poi trasmesse tramite conduzione ossea all'orecchio del soggetto. Una specie di occhio elettronico che permette di "ascoltare" i colori a chi non può vederli, come i daltonici.

6. Sinestesia e didattica

Esperimenti di integrazione multisensoriale possono diventare una strategia didattica, infatti sono stati realizzati molti progetti in scuole e musei in cui si svolgono laboratori di musica e colore per bambini con attività che aiutano a sviluppare la capacità di comprendere i diversi codici comunicativi.

I processi cognitivi elementari sono rafforzati grazie all'esperienza musicale, che diventa una guida per le altre attività espressive come il disegno e la danza. Tali strategie didattiche permettono all'allievo di capire quanto vicine siano le diverse materie di studio e al docente di utilizzare la contaminazione reciproca dei sensi per facilitare l'apprendimento. Ad esempio, la costruzione e lo studio di strumenti musicali con il docente di musica può essere affiancato dallo studio di onde sonore e luminose con il docente di fisica, e del cervello o del meccanismo della visione con il docente di scienze.

Bibliografia

- Buldrini E. (2017). *Sinestesia, ovvero a contaminazione reciproca tra i sensi*. (Tesi di laurea in Ingegneria Biomedica). Università di Bologna, campus di Cesena.
- Ceroni C. (2003). *La sinestesia nella poetica di Scriabin* [online in: "parol, quaderni d'arte"]. URL: <www.parol.it/articles/cristina.htm>.
- Cytowic R.E. (1995). "Synesthesia: Phenomenology and Neuropsychology. A Review of Current Knowledge". *Psyche*, 2, pp. 2-10.
- Franchini L., Arx (von) S. (2014). "Musica e Colore", in Floriano M.A., Magliarditi G. (a cura di), "ScientificaMente" (Messina 22-27 luglio 2013). *Quaderni di Ricerca in Didattica (Scienze)*, numero speciale 6. Palermo: University of Palermo, pp. 35- 43.
- Hikmet N. (1961). *Le sei del mattino* [online]. URL: <<https://frammentiaria.wordpress.com/2009/12/18/le-sei-del-mattino/>>.
- Kandiskij W. (2005). *Lo spirituale nell'arte*, E.Pontiggia (a cura di). Milano: SE.
- Sacks O. (2008). *Musicofilia*. Milano: Adelphi.

Volume pubblicato nel mese di settembre 2022

Questo volume contiene gli Atti del 41° convegno di una lunga serie, organizzata annualmente prima dal Gruppo Nazionale di Storia della Fisica, poi dalla Commissione di Studio per la Storia della Fisica ed Astronomia del CNR e infine, dal 1999, dalla Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia. Scopo di questi convegni è quello di promuovere le attività di ricerca in storia della fisica e dell'astronomia in Italia, svolte sia da storici che da ricercatori indipendenti e insegnanti delle scuole, nonché di favorire incontri e collaborazioni tra gli studiosi in questi campi e in altri non solo affini, per facilitare il superamento delle divisioni tra le cosiddette due culture. Dopo un doveroso e commosso ricordo del socio, amico, fisico e storico della fisica Erasmo Recami (1939-2021), la prima sessione del convegno è dedicata proprio a ripercorrere la storia della Società. Seguono gli interventi dei giovani studiosi cui è stato attribuito il "SISFA Prize - 2021" e una sessione dedicata alle conoscenze scientifiche ai tempi di Dante Alighieri. La scansione dei lavori è suddivisa nelle dieci sessioni successive, in ordine in parte cronologico, in parte tematico.

This book contains the Proceedings of the 41st conference of a long series on a yearly basis organized at first by the National Group of the History of Physics, then by the Study Commission for the History of Physics and Astronomy of the CNR and finally, since 1999, by the Italian Society of Historians of Physics and Astronomy. The conferences aim to promote research activities in the history of physics and astronomy in Italy, carried out by both academic historians and independent scholars and school teachers, as well as to encourage meetings and collaborations between scholars in these subjects and in others not only similar, to facilitate the overcoming of the divisions between the so-called two cultures.

After a dutiful and moving memory of Erasmo Recami (1939-2021), colleague, friend, physicist and historian of physics, the first session of the conference retraces SISFA history. Papers by young scholars who have been awarded the "SISFA Prize - 2021" and a session dedicated to scientific knowledge at Dante Alighieri's times follow. The ten subsequent meeting sessions are divided in order partly chronologically, partly thematically.

Valeria Zanini è tecnologo dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Padova, dove è responsabile del "Museo La Specola" e dei Beni culturali. È stata responsabile del Servizio Musei dell'INAF dal 2010 al 2015, e ora collabora attivamente con il Servizio Biblioteche, Musei e Terza Missione. Dal 2015 insegna Storia dell'astronomia presso l'Università degli Studi di Padova. I suoi studi riguardano la storia dell'astronomia e della strumentazione astronomica, in particolare padovana, dal XVII secolo agli inizi del XX. Dal 2021 è nel Consiglio Direttivo della SISFA, per la quale cura, dal 2020, la newsletter trimestrale *Echos*.

Adele Naddeo è ricercatore associato alla sezione di Napoli dell'INFN. I suoi interessi di ricerca si concentrano sulla teoria dei campi, sui fondamenti della meccanica quantistica, sulla gravità e sulla storia della fisica del XX secolo.

Fabrizio Bònoli, già professore associato, è *Alma Mater Honorary Professor* dell'Università di Bologna, dove ha insegnato, tra l'altro, Storia dell'astronomia e Storia della cosmologia. È Direttore del *Giornale di Astronomia* della SAI. È stato responsabile per trent'anni del "Museo della Specola" dell'Università di Bologna e per molti anni vicepresidente della "Società Astronomica Italiana" e membro del Consiglio Direttivo della SISFA. Dopo essersi impegnato nella ricerca astrofisica, si è dedicato agli studi in storia dell'astronomia.



Hosting of the Conference:
MUMEC - Museo dei Mezzi di Comunicazione di Arezzo