

Atti



# SISFA 2015

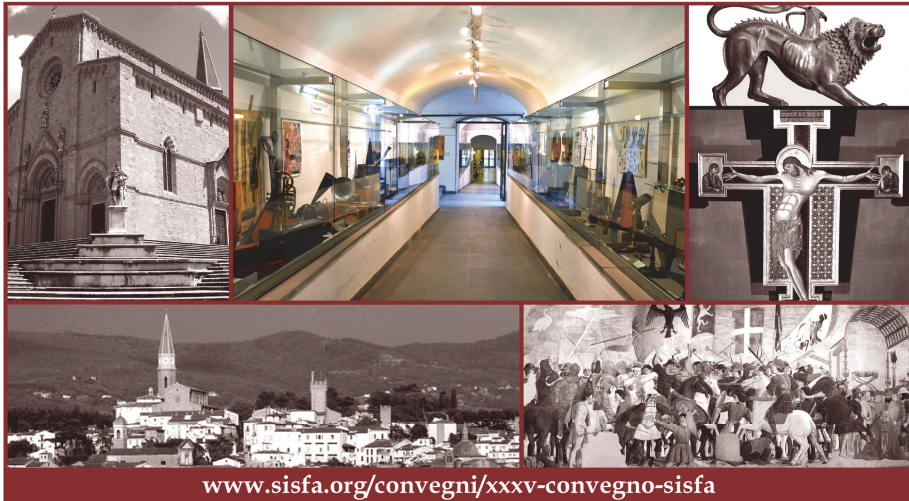
## XXXV Convegno della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia

Arezzo, 16-19 settembre 2015  
Museo dei Mezzi di Comunicazione  
Via Ricasoli 22, Arezzo

**Topical sessions**  
History of Light  
Science and World War I

**SISFA Advisory Committee**  
Gianni Battimelli - *Università di Roma Sapienza*  
Fabrizio Bonoli - *Università di Bologna*  
Paolo Brenni - *CNR, Firenze, FST*  
Fausto Casi - *Museo dei Mezzi di Comunicazione, Arezzo*  
Salvatore Esposito - *INFN, Sezione di Napoli*  
Lucio Fregonese - *Università di Pavia*  
Leonardo Gariboldi - *Università degli Studi di Milano*  
Massimo Mazzoni - *SAIt*  
Pasquale Tucci - *Università degli Studi di Milano, fr.*

**Local Organizing Committee**  
Fausto Casi  
Valentina Casi  
Salvatore Esposito  
Leonardo Gariboldi



[www.sisfa.org/convegni/xxxv-convegno-sisfa](http://www.sisfa.org/convegni/xxxv-convegno-sisfa)





Società Italiana degli Storici  
della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XXXV Convegno annuale  
*Proceedings of the 35<sup>th</sup> Annual Conference*

a cura di / *edited by*  
Salvatore Esposito



Atti del 35. Convegno annuale / Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia ; a cura di Salvatore Esposito = Proceedings of the 35th Annual Conference / Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia ; edited by Salvatore Esposito. – Pavia : Pavia University Press, 2016. – XV, 298 p. : ill. ; 24 cm. – (Atti)

<http://archivio.paviauniversitypress.it/oa/9788869520433>

ISBN 9788869520426 (brossura)

ISBN 9788869520433 (e-book PDF)

In testa al front: SISFA, Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia

© 2016 Pavia University Press, Pavia

ISBN: 978-88-6952-043-3

Nella sezione *Scientifica* Pavia University Press pubblica esclusivamente testi scientifici valutati e approvati dal Comitato scientifico-editoriale.

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento anche parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i paesi.

Il curatore e gli autori sono a disposizione degli aventi diritti con cui non abbiano potuto comunicare, per eventuali omissioni e inesattezze.

In copertina: *Museo dei Mezzi di Comunicazione del Comune di Arezzo, sede del convegno SISFA 2015*  
© *Museo dei Mezzi di Comunicazione, Arezzo*

Prima edizione: settembre 2016

Pubblicato da: Pavia University Press – Edizioni dell'Università degli Studi di Pavia  
Via Luino, 12 – 27100 Pavia (PV) – Italia  
[www.paviauniversitypress.it](http://www.paviauniversitypress.it) – [unipress@unipv.it](mailto:unipress@unipv.it)

*Printed in Italy*

# Sommario

## **Introductory remarks**

Lucio Fregonese ..... IX

**Programma del Convegno** ..... XI

## HISTORY OF LIGHT

### **Considerazioni sul *Saggio di ricerca sull'intensità del lume* di Vittorio Fossombroni**

Bruno Bruni ..... 3

### **Storia del Diorama**

Fausto Casi ..... 13

### **What is light? What is ether? An overview of Einstein's problem on the abolition of ether and on its ineliminable presence in General Relativity**

Salvo D'Agostino ..... 21

### **Immagini di luce: l'Accademia delle Scienze napoletana e i primi esperimenti di dagherrotipia scientifica**

Lucia De Frenza, Augusto Garuccio ..... 29

### **Light and gravitation from Newton to Einstein (Abstract)**

Jean Eisenstaedt ..... 41

## SCIENCE AND WORLD WAR I

### **Campi di battaglia allo zenith: le foto aeree come strumenti di misura delle forze nemiche e la conoscenza del territorio durante la Prima Guerra Mondiale**

Benedetta Campanile, Augusto Garuccio ..... 45

### **La comunicazione in trincea: 1914-1918**

Fausto Casi ..... 55

<b>Il famigerato appello <i>An die Kulturwelt</i>. Un autoritratto degli intellettuali tedeschi</b>	
Luigi Cerruti.....	69
<b>La ricerca dalla guerra alla pace</b>	
Sandra Lingueri .....	83
NUCLEAR ENERGY: 70 YEARS LATER	
<b>Alvin Weinberg e il nucleare. Riflessioni su Hiroshima 70 anni dopo</b>	
Vincenzo Cioci.....	101
<b>Panoramica delle dichiarazioni pubbliche dei fisici contro le armi nucleari</b>	
<b>Il periodo della guerra fredda</b>	
Antonino Drago, Giovanni Salio.....	109
PHYSICS AND SCIENCE IN THE ANTIQUITY	
<b>Epistemology of harmonics</b>	
Danilo Capecechi.....	127
<b>The ancient atomism and peculiar consequences</b>	
Francesco Castaldi .....	135
<b>Il paradigma euclideo e la sua eclissi</b>	
Renato Migliorato .....	143
PHYSICS AND SCIENCE BETWEEN THE 17 <sup>TH</sup> AND THE 19 <sup>TH</sup> CENTURIES	
<b>Thomas Young: una stima delle dimensioni atomiche nel primo '800</b>	
Giuseppe Fera .....	153
<b>Sulla natura dei corpi celesti: una disputa secentesca nell'ambiente scientifico italiano</b>	
Ivana Gambaro .....	163
<b>Il valore educativo della riedizione in lingua italiana del testo settecentesco</b>	
<b><i>Automatum Inaequale</i> di Gabriele Bonomo, matematico nicosiano</b>	
Maria Luisa Tuscano.....	177

PHYSICS AND SCIENCE IN THE 19<sup>TH</sup> CENTURY**Sonno ideale della ragione****Un breve scritto di ottica di un filosofo dilettante nell'Italia Umbertina**

Giancarlo Albertini, Anna Sicolo..... 187

**The “virial theorem” derived from Lazare Carnot’s mechanics****Its role of principle for the kinetic theory of gases**

Antonino Drago..... 195

**Clausius’ *disgregation* and other disappeared thermodynamic quantities:  
conceptual relics or meaningful epistemic junctions?**

Emilio Marco Pellegrino, Elena Ghibaudi..... 203

**Cosimo De Giorgi and the development of natural sciences in the South of Italy**

Arcangelo Rossi..... 211

PHYSICS AND SCIENCE IN THE 20<sup>TH</sup> AND 21<sup>ST</sup> CENTURIES**The beginning of Edoardo Amaldi’s interest in gravitation experiments  
and in gravitational wave research**

Luisa Bonolis, Adele La Rana ..... 219

**At the origins of nanotechnology****Discoveries and though competition in the field of the carbon nanotubes**

Luigi Cerruti, Emilio Marco Pellegrino, Elena Ghibaudi..... 229

**Photon-electron scattering: some contributions by Ettore Majorana**

Marco Di Mauro, Salvatore Esposito, Adele Naddeo..... 237

**Una nota sulla critica storica alle trasformazioni di Lorentz in relatività speciale**

Pietro Di Mauro, Angelo Pagano..... 245

**The three formulations of quantum mechanics founded on the alternative choices**

Antonino Drago..... 251

**Il centenario della pubblicazione di *La formazione dei continenti e degli oceani*  
e le ricerche di Alfred Wegener durante la Prima Guerra Mondiale**

Laura Franchini..... 261

**The neutron before the neutron: Pontremoli's compound models**

Leonardo Gariboldi ..... 267

**On the concept of degenerate stars: the case of white dwarfs**

Michael Rotondo ..... 273

## SCIENCE AND EDUCATION IN SCHOOLS AND MUSEUMS

**“Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria”:  
un approccio al pensiero scientifico nella scuola primaria**Franco L. Fabbri *et al.* ..... 283**Strumenti e metodi per l'apprendimento della diffrazione ottica:  
un fenomeno ponte nella storia della fisica**

Marisa Michelini, Lorenzo Santi, Alberto Stefanel ..... 291

*Abstract* ..... 299



## Introductory remarks

The year 2015 abounds with anniversaries and initiatives which are very relevant for the history and public perception of science, physics and astronomy.

The SISFA annual Congress keeps a special eye on the “History of Light” and on “Science and World War I” in connection with, respectively, the International Year of Light and Light-based Technologies (IYL 2015) and the centenary of Italy’s intervention in the first world conflict. No less important, the centenary of general relativity and the 70th anniversary of Hiroshima and Nagasaki are also considered, although not on the same scale and from particular perspectives such as the complex relation between light and gravitation in the period from Newton to Einstein and the new implications of nuclear energy.

General aim of the session “History of Light” is to stimulate reflection on important steps and aspects of the scientific approach to light as well as on some of its spectacular uses and social outcomes. The programme includes a physical replication of Foucault’s experiments on the velocity of light and an exhibition on the history of diorama offering direct projection of rare original images. The history of light is also investigated as a fruitful resource for new ways of dealing with light and light-related subjects in science education.

The session “Science and World War I” focuses mainly on the positions of Italian scientists examining important issues such as their attitude towards the war, their interaction with foreign contexts and the effects on scientific research up to the post-war period. Attached to this session, a small exhibition prepared with original objects and instruments illustrates military applications of science in connection especially with the manifold communication technologies that were exploited during the war.

Lucio Fregonese

President of the Italian Society  
for the History of Physics and Astronomy



# XXXV Convegno annuale SISFA – Arezzo 2015

## PROGRAMME

### 16 September 2015 – Wednesday

15:00-18:15 *Opening and Sessions* – Museo dei Mezzi di Comunicazione

15:00 *Registration*

15:30 *Opening remarks by institutional representatives*

**Session:** HISTORY OF LIGHT

*Invited talks:*

16:00 **J. Eisenstaedt**

Light and gravitation from Newton to Einstein

16:45 **F. Giudice**

The debate on the nature of light: Newton and his critics

17:30 **L. Fregonese – M. Galli**

Replication of Foucault's experiments on the velocity of light: History, non-conventional use of modern technology and interdisciplinary teaching

18:15 *End of session*

21:00 *Film projection* – Museo dei Mezzi di Comunicazione

“Les magiciens de la lumière” (commented by P. Brenni)

### 17 September 2015 – Thursday

9:00-17:10 *Sessions* – Museo dei Mezzi di Comunicazione

**Session:** SCIENCE AND WORLD WAR I

*Invited talks:*

9:00 **G. Battimelli**

Gli scienziati italiani e l'intervento

9:30 **L. Cerruti**

The notorious appeal *An die Kulturwelt*: A self-portrait of the German intellectuals

10:00 **G. Paoloni**

L'Italia accademica e il modello americano

10:30 **S. Linguerra**

La ricerca dalla guerra alla pace

11:00 *Discussion*

11:20 *Exhibition, presentation:*

“La comunicazione in trincea (1915-1918)” (F. Casi)

11:25-11:40 *Coffee break*

*Communication:*

11:40 **A. Garuccio, B. Campanile**

Battle fields at zenith: Aerial photos as measuring instruments of the enemy force during the First World War

**Session:** NUCLEAR ENERGY: 70 YEARS LATER

*Communications:*

12:00 **S. Esposito**

Fermi and the pacific use of nuclear power

12:20 **A. Drago, G. Salio**

Panoramica delle prese di posizione dei fisici sulle armi nucleari

12:40 **V. Cioci**

Alvin Weinberg e il nucleare: Riflessioni su Hiroshima 70 anni dopo

13:00-14:30 *Buffet lunch*

**Session:** PHYSICS AND SCIENCE BETWEEN THE 17<sup>TH</sup> AND THE 19<sup>TH</sup> CENTURIES

*Communications:*

14:30 **I. Gambaro**

Sulla natura dei corpi celesti: una disputa secentesca nell’ambiente scientifico italiano

14:50 **E.R.A.C. Giannetto**

The light of Galileo

15:10 **L. Guzzardi**

Leibniz, the series of Grandi and justice

15:30 **M.L. Tuscano**

Il valore educativo della riedizione in lingua italiana del testo settecentesco *Automatum Inaequale* di Gabriele Bonomo, matematico nicosiano

15:50 **L. Cardinali, P. Contardini, F. Bevilacqua**

Ruggiero Boscovich e il suo tempo: Scienza, mondanità e diplomazia nelle tracce pavese e nelle lettere di un padre gesuita

16:10-16:30 *Coffee break*

16:30 **U. Frisch, B. Villone**

Another jewel of Cauchy: The Lagrangian formulation of the Euler 3D incompressible flow equations. Its birth, rebirth and very recent frontier applications in fluid dynamics and cosmology

16:50 **G. Fera**

Thomas Young: Una stima delle dimensioni atomiche nel primo Ottocento

17:10 *End of sessions*

17:15-19:00 SISFA General Assembly – Museo dei Mezzi di Comunicazione

20:30 Social dinner

*Walking after dinner: Ancient Arezzo by night*

### 18 September 2015 – Friday

9:00-18:45 Sessions – Museo dei Mezzi di Comunicazione

**Session:** PHYSICS AND SCIENCE IN THE 20<sup>TH</sup> AND 21<sup>ST</sup> CENTURIES

*Invited talk:*

9:00 **M. Liscidini**

Seeing classical and quantum optics in a new “light”

*Communications:*

9:45 **L. Franchini**

The centenary of the publication of *The origin of continents and oceans* and scientific researches of Alfred Wegener during World War I

10:05 **P. Di Mauro, A. Pagano**

An historical criticism to Lorentz transformation in special relativity

10:25 **A. Drago**

About three quantum mechanics’ formulations sharing the alternative fundamental choices

10:45 **S. Esposito, M. Di Mauro, A. Naddeo**

Majorana and the theoretical problem of photon-electron scattering

11:05-11:25 *Coffee break*

11:25 **L. Gariboldi**

The neutron before the neutron: Pontremoli’s compound models

11:45 **A. La Rana, L. Bonolis**

The beginning of Edoardo Amaldi’s interest in gravitation experiments and in gravitational wave detection

12:05 **M. Rotondo**

On the concept of degenerate stars: The case of white dwarfs

12:25 **L. Cerruti, E.M. Pellegrino, E. Ghibaudi**

At the origins of nanotechnology: Discoveries and tough competition in the field of the carbon nanotubes

12:45-14:30 *Buffet lunch*

**Session:** HISTORY OF LIGHT*Communications:*14:30 **M. Taddia, L. Guadagnini**

Light from broken glass: Filippo Schiassi's experiments

14:50 **Y. Takuwa**

Testing the accuracy of Newton's optical experiments

15:10 **A. Garuccio, L. De Frenza**

Images of light: The Neapolitan Academy of Science and the first experiences of scientific daguerreotype

15:30 **S. D'Agostino**

What is light? An overview of the nineteenth and twentieth-century theories of light

15:50 **A. Siculo, G. Albertini**

Sonno ideale della ragione

16:10-16:30 *Coffee break***Session:** PHYSICS AND SCIENCE IN THE 19<sup>TH</sup> CENTURY*Communications:*16:30 **A. Drago**

The virial theorem as a principle of statistical mechanics

16:50 **E.M. Pellegrino, E. Ghibaudi**

Clausius' disgregation: A conceptual relic that sheds light on the second law

17:10 **A. Rossi**

Cosimo De Giorgi and the development of natural sciences in the south of Italy

**Session:** HISTORY OF LIGHT*Invited talk:*17:30 **F. Casi**

Luce riflessa, luce in trasparenza: Storia del diorama

18:15 *Exhibition, guided visit* – Palazzo Comunale di Arezzo"Storia del diorama" (**F. Casi**)20:00 *Visit to the Casi collection of scientific instruments* (working dinner)**19 September 2015 – Saturday**

9:00-13:00 – Museo dei Mezzi di Comunicazione

*Invited talk* (HISTORY OF LIGHT)9:00 **Bruno Bruni**Considerazioni sul *Saggio di ricerche sull'intensità del lume*, di Vittorio Fossombroni Aretino (1781), con dimostrazioni pratiche

**Session:** SCIENCE AND EDUCATION IN SCHOOLS AND MUSEUMS

*Communications:*

9:45 **M. Michellini, L. Santi, A. Stefanel**

Strumenti e metodi per l'apprendimento della diffrazione ottica: Un fenomeno ponte nella storia della fisica

10:05 **A. De Toni, M. Michellini, A. Pratelli, A. Stefanel, B. Boccardi, F.L. Fabbri, G. Parolini, R. Sartori, M. Torre, V. Tosoratti, S. Donati De Conti, T. Guerrini Rocco, L. Bertoli, A. Bertossi, P. Pavatti**

Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria: Un approccio al pensiero scientifico nella scuola primaria

10:25 **O. Mauro**

I musei scientifici dell'Istituto Comprensivo Pisacane-Poerio di Milano: La fortuna di avere un percorso che parte dalle conchiglie fino ai motori a scoppio!

10:45-11:00 *Coffee break*

**Session:** SCIENTIFIC INSTRUMENTS AND COLLECTIONS

*Communications:*

11:00 **P. Brenni**

Le grandi bobine di induzione (costruzione, utilizzazione, diffusione)

11:20 **R. Mantovani**

Early magneto-electric generators in Italy: Saxton and Clarke's machines

11:40 **E. Corradini**

Il Gabinetto di metrologia nel Palazzo Ducale di Modena a metà Ottocento

**Session:** PHYSICS AND SCIENCE IN ANTIQUITY

*Communications:*

12:00 **D. Capecchi**

Epistemology of harmonics

12:20 **R. Migliorato**

Il paradigma euclideo e la sua eclissi

12:40 **F. Castaldi**

L'atomismo antico e certe conseguenze

13:00 *Congress ending remarks*





## HISTORY OF LIGHT



# Considerazioni sul *Saggio di ricerca sull'intensità del lume* di Vittorio Fossombroni

Bruno Bruni - I.T.I.S. "Galileo Galilei", Arezzo - bru\_to@inwind.it

*Abstract:* I will consider some topics contained in the book *Saggio di ricerche sull'intensità del lume* by Vittorio Fossombroni, published in Arezzo in 1781. In the first part I will give a short biographical sketch of Fossombroni who, born in Arezzo in 1754, was a Law scholar and a scientist, having worked on Economics, Mathematics, Physics and Hydraulics. He was in high repute in his fatherland, the *Granducato di Toscana*, his fame being related mainly to the final drainage of Val di Chiana. In the second part of the paper, instead, I will describe the most significant chapters of Fossombroni *Saggio*, where the problem of the attenuation of the intensity experienced by a light ray impinging on an arbitrary surface is considered, the attenuation being due to both distance and inclination. His reasoning is mainly geometric in nature.

*Keywords:* Vittorio Fossombroni, Granducato di Toscana, light attenuation

## 1. Introduzione

In questo Convegno della SISFA che si è svolto ad Arezzo e che ha avuto per tema la luce, abbiamo ritenuto opportuno parlare di un personaggio illustre di Arezzo che, tra le molte altre sue opere, ha scritto un saggio proprio sulla luce: si tratta di Vittorio Fossombroni e del *Saggio di ricerca sull'intensità del lume* pubblicato ad Arezzo nel 1781. Prima verrà mostrato, se pure sommariamente, un profilo del personaggio, per procedere poi alla descrizione di alcuni capitoli, quelli più significativi, del *Saggio*.

## 2. Nota biografica

Vittorio Fossombroni nacque ad Arezzo il 15 settembre 1754 da Giacinto e da Lucilla dei baroni Albergotti Siri, terzo di sette fratelli, morì a Firenze il 13 aprile 1844 e fu sepolto nella chiesa di S. Croce.<sup>1</sup>

Sotto la guida del padre, ricco antiquario di Arezzo, appassionato di matematica, fisica e astronomia, il giovane Vittorio si dedicò allo studio delle stesse discipline, am-

---

<sup>1</sup> Le informazioni sulla vita di Fossombroni sono dedotte prevalentemente da (Pazzagli 1997) e (Nagliati 2009).

pliando l'interesse anche all'economia, alla politica, all'ingegneria idraulica e alla giurisprudenza. Nel 1778 si laureò in giurisprudenza presso l'Università di Pisa. Durante gli studi pisani coltivò anche i suoi interessi scientifici mantenendo contatti con il fisico Pignotti e l'astronomo Perelli. Dopo la laurea, si trattenne per alcuni anni a Firenze, frequentando l'Accademia dei Georgofili della quale divenne socio, e dove frequentò un gruppo di studiosi, fra cui Fabbroni e Ximenes, approfondendo argomenti di matematica e di ingegneria idraulica, con particolare riferimento alla bonifica delle zone paludose, privilegiando il metodo delle colmate. In virtù di tali conoscenze nel 1782 ottenne dal Granduca Pietro Leopoldo (1765-1790) la nomina di Visitatore dei beni dell'ordine di Santo Stefano in Val di Chiana per approfondire le conoscenze di questa valle paludosa e in previsione della sua bonifica. Nel 1786 pubblicò il saggio *Studi sopra la distribuzione delle alluvioni* e nel 1789 il saggio *Memorie idrauliche-storiche sopra la Val di Chiana*. Il Granduca, avendo già letto l'anno precedente le bozze di questo saggio, nel 1788 lo nominò Soprintendente alla bonifica della Val di Chiana, carica che mantenne fino al 1828. Fossombroni dette un forte impulso per la bonifica della valle, portandola verso la bonifica definitiva; sono stati fondamentali lo studio storico e la pianificazione dei lavori, e a tal proposito risulta fondamentale l'ultima opera citata.<sup>2</sup> L'esperienza maturata in questo campo lo rese famoso in tutta Italia e anche all'estero, tantoché nel 1810 fu chiamato a presiedere la commissione per la bonifica dell'Agro romano e delle paludi Pontine, nel 1830 l'imperatore d'Austria gli commissionò uno studio sulla regolamentazione delle acque della laguna veneta e dei fiumi Brenta, Bacchiglione e Sile e perfino il viceré d'Egitto chiese il suo parere per la costruzione di un bacino idrico nel porto di Alessandria d'Egitto. Fossombroni si dedicò continuamente allo studio dell'idraulica producendo altre pubblicazioni sia di carattere teorico che pratico e fra queste sono da menzionare:

- *Della resistenza e dell'urto dei fluidi sopra alcune esperienze istituite nel 1795* (Fossombroni 1824, pp. 247-266);
- *Illustrazione d'un antico documento relativo all'originario rapporto fra le acque dell'Arno e quelle della Chiana* (Fossombroni 1824, pp. 331-364);
- *Relazione sopra il lago di Fucecchio* (Fossombroni 1824, pp. 297-308);
- *Saggio sulla bonificazione delle paludi pontine*, Verona. 1815;
- *Discorso sopra la Maremma* (Tartini 1838, pp. 367-376).

Fossombroni ebbe un ruolo fondamentale nella politica del Granducato di Toscana, avendo ricoperto ruoli fondamentali con tutti i reggenti che regnarono durante la sua lunga vita, e cioè Pietro Leopoldo (1765-1790), Ferdinando III (1790-1801, 1814-1824), Leopoldo II (1824-1849) ed anche con Napoleone, durante l'occupazione francese (1801-1814), prima come regno d'Etruria (1801-1808) e poi come Impero (1808-1814). I ruoli ricoperti nei vari momenti furono:

- revisore delle stampe (1891) con nomina di Ferdinando III;
- ministro degli esteri (1796-1799) con nomina di Ferdinando III, ma su imposizione di Napoleone;
- Segretario di Stato nel 1798;

<sup>2</sup> Per maggiori informazioni sulla bonifica della Val di Chiana vedi (Bigazzi 2007).

- consigliere di Stato del Regno d'Etruria (1802);
- nel 1803 fu chiamato a presiedere la Deputazione finanziaria, divenendone poi il presidente;
- nel 1805 accettò il grado di Tenente generale delle truppe toscane e nel maggio fece parte della delegazione toscana inviata a Milano in occasione dell'incoronazione di Napoleone;
- nel 1808 fu nominato membro del Consiglio privato di Napoleone e successivamente Senatore dell'Impero e Conte, un titolo che avrebbe conservato anche dopo la Restaurazione e il ritorno di Ferdinando III;
- nel 1814 Ferdinando III incaricò Fossombroni a presiedere la commissione legislativa, poi divenne Segretario di Stato, Ministro degli Esteri, Direttore delle Segreterie Reali;
- alla morte di Ferdinando III, nel 1824, Fossombroni gestì il passaggio del Granducato a favore di Leopoldo II.

Per quanto riguarda l'economia Fossombroni fu un sostenitore della proprietà privata e del libero scambio; su incarico di Ferdinando III partecipò alla scrittura delle leggi relative alla libera esportazione:

- del pellame, della paglia per cappelli e dell'alabastro (1816);
- della lana greggia (1817);
- della seta greggia e dei bozzoli (1819).

Oltre a questi onerosi impegni politici e sociali, Fossombroni si occupò per tutta la vita anche di argomenti scientifici, concretizzati nella pubblicazione delle seguenti opere:

- *Memoria sulle equazioni irriducibili di terzo grado*, Giornale di Pisa, 1778;
- *Saggio di ricerche sull'intensità del lume*, Arezzo, 1781;
- *Saggio di alcune memorie sui terreni inclinati*, Pisa, 1788;
- *Saggio di un dilettante di matematica sull'equazioni di condizione e sopra l'invenzione della Brachistocrona*, Roma, 1791;
- *Memoria sopra il principio delle velocità virtuali*, Firenze, 1796.

Fossombroni fu insignito di numerose onorificenze, fra le tante possiamo ricordare:

- Cavaliere dell'ordine della Legion d'Onore;
- Ufficiale della Legion d'Onore;
- Commendatore dell'Ordine dei Santi Maurizio e Lazzaro;
- Cavaliere dell'Ordine Pour le Mérit;
- Conte dell'Impero.

Tra le molte associazioni di cui fece parte se ne ricordano alcune:

- Membro dell'Accademia Reale delle Scienze;
- Membro dell'Istituto di Francia;
- Membro dell'Imperiale Accademia di Pietroburgo;
- Membro dell'Istituto di Bologna;
- Membro della Società dei Quaranta.

### 3. Il Saggio di ricerche sull'intensità del lume

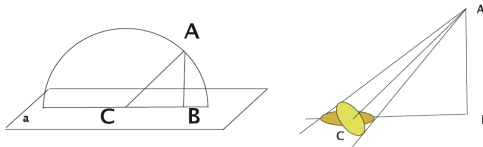
Procederò ora alla descrizione del *Saggio di ricerche sull'intensità del lume*. Il saggio studia come viene attenuata l'intensità di un raggio luminoso quando incide su una superficie; detta attenuazione dipende da due fattori:

- è inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra la sorgente luminosa e la superficie illuminata;
- dipende dall'inclinazione del raggio luminoso rispetto alla superficie illuminata, come verrà precisato nel lemma.

Fossombroni non tiene in considerazione la natura della superficie riflettente, argomento che lascia trattare ad altri, come dichiara nell'ultimo capitolo. Il saggio si articola in otto capitoli che corrispondono ad altrettanti problemi, preceduti da un lemma generale. Descriverò in particolare, oltre al lemma, due problemi che sono i più importanti e rappresentativi di tutto il *Saggio*, e cioè il primo e il settimo. Di tali problemi verranno presentati anche due dispositivi pratici per verificare in via sperimentale i risultati dedotti in via teorica. Tali dispositivi non sono né descritti né menzionati nel saggio.

#### 3.1. Lemma generale

Una sorgente luminosa puntiforme situata in un punto A, muovendosi in modo da mantenere costante la distanza dal punto C di un piano  $\alpha$ , produce in C una illuminazione che dipende dall'inclinazione del raggio AC rispetto al piano  $\alpha$  (Figg. 1 e 2).



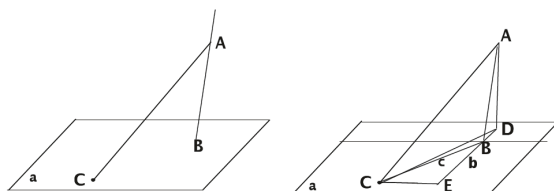
Figg. 1-2. Illuminazione da una sorgente puntiforme

$$I = k \frac{AB}{AC} = k \operatorname{sen}(ACB)$$

Qui  $I$  è l'illuminazione e  $k$  una costante di proporzionalità che dipende dalla natura del piano  $\alpha$ .

#### 3.2. 1° Problema

Trovare, sulla retta AB, a quale distanza da B deve essere posta una sorgente luminosa affinché in un punto C di un piano  $\alpha$ , comunque inclinato rispetto alla retta AB, si produca la massima illuminazione (Fig. 3).



**Figg. 3-4.** Costruzione per la massima illuminazione su di un piano

Con riferimento alla Fig. 4 si pongono le seguenti indicazioni,  $x$  incognita,  $b$  e  $c$  costanti:

$$AB = x$$

$$AD = mx \quad m = \text{sen}(\text{ABD})$$

$$BD = nx \quad n = \text{cos}(\text{ABD})$$

$$EB = b$$

$$CB = c$$

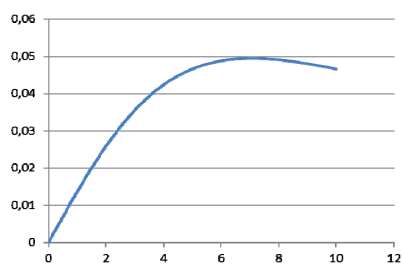
$$CE^2 = CB^2 - EB^2 = c^2 - b^2$$

$$CD^2 = CE^2 + ED^2 = c^2 - b^2 + (b + nx)^2 = c^2 + 2nbx + n^2x^2$$

$$CD = \sqrt{c^2 + 2nbx + n^2x^2}$$

$$CA = \sqrt{CD^2 + AD^2} = \sqrt{c^2 + 2nbx + n^2x^2 + m^2x^2} = \sqrt{x^2 + 2nbx + c^2}$$

L'illuminazione  $I$  è data dal rapporto  $AD/AC$  diviso per il quadrato della distanza  $CA$ .



**Fig. 5.** Grafico della funzione di illuminazione

$$I = \left[ \frac{mx}{\sqrt{x^2 + 2nbx + c^2}} \right] \left[ \frac{1}{x^2 + 2nbx + c^2} \right]$$

$$I = \frac{mx}{(x^2 + 2nbx + c^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Questa è la funzione che esprime l'illuminazione  $I$  nel punto C il cui grafico è rappresentato in Fig. 5; derivando si ottiene:

$$I = 2m\sqrt{x^2 + 2nbx + c^2} \left[ x^2 + \frac{nbx}{2} - \frac{c^2}{2} \right]$$

Uguagliando a zero si ottiene:

$$\left[ x^2 + \frac{nbx}{2} - \frac{c^2}{2} \right] = 0$$

Che ammette come soluzione:

$$x = -\frac{nb}{4} \pm \sqrt{\frac{c^2}{2} + \frac{n^2b^2}{16}}$$

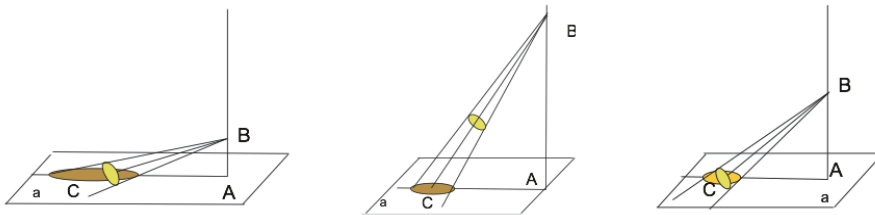
### 3.2.1. 1° Caso particolare

La retta AB è perpendicolare al piano  $\alpha$  ed il punto C si trova ad una distanza  $c$  dal piede B della perpendicolare al piano. In questo caso si ha la migliore illuminazione nel punto C quando la distanza AB è:

$$x = AB = \frac{c}{\sqrt{2}} \cong c \cdot 0.707.$$

Nelle tre figure sono rappresentati tre casi simbolici:

- Fig. 6a: intensità ridotta per la notevole inclinazione,
- Fig. 6b: intensità ridotta per la distanza,
- Fig. 6c: intensità massima.



**Fig. 6.** Diversa intensità luminosa su di un piano (1° caso particolare)

Questo risultato teorico è confermato dall'esperienza pratica realizzata mediante un triangolo articolato dove una sorgente luminosa, posta nel vertice in alto, incide sul piano  $\alpha$  materializzato nella piccola basetta rettangolare. Variando le distanze dei cateti, sia quello verticale che quello orizzontale, risulta confermato che l'illuminazione massima si verifica sempre quando il rapporto fra gli stessi è 0.7 (Figg. 7a-7c).





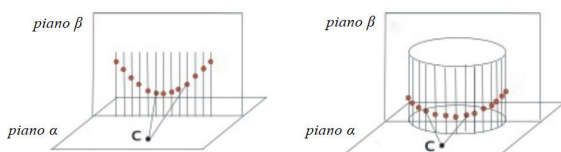
**Fig. 7.** Esperimento per verificare la diversa intensità luminosa su di un piano (1° caso particolare)

### 3.2.2. 2° Caso particolare

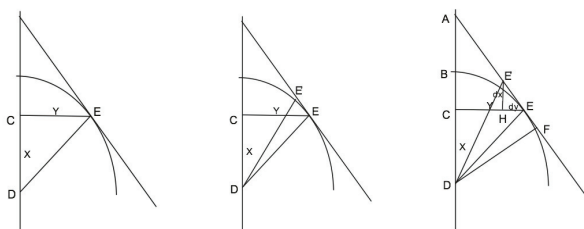
Su ogni retta di uno stesso piano  $\beta$ , i punti che danno la massima illuminazione nello stesso punto del piano  $\alpha$ , formano un ramo di iperbole (Fig. 8).

### 3.2.3. 3° Caso particolare

Tutti i punti delle rette di una superficie rigata che danno la massima illuminazione nello stesso punto del piano  $\alpha$  formano una linea nello spazio la cui equazione dipende dall'equazione della superficie considerata (Fig. 9).



**Figg. 8-9.** Intensità luminosa su di un piano (2° e 3° caso particolare)



**Fig. 10.** Costruzione geometrica per determinare l'intensità di illuminazione

### 3.3. 7° Problema

Trovare la superficie che sia ugualmente illuminata da una sorgente luminosa puntiforme.

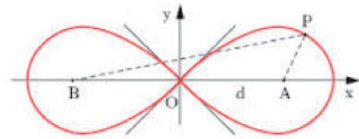
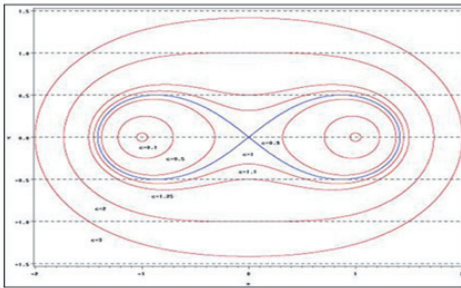
Con riferimento alla Fig. 10a, supponiamo che la sorgente luminosa sia posizionata nel punto D, origine degli assi  $x, y$ , e che l'intersezione della superficie cercata con questo piano sia la curva tracciata e anche che il raggio luminoso DE incida sulla superficie nel punto E. Se il raggio DE si sposta nel raggio DE' (Fig. 10b), aumentando la distanza dall'origine, la curva deve variare la sua curvatura per mantenere invariata l'intensità di illuminazione nel nuovo punto. Per trovare l'equazione della superficie occorre impostare una logica di carattere infinitesimale intorno al punto E, considerando incrementi infinitesimali  $dx$  e  $dy$  (Fig. 10c).

Ripercorrendo alcuni calcoli proposti nel *Saggio*, si giunge ad impostare l'equazione differenziale (le figure sono dedotte da quelle originali del *Saggio*) come segue.

$$DC = x$$

$$CE = y$$

$$DE = \sqrt{x^2 + y^2}$$



**Figg. 11-12.** Lemniscata e problema di Bernoulli

Dai triangoli simili ACE e  $dy, dx, EE'$  si ricava AD.

$$Y:(-dy) = AC:dx$$

$$AC = -y \frac{dx}{dy}$$

$$(-dy) : y = \sqrt{dx^2 + dy^2} : AE$$

$$AE = -\frac{y}{dy} \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$\text{Ricaviamo, quindi: } AD = AC + x = -y \frac{dx}{dy} + x$$

Dai triangoli simili ACE e AFD si ricava DF:

$$AE:EC = AD:FD$$

$$- \frac{y}{dy} \sqrt{dx^2 + dy^2} : y = \left( - y \frac{dx}{dy} + x \right) : DF$$

$$DF = \frac{ydx - xdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$$

Si trova poi la funzione che esprime l'illuminazione nel punto E:

$$I = \frac{DF}{DE} \frac{1}{DE^2} = \frac{ydx - xdy}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}} \sqrt{dx^2 + dy^2}}$$

Ponendo la funzione uguale ad una costante, per semplicità uguale ad 1, si ottiene l'equazione differenziale che risolve il problema:

$$\frac{ydx - xdy}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}} \sqrt{dx^2 + dy^2}} = 1$$

Con una serie di passaggi, presenti nel *Saggio*, ma non riportati per economia di spazio, si ottiene la funzione che risolve il problema: la soluzione è la classica lemniscata di Jakob Bernoulli (Campedelli 1964, p. 60):

$$(x^2 + y^2)^2 = x^2 - y^2$$

La lemniscata compare per la prima volta nel 1680 come caso particolare di una famiglia di curve studiate da Giovanni Cassini (1625-1712) nella ricerca delle orbite dei pianeti (Fig. 11).

Jakob Bernoulli (1654-1705) aveva dedotto questa curva come luogo geometrico, dandole il nome di Lemniscata (Fig. 12) e pubblicandola poi nel 1694 negli *Acta Eruditorum*, rivista periodica mensile di carattere scientifico pubblicato in Germania, non conoscendo il lavoro di Cassini.

Fossombroni ne deduce l'equazione percorrendo una strada completamente differente, mettendo in evidenza una proprietà della lemniscata del tutto inattesa. La Fig. 13 rappresenta un quarto di lemniscata e si nota che, mentre i vari raggi che escono dall'origine aumentano di lunghezza, aumenta pure l'angolo di incidenza; in tal modo mentre l'intensità di illuminazione decresce per la distanza, in ugual misura cresce per l'aumento dell'angolo. Il risultato è che questa curva mantiene costante l'illuminazione in ogni punto.

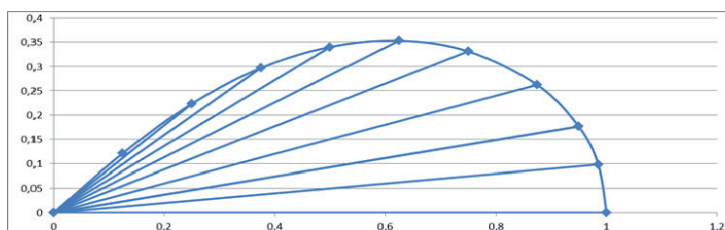
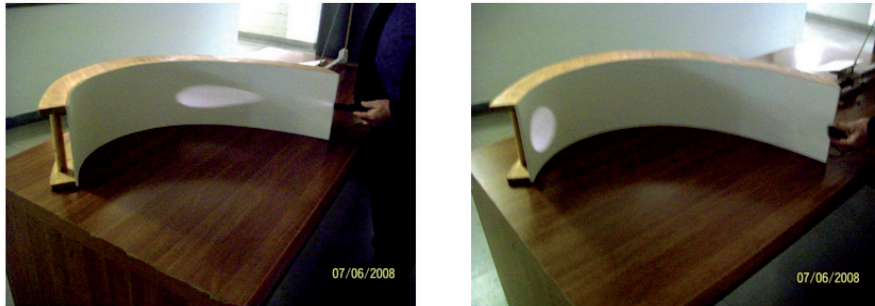


Fig. 13. Curva di costante illuminazione (quarto di lemniscata)



**Fig. 14.** Verifica sperimentale dell'illuminazione costante lungo un quarto di lemniscata

Anche in questo caso viene presentata una verifica pratica del risultato, utilizzando una superficie curvata secondo la forma di un quarto di lemniscata. Il risultato fornisce effettivamente uguale illuminazione al variare del raggio luminoso posto sempre nel centro della curva (Figg. 14a e 14b).

### **Bibliografia**

- Bigazzi A. (2007). *Bonifica della Val di Chiana*. Arezzo: Accademia Petrarca.
- Campedelli L. (1964). *Esercitazioni di geometria analitica e proiettiva*. Padova: CEDAM.
- Nagliati I. (2009). *Fossombroni V.*, in *Edizione Nazionale Mathematica Italiana - Notizie Biografiche*. Pisa: Scuola Normale Superiore.
- Pazzagli C. (1997), *Fossombroni V.*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*. Volume 49. Roma: Treccani, pp. 508-514.
- Fossombroni V. (1781). *Saggio di ricerche sull'intensità del lume*. Arezzo: Bellotti.
- Fossombroni V. (1824). *Opere idrauliche*. Bologna: Marsigli.
- Tartini F. (1838). *Memorie sul bonifamento delle Maremme toscane*. Firenze: Molini.

## Storia del Diorama

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

*Abstract:* Scorrendo nei locali del Museo dei Mezzi di Comunicazione di Arezzo viene presentato l'aspetto della *comunicazione visiva del gioco ottico, e dell'inganno ottico*. Per rendere reale la profondità di scena, arriviamo ai *teatrini dioramici*.

La storia del *diorama* inizia con una elaborazione delle "vue d'optique" o visioni ottiche, nella seconda metà del 1700: il retro in trasparenza, produce l'effetto del cambiamento giorno-notte o, addirittura, cambiamento dell'immagine con arricchimento di personaggi o sostituzione del paesaggio. Per avere questi effetti era necessario inserire le immagini, incollate in piccoli telai di legno, nell'apposito contenitore i cui nomi sono i più diversi: *scatola ottica, teatro ottico, visore per trasparenze, pantoscopio, mondo nuovo, panorama, teatro dioramico, cosmorama, zoogroscopio, polyorama panottico, visore per diorami, diorama, poleorama, aletoscopio, megaletoscopio*, tutti comunque con la possibilità di osservare la stessa immagine prima con *luce riflessa* e poi con *luce in trasparenza*, azionando degli specchi capaci di proiettare, in angolazione, luce che durante il giorno era quella della piazza e che, negli spettacoli al chiuso, era quella di una lampada a petrolio o a candela. Più ricco era il baule che conteneva i dipinti, più durava lo spettacolo; un buon numero di circa 20-25 dipinti permetteva di costruire uno spettacolo di circa 2 ore.

La storia del *diorama* continua con l'invenzione della fotografia che, proprio a Venezia, dove il *diorama* ha avuto il suo territorio di origine, quando il fotografo Carlo Ponti depositò a Londra, il 10 luglio 1862, un brevetto per il suo *megaletoscopio*, scatola ottica perfezionata per la visione delle *fotografie dioramiche*. Questo strumento è un visore dioramico a tutti gli effetti, come le scatole ottiche che l'hanno preceduto, che però è in grado di accogliere, al posto del dipinto o della stampa, una *fotografia dioramica* realizzata con speciale metodo fotografico dallo stesso Carlo Ponti.

La mostra ha un esemplare chiamato *aletoscopio* realizzato nel 1863 dal fotografo Carlo Naja di Venezia; esso ha in corredo 24 *fotografie dioramiche*. Questa esposizione, realizzata come collaterale al XXXV Congresso SISFA, acquisisce il tema universale della luce che UNESCO ha voluto individuare per l'anno 2015.

*Keywords:* Museum, International Year of Light, Diorama

Scorrendo nei locali del Museo dei Mezzi di Comunicazione viene presentato l'aspetto della *comunicazione visiva*, partendo dalla semplice lente in cristallo che costituirà nel tempo gli occhiali, i cannocchiali, i microscopi, per realizzare le prime apparecchiature complesse derivate dalla combinazione di lenti, specchi, vetri.

Dopo le prime 4 vetrine troviamo la proposta del *gioco ottico, e dell'inganno ottico*, con vari esempi di immagini (compreso le *figure anamorfiche*) che costituiscono oggetto di curiosità e meraviglia.

Per rendere reale la profondità di scena, arriviamo nella vetrina dei *teatrini diorama*, i cui "boccascena" fanno ricordare i grandi teatri con all'interno le varie posizioni degli "sfondi" dove sono inserite anche le figure, stampate e colorate, quasi a voler dare il senso del movimento e della profondità all'occhio attento dell'osservatore.

Questi *diorami teatrali*, piccoli capolavori che venivano ricavati spesso da incisioni prodotte, fin dai primi del XVIII secolo, in grandi quantità ad Augsburg (Germania) da Martin Engelbrecht.



Fig. 1. Un teatrino dioramico



Fig. 2-3. Diorami teatrale

La storia del diorama inizia con una elaborazione delle “vue d’optique” o visioni ottiche, quando, nella seconda metà del 1700, vengono stampate su carta più sottile e traforate in punti che, illuminando il retro in trasparenza, producono l’effetto del cambiamento giorno-notte o, addirittura, cambiamento dell’immagine con arricchimento di personaggi o sostituzione del paesaggio. Per avere questi effetti era necessario inserire le immagini, incollate in piccoli telai di legno, nell’apposito contenitore i cui nomi sono i più diversi: *scatola ottica*, *teatro ottico*, *visore per trasparenze*, *pantoscopio*, *mondo nuovo*, *panorama*, *teatro dioramico*, *cosmorama*, *zoogroscopio*, *polyorama panottico*, *visore per diorami*, *diorama*, *poleorama*, *aletoscopio*, *megaletoscopio*, tutti comunque con la possibilità di osservare la stessa immagine prima con *luce riflessa* e poi con *luce in trasparenza*, azionando degli specchi capaci di proiettare, in angolazione, luce che durante il giorno era quella della piazza e che, negli spettacoli al chiuso, era quella di una lampada a petrolio o a candela.

Questi giochi di luce che meravigliavano il pubblico, hanno affinato la produzione dei diorami, che nella seconda metà del XVIII secolo sviluppò nello Stato Veneziano, oltre alla ditta Remondini di Bassano del Grappa, stampatori di vedute e di diorami ottici, una scuola vera e propria sulla pittura dei diorami.

Utilizzando, come base dei disegni, la carta di riso incollata a un telaio, anche di grande formato (92x52 cm), venivano riportati i luoghi ed i fatti più eclatanti da far conoscere al grande pubblico, con i colori e riporti di carta incollate, o scorrevoli in apposite guide, tali da creare un effetto di passaggio di tempo e/o di luogo; le grandi dimensioni consentivano spettacoli solo per pubblica piazza, perché montati su appositi cavalletti di sostegno, mettevano contemporaneamente alla vista di tutto il pubblico il diorama dipinto che veniva così commentato dal teatrante, sostituendone uno dopo l’altro secondo un percorso organizzato del programma. Più ricco era il baule che conteneva i dipinti più durava lo spettacolo; la nostra collezione è costituita da una cassa di legno

contenente 22 diorami inediti che risultavano, anche all'epoca, un buon numero per intrattenere in uno spettacolo di circa 2 ore.

La precarietà della resistenza della carta ai gravi sforzi degli usi e dei trasporti da una città all'altra, rendeva rapidissimo il cambiamento delle serie di questi capolavori con l'aggravante della mancata conservazione nel tempo perché gli stessi inchiostri usati per i disegni (a base di tannino) corrodevano la carta distruggendo così la figura nel suo complesso.



Fig. 4. Vue d'optique

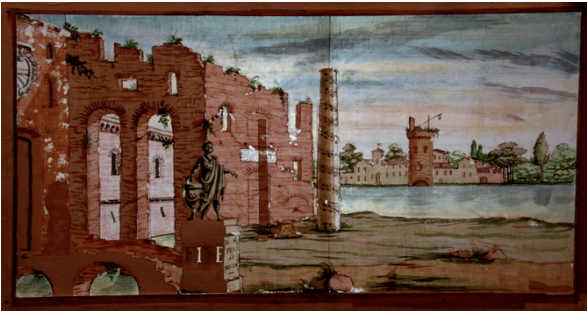


Fig. 5. Vue d'optique

Il nostro lotto, oggi unico al mondo a testimonianza di questa importante storia della comunicazione visiva, è stato recuperato grazie ad un certosino lavoro di restauro durato alcuni anni.

La storia del diorama continua con le realizzazioni della prima metà del XIX secolo con le realizzazioni a Roma di alcuni elementi dioramici (26x35 cm), stampati da Pierre d'Atri in via Condotti, 36. Altri ancora, prodotti in formato più piccolo, venivano forniti dalla Francia, con l'apparecchio visore "polyorama panoptique", in numeri da 12 a 24,



che davano la possibilità di godere di un passatempo, di grande rilievo culturale, sempre dando la possibilità di passaggio temporale giorno-notte, come abbiamo già detto.

È dalla invenzione della fotografia che deriva una grande idea, proprio a Venezia dove il diorama ha avuto il suo territorio di origine, quando il fotografo Carlo Ponti depositò a Londra, il 10 luglio 1862, un brevetto per il suo megaletoscopio, scatola ottica perfezionata per la visione delle *fotografie dioramiche*. Questo strumento è un visore dioramico a tutti gli effetti, come le scatole ottiche che l'hanno preceduto, che però sono in grado di accogliere, al posto del dipinto o della stampa, una fotografia dioramica realizzata con speciale metodo fotografico dallo stesso Carlo Ponti.



**Figg. 6-7.** Visori dioramici

La nostra mostra ha un esemplare chiamato *aletoscopio* realizzato, nel 1863 dal fotografo Carlo Naja di Venezia, con le stesse caratteristiche che ha in corredo 24 fotografie dioramiche.

Altro elemento di grande importanza che completa lo studio dell'evoluzione di queste apparecchiature veneziane è la presenza del *cosmorama fotografico* corredato da 24 fotografie dioramiche interamente progettato e realizzato da Alberto Perini, fotografo a Venezia - Calle S. Marco che, da ricerche effettuate anche a livello internazionale, sembra essere unico esemplare a documento di questo argomento.



**Fig. 8.** Aletoscopia



**Figg. 9-10.** Fotografie dioramiche



**Figg. 11-12.** Altro visore dioramico

È comunque da riconoscere che l'idea principe di Carlo Ponti dell'applicazione della fotografia al tema dei diorami le cui macchine, vendute con il corredo delle immagini, appositamente realizzate con la tecnica dell'albumina, consentiva di impostare un'azione di informazione visiva anche per il grande pubblico, mettendogli a disposizione la più moderna applicazione della riproduzione dell'immagine per spettacoli di comunicazione visiva.

Questa esposizione, realizzata come collaterale al XXXV Congresso SISFA, acquisisce il tema universale della luce che UNESCO ha voluto individuare per l'anno 2015. I giochi ottici che potranno essere osservati, provati nelle loro funzioni effettive che vedono utilizzare principalmente la luce come dono della natura applicata a condizioni di visione particolare, ha fatto sorprendere e sbalordire i nostri antenati per oltre un secolo.



# What is light? What is ether? An overview of Einstein's problem on the abolition of ether and on its ineliminable presence in General Relativity

Salvo D'Agostino - Sapienza Università di Roma - [saldagostino21@gmail.com](mailto:saldagostino21@gmail.com)

*Abstract:* A study of the history of theories and experiments on Light is very extended, and covers many different aspects. I limit therefore my communication to the innovative views that ensued from Faraday's and Maxwell's field theory of Electricity and Magnetism. They discovered that light is an electromagnetic phenomenon, and that electromagnetic waves are propagated in ether with the velocity of light. Hertz's great experiment was a relevant precedent to Albert Einstein's revolutionary Relativity. I underline the problem of the abolition of ether in Einstein's Special Relativity, and of its introduction in General Relativity.

*Keywords:* Maxwell, Hertz, Helmholtz, Einstein

## 1. Introduction

What is light? What is ether? Answers to these questions divided scientists and philosophers since an innumerable time. In analogy with a vibrating string as the causal source of music and sounds, Kepler, Huygens, and Newton argued that light was the invisible cause of our vision. Newton maintained that the spectral colors are Light's fundamental components, and that Light is composed of particles. Fresnel made an experiment to convince his hard minded Laplace compatriot of the wavelike nature of light.

Maxwell's field theory, and his electromagnetic theory of Light, fundamentally modified the scientists interests. Faraday's view of independent existence of magnetic waves as free forces in space, differed from Maxwell's conviction that ether had a role in his electromagnetic waves propagation. When Hertz in 1889 produced artificial electromagnetic waves, he was more favorable to Faraday's view than to Maxwell's conviction, and the transmission of forces through waves propagation represented for him the highest philosophical achievement in science. Maxwell's theory was for him represented by Maxwell's equation, a view on the nature of physics theories that had its relevance on Einstein's revolutionary Relativity. As is known, Einstein thought that the abolition of ether was favorable to the success of his Special Relativity. Further on, however, he found that ether was a necessary background for General Relativity, and Unified Field Theories.

## 2. Maxwell's theory of light: a structural similarity between Maxwell's electromagnetic waves and the waves of light

James Clerk Maxwell brought into his Electromagnetic theory of light concepts and experimental data obtained from radically different atomistic and field theories. Theories of Mechanics and Electrostatic Potentials, and Wilhelm Weber's outstanding contributions to Electrodynamics were largely utilized. Green's and Stokes's elastic and hydrodynamic theories were also the underlying mathematics of Maxwell's equations. The identification of the velocity of electric and magnetic waves with the then known value for the velocity of light, a transition from a static to a dynamic field theory, represented an exclusive merit of the Scottish scientist. Maxwell's contributions to Electromagnetism and Field Theory have been frequently discussed in the history of science literature, with special attention to the discovery of his celebrated equations. However, the connection in Maxwell's research between Weber's velocity and velocity of his electromagnetic waves, has not been sufficiently analyzed, to my present knowledge, although this is one of the characteristic feature of Maxwell's approach to his theory of light (D'Agostino 1996). The quasi equality between Weber's velocity of motion of electric masses and Maxwell's velocity of electromagnetic waves has been misinterpreted as a logical consequence of premises that were foreign to Maxwell. Maxwell in fact duly underlined Weber's systematic definition of absolute units for electric and magnetic units, although he refused Weber's conception of a velocity of electric masses, and only accepted the experimental evidence of Weber's achievements. However, he considered the quasi-equality of Weber's velocity with his electromagnetic waves velocity one of the most important pieces of evidence in favor of his electromagnetic theory of light. And he added: "the best way to compare the properties of the electromagnetic medium to that of light is to compare the two velocity [...] In the form which treats the phenomena of light as the motion of an elastic solid, the wavelike theory is still encumbered with several difficulties" (Maxwell 1954, p. 764).

Let us also notice after a few passage Maxwell's own comment a few years later: "the only ether which has survived is that which was invented by Huygens to explain the propagation of light" (Maxwell 1954, p. 771).

Writing in 1893, twenty years after Maxwell's Treatise, Oliver Heaviside quickly grasped the significance of Maxwell's innovations: "Elastic solid theories are a great deal too precise in saying what light consists of, and mechanical speculations in general should be received with much caution, and regarded rather as illustrations or analogies than expressions of facts. We do not know enough yet about the ether for dogmatizing".<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> The essence of Heaviside's statement concerns changes in "permittivity" and "electrical colotropy". They can be *independently* observed, i.e., observed through electrical experiments which do not imply elastic-optical concepts or theories, whereas assertions concerning properties like density and elasticity of ether cannot be observed. The former are observable (factual) properties while the latter remain hypothetical assumptions.

### 3. Heinrich Hertz: ether polarization confirms Faraday's view of an independent existence of forces in space

In my analysis, I find enough evidence for Hertz's original conception of ether as a primitive polarized medium. He drastically refuted in fact Helmholtz's thesis that ether was secondarily connected to polarizations of the "Poisson type" (Hertz: "it is quite another question"). Hertz suddenly understood that the polarized medium was no less than ether itself, i.e., ether coincided with a polarized dielectrics. If this thesis is accepted, one has an explanation of the otherwise obscure passage in Hertz's Introduction: "I have rather been guided (in my experiments) by Helmholtz's work, as indeed may plainly be seen from the manner in which the experiments are set forth. But unfortunately, in the special limiting case of Helmholtz's theory which leads to Maxwell's equations, and to which the experiments pointed, the physical basis of Helmholtz's theory disappears, as indeed it always does [in Helmholtz] as soon as action-at-a-distance is disregarded. I therefore endeavored to form for myself in a consistent manner the necessary physical conceptions, starting from Maxwell's equations" (Hertz 1962). The different meaning attributed by Hertz to a polarization theory of ether can be better understood in the light of his conclusions on the nature of electric force, at the end of his work in electromagnetism. His basic tenet was in fact, that air and empty space could support electromagnetic wave not for the reason that they participate in the action of the supposed bound charges – according to a Poisson-Helmholtz conception – but, just on the reverse, air and material dielectrics behave like empty space for the reason that they participate in the nature of empty space, i.e. they embed "ether". For the electric force is, essentially, for Hertz a polarization of ether. One year later, following his experiments, he will attribute to Faraday's glory the new revolutionary concept of a dielectric action, and will express more clearly his ideas on this matter: "The most direct conclusion of the experiment on the finite velocity of propagation of electromagnetic forces, is the confirmation of Faraday's view, according to which the electric forces are polarizations existing independently in space" (Hertz 1962, p. 20).

A deeper consideration of the process which is at the origin of Hertz's contribution must take into account, in my opinion, Hertz's first approach to Maxwell's theory in his 1884 theoretical paper:<sup>2</sup> Maxwell's equations are therein deduced from old electrodynamics and from hypotheses that did not imply a dielectric action, in Helmholtz sense. Maxwell's equations result from a combination of Faraday's induction law, energy conservation, and his "principle of the unity of fields", a reiteration process, mathematically equivalent to a series expansion of the field. This fact might have counted in favor of his considering electric waves as dependent on something more essential than the behavior of material dielectrics. An important point in this paper is the so-called "principle of the unity of fields": the electric field has the same nature, irrespective of the mechanism through which it is generated, be it by standing or moving charges or by a static or changing magnetic field. The justification is found in the fact that "the electric field, according to Faraday's conceptions, is something existing in itself in space

---

<sup>2</sup> See the paper "On the relation between Maxwell's fundamental equations and the fundamental equations of the opposing electromagnetics" in (Hertz 1896, pp. 273-290).

independently of the way in which it is generated". It is this physical conception of a field as a self-sustaining entity that makes possible the conception of a self-sustaining wave of electric force as a physical entity (not a purely mathematical one).

A further example is given by Hertz in another passage: "Somewhat later on, I thought that I noticed a peculiar reinforcement of the action in front of such shadow forming masses, and of the walls of the room. At first it occurred to me that this reinforcement might arise from a kind of reflection of the electric force from the conducting masses; but although I was familiar with the conceptions of Maxwell's theory, this idea appeared to me to be almost inadmissible so utterly was it at variance with the conceptions then current as to the nature of an electric force" (Hertz 1962, p. 11).

Let us remark that Hertz admitted the irrelevance of the empirical role of observations in lack of the proper theoretical framework .

#### 4. Einstein's Relativity: is ether a medium for the propagation of light?

The popular understanding of Einstein's decision to abolish ether in his celebrated 1905 essay on Special Relativity needs historical and philosophical analysis. Einstein's ideas on the ether problem are in fact strictly related to his technical and philosophical approaches to the whole context of his revolutionary theories. Einstein's original ideas on ether are condensed in one essay, in his 1920 book *Relativity, the Special and General Theory*, devoted to his early discussions on ether, and to his return to the same problem in his 1954 fifth Appendix added to the book, and titled *Ether and the Theory of Relativity and the Problem of Space* (Einstein 1954). Let us resume Einstein's most interesting remarks on ether in his 1920 essay.<sup>3</sup>

Einstein believes that "far-reaching similarity, which subsists between the properties of light and those of elastic waves in ponderable bodies", represented "a fresh support" for an elastic type of ether as a medium for light's waves. But the elastic approach to theory was also a source of great difficulties, because "neither Maxwell nor his followers succeeded in elaborating a mechanical model for the ether which might furnish a satisfactory mechanical interpretation of Maxwell's laws of the electro-magnetic field. *The laws were clear and simple, the mechanical interpretations clumsy and contradictory*" (my Italics). In Einstein's view, his special theory of relativity overcame the difficulties by a hard restriction. In his essay he assumed that ether consisted of particles whose motion was not observable in time:

There may be supposed to be extended physical objects to which the idea of motion cannot be applied [...] The special theory of relativity abstracted from ether the last mechanical characteristic. But, a non mechanical ether might appear as a superfluous requirement in place of electromagnetic fields as ultimate, irreducible realities [...] If from the standpoint of ether this hypothesis appears at first to be an empty hypothesis, one should consider that in the electromagnetic processes in vacuo [...] the electromagnetic fields appear as ultimate, irreducible realities, and at first it

---

<sup>3</sup> The following Einstein's original passages are quotations from Einstein 1920 essay.



seems superfluous to postulate a homogeneous, isotropic ether-medium, and to envisage electromagnetic fields as states of this medium.

Let us remark that Einstein neglected that Hertz stated that ether was a superfluous postulation, because he believed “the dualism still confronts us [...] in the theory of Hertz, where matter appears not only as the bearer of velocities, kinetic energy, and mechanical pressures, but also as the bearer of electromagnetic fields”.

Moreover, Einstein brought in another “argument” in favor of ether: “to deny the ether is ultimately to assume that empty space has no physical qualities whatever. The fundamental facts of mechanics do not harmonize with this view”. A solution to the ether problem could be obtained by reducing the principles of mechanics to those of electricity, thus responding to the general tendency to give conceptual priority to electromagnetic concepts, especially when “a confidence in the strict validity of the equations of Newton’s mechanics was shaken by the experiments with radioactive-rays and rapid cathode rays”. One should not disregard however that the original Einstein’s approach to ether couldn’t neglect any attention to Lorentz, the authoritative supporter of an electrodynamic theory on the reality of ether. Let us notice how Einstein tends to conciliate the contrasting feature of the Lorentz’s approach: “the space-time theory and the kinematics of the special theory of relativity were modeled on the Maxwell-Lorentz theory of the electromagnetic field”. Moreover: “according to Lorentz’s theory, electromagnetic radiation, like ponderable matter, brings impulse and energy with it, and as, according to the special theory of relativity, both matter and radiation are but special forms of distributed energy, ponderable mass losing its isolation and appearing as a special form of energy”.

It is thus evident that Einstein regarded the role of a new ether as an intrinsic aspect of his recurrent hope of a unification of electromagnetism and gravitation:

As to the part which the new ether is to play in the physics of the future we are not yet clear. We know that it determines the metrical relations in the space-time continuum, e.g., the configurative possibilities of solid bodies as well as the gravitational fields; but we do not know whether it has an essential share in the structure of the electrical elementary particles constituting matter. Nor do we know whether it is only in the proximity of ponderable masses that its structure differs essentially from that of the Lorentzian ether; whether the geometry of spaces of cosmic extent is approximately Euclidean.

In conclusion, we argue that Einstein accepted ether in his General Relativity as long as its physical nature could be conceived as something different from the centuries old concept of a uniform distributed special substance:

What is fundamentally new in the ether of the general theory of relativity as opposed to the ether of Lorentz consists in this, that the state of the former is at every place determined by connections with the matter and the state of the ether in neighboring places, which are amenable to law in the form of differential equations; whereas the state of the Lorentzian ether in the absence of electromagnetic fields is conditioned by nothing outside itself, and is everywhere the same. The ether of the general the-

ory of relativity is transmuted conceptually into the ether of Lorentz if we substitute constants for the functions of space, which describe the former, disregarding the causes, which condition its state. Thus we may also say, I think, that *the ether of the general theory of relativity is the outcome of the Lorentzian ether, through relativization* [my italics].

## 5. Final considerations

The international success of Maxwell's and Hertz's local field theories, and the almost cotemporary triumph of Lorentz and Zeeman's antagonist theories of an atomistic microphysics, required a new type of analysis to scientists, historians, and philosophers of science.

It was Einstein's merit in 1905 to realize that excluding ether in his Special Relativity would advantage theoretical physics. However, he did not consider exclusion as an apodictic decision. At the end of his scientific life he was still fundamentally convinced that General Relativity could not renounce to ether: "according to the general theory of relativity space without ether is unthinkable: for in such a space there would not only be no propagation of light but also no possibility of existence for standards of space and time".

Since the theme of a theory that could succeed in associating gravitational and electromagnetic field as one unified theoretical context, interested Einstein's research on a Generalized Field Theory for the rest of his life. In this connection, Einstein's early neglect of ether declines in his mature reflections, and more comprehensive considerations are consistent with the fundamental tenets of his Relativity: "more careful reflection teaches us however, that the special theory of relativity does not compel us to deny ether. We may assume the existence of an ether; only we must give up ascribing a definite state of motion to it, i.e., we must by abstraction take from it the last mechanical characteristic which Lorentz had still left it. We shall see later that this point of view [...] is justified by the results of the general theory of relativity".

The historian should concede that in Einstein's time conceptual relationship among ether, light, and electromagnetic waves, was far from presenting hopes for a rational approach. Very understandably, it was Einstein merit to settle the problem in his General Relativity by stating that in *line of principle* the velocity of light is a universal constant of nature.

## References

- Cassirer E. (1950). *The Problem of Knowledge, Philosophy of Science and History of Science since Hegel*. New Haven: Yale University Press.
- D'Agostino S. (1974). "La scoperta di una velocità quasi uguale alla velocità della luce nell'elettrodinamica di W. Weber (1804-1891)". *Physis*, III, pp. 297-318.

- D'Agostino S. (1975). "Hertz's Researchers on Electromagnetic Waves". *Historical Studies in the Physical Sciences*, 6, pp. 261-323.
- D'Agostino S. (1996). "Absolute Systems of Units and Dimensions of Physical Quantities". *Physica*, XXXIII, pp. 5-51.
- D'Agostino S. (1998). *Hertz's View on the Methods of Physics: Experiment and Theory Reconciled?*, in Baird D., Hughes R., Nordmann A. (eds.), *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Einstein A. (1920). *Relativity. The Special and the General Theory. A popular exposition*. London: Routledge.
- Hertz H. (1896). *Miscellaneous Papers*. London: Macmillan.
- Hertz H. (1956). *The Principles of Mechanics presented in a new form*. New York: Dover.
- Hertz H. (1962). *Electric Waves, being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity through Space*. New York: Dover.
- Hodge M.G.S. (1981). *Conception of Ether. Studies in the History of Ether Theories 1740-1900*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Howard D. (1990). *Nicht sein kann was nicht sein darf*. in Miller A. (ed.). *Sixty-two years of uncertainty. Historical, philosophical and physical enquires into the fundamentals of Quantum Mechanics*. New York: Plenum Press.
- Maxwell J.C. (1954). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Two Volumes. Vol. 2. New York: Dover.
- Rosenfeld L. (1956). "The Velocity of Light and the Evolution of Electrodynamics", *Il Nuovo Cimento, Supplemento al Vol. IV, X*, pp. 1630-1667.
- Siegel D.M. (1991). *Innovations in Maxwell's Electromagnetic theory. Molecular vortices, Displacement current and light*. Cambridge: Cambridge University Press.



# Immagini di luce: l'Accademia delle Scienze napoletana e i primi esperimenti di dagherrotipia scientifica

Lucia De Frenza - Seminario di Storia della Scienza,  
Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" - lucia.defrenza@uniba.it  
Augusto Garuccio - Seminario di Storia della Scienza & Dipartimento Interateneo  
di Fisica, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" - augusto.garuccio@uniba.it

*Abstract:* On February 6th 1839 the journal «Lucifer» of Naples told the news, discussed in the last session of the Royal Academy of Sciences, about the method to get the first photographic impressions. Only on January Arago had announced Daguerre's method in Paris.

Soon Neapolitan newspapers pointed out this invention, emphasizing both the use in figurative arts and the scientific meaning.

On November, Macedonio Melloni, just appointed director of the Meteorological Observatory and Conservatory of Arts and Crafts, read a report about photographic method. The report was published in the "Proceedings of the R. Academy of Sciences" of Naples: it can be considered the first Italian scientific text on daguerreotype. In Naples the centre of scientific research on photography became the Academy.

The discussion about the new method of "writing with light" took, immediately, two paths: that of the popular diffusion of a figurative technique to depict landscape and make portraits, and that of scientific research, directed both to improve the optical instrument and to identify chemical agents to better impress plates. Applications in other sciences, such as astronomy, geology and natural history, were also investigated.

The aim of this contribution is to present an organic analysis of unknown aspects of the spread of daguerreotype in the Kingdom of Naples from 1839 to 1850.

*Keywords:* Macedonio Melloni, Louis Daguerre, history of photography, history of optics, Kingdom of Naples.

## 1. La dagherrotipia tra arte e scienza

L'invenzione sorprendente della fotografia, che Arago annunciò all'*Académie des Sciences* di Parigi il 7 gennaio 1839, fu immediatamente divulgata in tutto il mondo. Prima che negli ambienti artistici e nei cenacoli culturali, la novità fece la sua apparizione nei laboratori degli scienziati. Il dagherrotipo venne visto come uno strumento per catturare in maniera oggettiva scenari stabili: più che un sostituto dell'occhio, riusciva a cogliere tutti gli elementi dell'oggetto osservato con esattezza e ricchezza di

particolari. Queste caratteristiche lo rendevano supporto ideale per la ricerca scientifica, perché la fotografia, in quanto visione esatta, era ritenuta intrinsecamente vera e, quindi, poteva essere usata o per acquisire una testimonianza dei fenomeni oppure per generarli e metterli a disposizione della comunità scientifica (Wilder 2009, p. 20). L'accordo tra gli scienziati era la credenza che quello che veniva visto in fotografia fosse "vero". La verità dell'immagine fotografica non nasceva solo dall'illusione ottica del realismo fotografico, ma anche dal fatto che la fotografia fosse prodotta usando una tecnologia meccanica. L'utilizzazione della fotografia nella scienza richiedeva, però, il perfezionamento della tecnica: trovare emulsioni e strumenti capaci di standardizzare l'immagine. Oltre che allo studio delle sostanze fotosensibili, occorre applicarsi alle ricerche di ottica fotografica, per chiarire gli effetti della luce e gli effetti della diversa illuminazione sulla "scrittura luminosa".

L'aspirazione alla resa realistica incontrava anche il favore degli artisti. Nonostante l'arte vedesse nella fotografia un ausilio per il disegno documentaristico e descrittivo, quel disegno che nel Settecento aveva trovato la sua acme sotto la spinta della motivazione didascalica o repertoriale, la tecnica fotografica per diversi decenni fu subordinata alle arti figurative. Non mancarono, tuttavia, editori che iniziarono a stampare album fotografici di vedute "topografiche" e "pittoresche", relative a siti archeologici, monumenti e bellezze paesaggistiche, per soddisfare collezionisti e viaggiatori (Bonetti, Maffioli 2003, pp. 33-34). Dal dagherrotipo si poteva passare, inoltre, all'incisione per riprodurre su carta e in copie multiple l'immagine disegnata dalla luce. La grande diffusione della stampa periodica dette un valido sostegno alla fotografia usata nell'illustrazione, prima in associazione alla litografia e alla xilografia, poi come tecnica autonoma.

## 2. Le prime "impressioni" italiane sul dagherrotipo

Il 15 gennaio 1839, dopo appena una settimana dall'annuncio di Arago, la «Gazzetta Privilegiata di Milano» riportò la notizia dell'invenzione di Louis Daguerre; seguirono a pochi giorni di distanza le «Gazzette» di Venezia, Lucca, Bologna ed i giornali napoletani. A settembre si scatenò la foga dei giornalisti, per rendere noto il metodo dettagliato svelato da Arago in agosto. Ad aggiungere suspense ai primi vagiti della fotografia in Italia fu l'apparizione di un concorrente, l'inglese William Fox Talbot, che presentava un metodo più economico per realizzare immagini "fotogeniche" su carta. L'accademia di Bologna il 16 maggio incaricò Enrico Barratta di verificare il fatto, ma non si espresse sulla priorità.

I primi esperimenti di dagherrotipia furono realizzati in Italia dal fiorentino Tito Puli- ti. Il 7 ottobre presentò alcune lastre impressionate in modo incerto, ottenute con un proprio strumento, alla Riunione degli Scienziati Italiani di Pisa (Bernacchini 2008, p. 49).



**Fig. 1.** Riproduzione litografica di un dagherrotipo eseguito da Gaetano Fazzini il 15 dicembre 1839 («Poliorama Pittresco», n. 19, 21 dicembre 1839, p. 149). La didascalia riportava la seguente considerazione: «Questa non è che la copia d'un saggio dell'esperimento fatto nella sala del nostro Stabilimento Poligrafico, saggio che corrisponde all'originale dipinto dalla luce, quanto può l'arte frettolosa alla natura. Della scena ad arte combinata, o fedelmente riprodotta su la lamina, si è cavato quel che potea offrire maggiore interesse»

A Napoli tra il novembre e dicembre 1839 Gaetano Fazzini (Zannier 1986, pp. 9-10; Leone 1991), direttore di una Scuola privata di matematica, fisica e architettura, realizzò alcune impressioni fotografiche con un apparecchio, probabilmente acquistato in Francia, dove si era recato appena diffusa la notizia dell'invenzione di Daguerre (Sheehan, Zervigon 2015, pp. 152-153). Non ci sono testimonianze che attestino questo viaggio, ma è certo che il dagherrotipo realizzato il 15 dicembre ricordava per la sua composizione affastellata di oggetti d'arte i prototipi realizzati in Francia da Daguerre, Fortier e Séguier, con la particolarità di sostituire le sculture francesi, omaggio alla grandezza di quella nazione, con quelle di Dante, Torquato Tasso e dell'oratore romano Aristide, simboli della cultura italiana (Fig. 1). L'associazione tra fotografia e retorica letteraria, che già si realizzò in questo primo dagherrotipo, suggeriva la possibilità di un'interconnessione tra testo e immagine, anticipando il ruolo che la fotografia avrebbe acquisito nella comunicazione visuale su larga scala (Batchen 2004, Ballerini 1996). Questa esperienza fu realizzata il 15 dicembre 1839 nella redazione di Filippo Cirelli, davanti ad un pubblico assiepato come a teatro, fatto di dame, stranieri, un reale e altre personalità del mondo della cultura e della scienza napoletana (Malpica 1839, p. 460). Un'altra prova era già stata fatta il 28 novembre 1839 nel palazzo Santangelo, antica dimora dei principi di Colubrano, su invito del Ministro degli Affari Interni, ed anch'essa era riuscita perfettamente.

Il 13 febbraio 1840, quando già in Italia la fotografia cominciava a diffondersi tra uomini di lettere e dilettanti, Macedonio Melloni, chiamato a Napoli un anno prima come direttore di due istituzioni ancora da realizzare (Codastefano, Schettino 1984; Schettino, Trentadue, Peruggi 2015), eseguì un dagherrotipo per i colleghi dell'Accademia delle Scienze. Il marchese Ruffo mise a disposizione la propria villa a Capodimonte e davanti ad accademici, all'arcivescovo di Patrasso e a curiosi, Melloni

esegui l'impressione fotografica, che ritraeva la facciata occidentale della reggia e sullo sfondo il paese (Di Pace 2007, pp. 13-14). Del dagherrotipo non si hanno più notizie; resta un'iscrizione in latino, composta da Bernardo Quaranta, per celebrare l'avvenimento, riportata negli «Annali civili del Regno delle Due Sicilie». Melloni, tuttavia, effettuò anche altri saggi fotografici a esclusivo scopo di ricerca, ma anch'essi sono andati perduti.

### 3. L'Accademia delle Scienze di Napoli e la fotografia

Il sig. Arago ragionò del Dagherrotipo (così chiamasi l'istrumento di Daguerre) con una sì sottile metafisica, che una invenzione sì bella e sì alla portata di tutti, sembrò dover rimaner eterno ed esclusivo privilegio di colui che aveala fatta (Anzelmi 1839, p. 122).

Domenico Anzelmi il 23 novembre 1839, illustrando l'invenzione di Daguerre ai profani lettori del «Poliorama Pittoresco», sottolineò la distanza tra teoria e pratica della fotografia: il tecnico poteva in meno di un'ora far apparire immagini perfettamente tracciate sulla lamina d'argento, mentre lo scienziato aveva difficoltà a chiarire le leggi che generavano quell'effetto. Da un lato vi era l'esperienza cieca, soddisfatta del risultato, e dall'altro la scienza, che voleva cavar fuori dalle tenebre la ragione dei fenomeni. La separazione di piani permise ai fotografi di utilizzare una tecnica, che si diffuse subito con grande entusiasmo, e agli scienziati di fare le loro deduzioni senza riservarsene la privativa.

A Napoli il primo a fornire la descrizione scientifica dell'invenzione di Daguerre fu Melloni, su invito del presidente della Reale Accademia delle Scienze, Francesco Ricciardi, duca di Camaldoli. Melloni lesse la sua *Relazione intorno al dagherrotipo* il 12 novembre 1839 e la stampò subito come opuscolo a cura dell'editore partenopeo Porcelli e l'anno dopo a Parma da Rossetti (Uccelli 1990). Seguendo il *modus agendi* di Arago, egli limitò il contributo di Daguerre all'intuizione empirica e, quindi, descrisse la dagherrotipia più come un'ingegnosa scoperta che come il frutto di un'indagine consapevole e impostata scientificamente. Secondo Melloni, l'importanza della fotografia consisteva nei suoi apporti strumentali alla scienza: non essa stessa un ritrovato per illustrare un fatto nuovo, ma una tecnica applicabile all'indagine in una serie di scienze, dalla geologia, all'ottica, alla chimica. Come Arago, Melloni vide nell'invenzione della camera oscura di Giovan Battista Della Porta un primo passo verso il dagherrotipo; tuttavia, mentre il francese si servì del vago riferimento all'intuizione rinascimentale per distogliere l'attenzione dagli esperimenti più recenti, compresi quelli di Niépce, Talbot e poi Bayard, e fare del dagherrotipo un simbolo dell'inventiva francese offerta all'umanità intera, Melloni richiamò Della Porta per onorare l'eccellenza della scienza napoletana.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nei sonetti riportati nel «Poliorama Pittoresco» del 21 dicembre 1839 si elogiò, in effetti, il merito prometeico di Daguerre, il genio che aveva messo il pennello in mano alla luce (Jacobs 2000). L'inno al progresso fu prevalente in tutte le cronache giornalistiche di quei primi mesi.



La capitale borbonica e l'Accademia delle Scienze divennero nei primi anni dall'invenzione di Daguerre centro d'irradiazione della novità, esposta da Melloni con chiarezza tecnica e lucida cognizione delle applicazioni utili alle scienze e alle arti.



Le tre linee curve rappresentano le costruzioni grafiche delle varie energie d'azione chimica, di luce, e di calore coesistenti nella irradiazione solare scomposta dal prisma.

La parte visibile dello spettro comincia col limite violetto B e si prolunga sino al limite rosso D: tra di essi s'innalza la curva rappresentante le varie facoltà riosciantanti di ogni colore. La cui energia in un punto qualunque M, del verde per esempio, è misurata dalla perpendicolare M.N compresa tra la retta orizzontale AE e la curva dell'azione luminosa. Una costruzione analoga darà l'energia delle forze chimiche e calorifiche definite dai limiti A,C, B,E. I punti di massimo, l'andamento generale di ogni azione, la loro coesistenza o separazione, sono manifestamente indicati dalla forma e dalla posizione relativa delle tre curve.

Fig. 2. Tavola che rappresenta l'azione chimica, della luce e del calore della radiazione solare scomposta dal prisma (Melloni 1840)

#### 4. Gli esperimenti di ottica fotografica di Macedonio Melloni

Dopo la *Relazione*, Melloni continuò le ricerche, concentrandosi sulle proprietà chimiche della luce e leggendo un'altra memoria nella seduta del 4 febbraio del 1840, che fu stampata lo stesso anno a Napoli da Porcelli e divulgata in Italia ed in Francia, prima di apparire nel volume V del 1843 degli "Atti dell'Accademia delle Scienze" di Napoli. Melloni era partito da un'osservazione di Gay-Lussac, contenuta nel rapporto sul dagherrotipo del 30 luglio 1839, secondo la quale i diversi raggi luminosi non agivano tutti allo stesso modo sulle lastre fotografiche, ma generavano un effetto alterante i rapporti tra i chiari e gli scuri. Melloni, utilizzando gli strumenti arrivati da Parigi o costruiti dagli artigiani locali, aveva compiuto una serie di esperimenti, facendo entrare la luce da un'apertura orizzontale, molto stretta, di una finestra, facendola passare attraverso un lungo prisma di vetro con asse orizzontale e angolo rifrangente posto verso l'alto, e raccogliendo lo spettro risultante su una lastra rivestita di ioduro d'argento, collocata a due metri dal prisma sulla seconda parete di una scatola con un'apertura verticale nella prima parete. Melloni aveva confrontato una ventina di lastre e aveva dedotto che:

l'azione chimica cominciava a manifestarsi nello spazio oscuro, ad una distanza dal limite superiore dello spettro, presso a poco uguale a quella che corre, in senso op-

posto, tra esso limite, e il celeste: la tinta, o sfumatura, lievissima nel suo apparire, s'andava gradatamente rinforzando sino al centro del violaceo, passato il quale non era più possibile scoprire alcun aumento d'energia, poiché lo spettro offriva in tutto il rimanente della sua estensione una tinta uniforme decrescendo soltanto presso l'estremità opposta, che terminava, prima della metà del turchino, con una sfumatura rapidissima. (Melloni 1840, p. 60).

I dati osservativi venivano rappresentati in un grafico, in cui s'indicavano, oltre la curva di variazione dell'effetto chimico dei raggi solari, quella dell'effetto luminoso e di quello termico.<sup>2</sup> Lo studio delle proprietà chimiche della luce non era nuovo; l'invenzione di Daguerre, però, aveva reso disponibili dei materiali estremamente sensibili per studiare l'andamento del fenomeno. Dalle sue ricerche, inoltre, si traevano utili indicazioni per migliorare la resa fotografica, come ad esempio quella di preferire condizioni di luce attenuata, come nelle giornate coperte, anziché la luce intensa e diretta sui primi piani.

Melloni continuò l'indagine su quest'argomento, che, in realtà, suscitava molto interesse tra i fisici. Nel 1839, oltre alle ricerche di Jean-Baptiste Biot sugli effetti della luce schermata da filtri colorati su sostanze fotosensibili, erano state comunicate quelle di Edmond Becquerel sulla decomposizione della luce prismatica e sull'esame dei materiali fotosensibili alle varie sezioni dello spettro (Hentschel 2002, p. 193). Nel giugno del 1842 Becquerel utilizzò entrambi i processi di Daguerre e Talbot per le prime registrazioni permanenti oltre il limite del violetto dello spettro ottico, estendendo le potenzialità del reticolo di Fraunhofer. Melloni, tuttavia, già nel febbraio del 1842 aveva letto all'Accademia delle Scienze un'altra memoria sugli effetti della luce prismatica sulle superfici fotosensibili, che fu pubblicata a Napoli nel giro di pochi giorni dalla tipografia Flantina e nel numero 39 della «Bibliothèque Universelle» di Ginevra. Melloni giungeva alla stessa conclusione di Becquerel, il cui lavoro fu pubblicato nel numero successivo della rivista svizzera, cioè all'equivalenza tra le tre manifestazioni dei raggi solari (calore, luce e azione chimica).<sup>3</sup> L'italiano riconobbe che ogni sostanza poteva reagire alla luce in maniera diversa (avere una specifica colorazione chimica) e che l'interposizione di altre sostanze poteva far variare l'azione chimica prodotta. Pur essendo tre diverse manifestazioni di una stessa forza, che Melloni riteneva consistere in una vibrazione dell'etere, la luce e l'effetto chimico non potevano dirsi proprietà essenziali di essa, perché dipendenti dalla percezione umana. Per quanto riguardava gli effetti chimici, Melloni dichiarava che le onde superiori, "essendo più lente", imprimevano alle molecole del reagente una fortissima energia, capace di rompere i legami molecolari. In base alla diversa intensità di queste forze nei materiali, il massimo dell'effetto

---

<sup>2</sup> Bonaventura Bandieri, macchinista della Casa Reale, realizzò un apparecchio, che servi a fornire prove sperimentali alle ipotesi di Melloni. Grazie ad esso si otteneva un'immagine composta di diverse parti, ciascuna delle quali era l'effetto della luce in successivi intervalli, in modo che era facile distinguere l'andamento dell'azione della luce in un dato tempo. Quest'apparecchio mostrava come l'immagine fosse imperfetta per un'esposizione troppo lunga, come dopo un certo tempo si perdessero le mezze tinte, quindi si oscurassero i punti più illuminati e, quando cominciava ad agire la luce diffusa nell'intera camera oscura, si formasse una velatura sull'immagine e i contorni diventassero incerti (Palmieri 1840, p. 154).

<sup>3</sup> Nel 1835 Melloni aveva negato l'identità tra luce (radiazione lucida) e calore (radiazione calorifica).

chimico poteva prodursi con una o con l'altra lunghezza d'onda, cioè con un colore o con un altro.

Melloni era risoluto ad assegnare un livello superiore al calore, che, in base alle sue ricerche, poteva essere preso come misura delle altre due manifestazioni della radiazione solare. Riferiva di aver condotto delle osservazioni recenti sulla zona dei raggi ultravioletti e di aver osservato anche qui delle minime tracce di azione termica. L'unica proprietà che apparteneva a tutto lo spettro delle onde visibili e invisibili era quella di riscaldare:

L'azione riscaldante è una qualità generale delle radiazioni tutte vibrare dalle sorgenti luminose. Le proprietà di rischiarare e di eccitare le reazioni chimiche appartengono soltanto ad alcune specie, ed offrono talora il carattere singolare di produrre ad un tratto effetti diversi, ed anche contrari, sullo strumento o sul sensorio destinato a valutarne il grado di energia (Melloni 1842a, p. 43).

Per corroborare l'ipotesi di un'analogia tra le manifestazioni delle radiazioni solari, Melloni avviò subito dopo una serie di osservazioni di ottica fisiologica, che dovevano fargli comprendere se la percezione della luce potesse essere attribuita ad una vibrazione della retina, considerando la visione un fenomeno di risonanza (Melloni 1842b).

Nel 1843 il medico di origini australiane Robert Hunt presentò una comunicazione alla "British Association", nella quale, descrivendo i tre effetti prodotti dai raggi solari, propose di chiamare la loro proprietà chimica "actinism" (attinicità), termine utilizzato ancora per definire la reazione fisico-chimica prodotta dalle radiazioni elettromagnetiche sulle sostanze chimiche e su quelle organiche. Hunt era un sostenitore della teoria corpuscolare della luce e riteneva che gli effetti luminosi, termici e chimici della radiazione solare fossero di natura diversa. Nel suo *Manual of photography* del 1852 corresse le opinioni riguardanti il rapporto tra azione chimica e rifrangibilità dei raggi, trovando che l'effetto attinico fosse più intenso nei settori del violetto e dell'azzurro, ma che ci fosse anche un'altra risposta chimica meno intensa nell'area del rosso, dipendente dalla luce e non dal calore, la quale s'interrompeva nella zona degli infrarossi. Naturalmente questo discorso interessava la pratica della fotografia, perché suggeriva ai fotografi di munirsi di lenti non solo acromatiche, ma anche corrette per il fuoco attinico, in grado di togliere una parte dei raggi chimici dalla sfera d'azione. Hunt non citò il contributo di Melloni sugli effetti chimici dei raggi solari (ne ricordò solo le ricerche sul calore), mentre utilizzò il suo sistema di nomenclatura per il calorico, per definire i caratteri dell'azione chimica: così coniò il termine di "attinocrosi", come Melloni aveva fatto per la "termocrosi", per indicare il diverso comportamento chimico dei raggi solari; "adiattinico", come "adiatermico", per indicare quel corpo che era opaco all'effetto attinico, cioè intercettava l'effetto chimico (vetro giallo); "diattinico", come "diatermico", per indicare i corpi trasparenti all'effetto chimico (vetro blu) (Hunt 1854, pp. 109, 171). Anche se Melloni non aveva proposto tale nomenclatura, tuttavia, nel 1842 aveva già parlato di colorazione chimica dei raggi dello spettro solare.

Nel 1843 all'Accademia Reale delle Scienze di Napoli si discusse di un'altra notizia scientifica proveniente da Parigi, quella del metodo descritto da Ludwig Moser per ottenere immagini su superfici adiacenti tramite vari tipi di vapore. Queste ricerche e-

rano state generate dallo stesso interesse per il perfezionamento della tecnica fotografica: in effetti, se da un lato ci si interrogò su quali sostanze chimiche utilizzare per rendere fotosensibili le lastre, dall'altra si prestò attenzione al processo di fissaggio dell'immagine, reso possibile dai vapori di una sostanza, il mercurio. Ampliando l'indagine, furono trovate altre condizioni, che rendevano possibile la deposizione di vapori per far emergere il segno nascosto lasciato da un oggetto sovrapposto. L'annuncio di Moser alimentò una diatriba tra gli scienziati, perché alcuni attribuivano l'effetto (poi detto *Moser-bild*) a un fattore termico, altri alla luce, altri a emanazioni di particelle organiche rivelate dal vapor acqueo, mentre Moser parlava di una "luce latente" posseduta da tutti i corpi, ma invisibile alla retina, che agiva su qualsiasi sostanza, anche al buio, producendo effetti chimici. Quando un liquido evaporava, dei raggi diventavano latenti e si liberavano nel momento in cui il vapore si condensava su una superficie. Lo ioduro d'argento, quindi, diventava più sensibile alla luce visibile dello spettro per la luce latente che aveva agito sull'argento (Barger, White 2000, p. 62). L'americano John William Draper, riflettendo sulle conclusioni di Moser, elaborò il concetto di titonicità dei raggi (simile a quello di attinicità). Secondo la sua opinione le immagini del dagherrotipo non sarebbero generate né dalla luce, né dal calore né dall'elettricità, ma da un altro fluido imponderabile simile al calore specifico, il fluido titonico (Draper 1842). La luce latente di Moser non era altro che una radiazione riemessa caratteristica dei raggi titonici. Herschel sollevò dei dubbi; Hunt ipotizzò che fosse il calore a fissare i vapori di Moser sulle superfici. Questo dibattito ebbe degli echi anche a Napoli. Melloni, peraltro, nella seduta del 13 luglio 1847, presentando all'Accademia la memoria di Draper sulla produzione della luce per opera del calore, riferì anche le sue osservazioni sull'argomento (Melloni 1847).

### **5. Michele Tenore e William Fox Talbot: la calotipia al vaglio dei napoletani**

Le notizie relative al procedimento della calotipia di Talbot erano arrivate a Napoli a marzo, qualche settimana dopo essere state annunciate in Francia. Ne aveva riferito il pubblicista Raffaele Liberatore nella sintesi dei lavori dell'*Académie des Sciences*, scritta per «Il Lucifero». Affidandosi al giudizio di Arago, il napoletano aveva disprezzato il metodo di Talbot, che, scegliendo per la stampa il supporto della carta scabra, anziché la liscia lastra di metallo, aveva rinunciato "ad una sì gran purezza microscopica di disegno", oltre all'innegabile pecca di essere arrivato secondo nella competizione per accaparrarsi il primato dell'invenzione. La nitidezza delle immagini appariva l'elemento di forza della dagherrotipia (Liberatore 1839a, pp. 39-40). Liberatore pochi giorni dopo aveva parlato in termini più obiettivi della tecnica di Talbot, dando qualche informazione sul trattamento di fotosensibilizzazione della carta e di fissaggio dell'immagine (Liberatore 1839b, pp. 54-55). Ancora, però, la tecnica risultava vaga.

Talbot, che a differenza di Daguerre non aveva l'appoggio di una prestigiosa organizzazione accademica, utilizzò la sua rete di relazioni per divulgare il procedimento calotipico. In Italia, ad esempio, inviò una serie di stampe fotogeniche ad Antonio Bertoloni, professore di Botanica a Bologna, un'altra più consistente a Giovanni Battista

Amici, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Firenze e, infine, tre stampe a Napoli a Michele Tenore, conservatore dell'Orto botanico. Questi disegni arrivarono a settembre del 1839; due erano stati ripresi colla camera oscura (una riproduzione di una litografia e l'esterno della sua casa in Scozia) e l'altro col microscopio solare (un ritaglio di merletto ingrandito 100 volte). Seguirono l'anno successivo due altre spedizioni, la prima inviata il 25 gennaio, contenente 5 stampe e la seconda il 30 gennaio, contenente 6 (Smith 1991, p. 188). Tenore, che era in corrispondenza con Talbot,<sup>4</sup> divenne il principale divulgatore di questa tecnica a Napoli: ne riferì ai soci dell'Istituto d'Incoraggiamento e dell'Accademia delle Scienze, al direttore del «Lucifero» e a scienziati, come Melloni, chiarendo in che cosa consistesse il procedimento e quali ne fossero i vantaggi. A suo parere la tecnica era utile: i margini risultavano imprecisi ed i particolari non del tutto dettagliati; tuttavia, si ottenevano stampe direttamente su carta, inalterabili, trasportabili, rilegabili con facilità. Un'altra prerogativa era la possibilità d'interrompere l'esposizione in un momento qualsiasi, in modo da avere un disegno non netto, da ritoccare ad arte o da colorare. Il procedimento di Talbot riusciva utile soprattutto in due ambiti: quello della ripresa microscopica e quella del ritratto artistico (Tenore 1839, p. 434). Molto si discusse nel «Lucifero» nel corso dei mesi seguenti delle differenze tra i metodi dei francesi (Lassaigne, Vérignon, Bayard, Ponton, Becquerel) e quello dell'inglese Talbot. Tenore continuò a sostenerlo. Quando nel febbraio del 1842 assunse la presidenza dell'Accademia Reale delle Scienze sollecitò i soci. A suo parere “troppo occupati dei perfezionamenti del trovato di Daguerre, i fisici ed i chimici delle altre nazioni par che abbiano affatto obliato quello del fisico inglese”; pertanto, “convenir possa a' nostri chimici d'occuparsene a preferenza” (Tenore 1843, p. 9). Non sottaceva, però, che fossero circolate vaghe informazioni su quel metodo e che lo stesso Talbot, a cui aveva scritto di svelargli il suo procedimento, aveva risposto con l'invio di altre stampe, invece che con la spiegazione dei fatti.

Unici accademici a raccogliere l'invito del presidente furono il segretario, Giovanni Guarini, professore di Chimica farmaceutica presso la Regia scuola veterinaria e tecnico della cattedra universitaria di Chimica, e Filippo Cirelli, poligrafo e appassionato di scienze, che il 2 novembre 1843 realizzarono diverse calotipie, riprendendo l'immagine da stampe incise, litografie, stampe colorate, oggetti naturali e opere d'arte. Cinque giorni dopo presentarono i saggi all'Accademia delle Scienze. (Guarini 1843). Nonostante ne avessero sostenuta l'utilità soprattutto negli studi di botanica, il procedimento di Talbot non ebbe ulteriori applicazioni in questo contesto, almeno per quello che finora è emerso.

---

<sup>4</sup> Esistono cinque lettere inviate da Tenore a Talbot, conservate presso la British Library, London - *Fox Talbot Collection*. Quelle del 30 settembre 1839 (collocazione: LA40-70) e del 27 maggio 1840 (collocazione: LA40-45) fanno espressamente riferimento all'invio di calotipi da parte del fotografo inglese. Presso il Museo di San Martino a Napoli è stata ritrovata una lettera di Talbot a Tenore datata 27 gennaio 1840, nella quale l'inglese gli confida alcuni successi ottenuti con una recente variazione della sua tecnica sui tempi d'esposizione, lo ringrazia per l'opera di divulgazione delle sue ricerche svolta a Napoli e gli annuncia l'invio di altri calotipi.

## Bibliografia

- Anzelmi D. (1839). “Daguerre”. *Poliorama Pittoresco*, 4 (15), pp. 121-122.
- Ballerini J. (1996). *Recasting ancestry: statuettes as imagined by three inventors of photography*, in Lowenthal A., *The object as subject: Essays on the interpretation of still life*. Princeton: Princeton University Press, pp. 41-58.
- Batchen G. (2004). “Light and dark: the daguerreotype and art history”. *The Art Bulletin*, 86 (4), pp. 764-776.
- Barger S., White W.B. (2000). *The Daguerreotype: Nineteenth-century Technology and Modern Science*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Becquerel E. (1842). “Mémoire sur la constitution du spectre solaire”. *Bibliothèque Universelle de Genève*, 40, pp. 341-367.
- Bernacchini S. (2008). “L’introduzione del dagherrotipo all’Imperiale e Regio Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze”. *AFT - Rivista di Storia e Fotografia*, 24 (47), pp. 49-54.
- Bonetti M.F., Maffioli M. (2003). *L’Italia d’argento 1839-1859. Storia del dagherrotipo in Italia*. Firenze: Alinari.
- Codastefano P., Schettino E. (1984). “Il modo di sperimentare di un grande fisico italiano dell’Ottocento: Macedonio Melloni”. *Physis*, 2, pp. 271-301.
- Di Pace U. (2007). “... E Napoli scopri la foto”. *Meridione. Sud e Nord nel mondo*, 7 (3), pp. 13-17.
- Draper J.W. (1842) “On a new imponderable substance, and on a class of chemical rays analogous to the rays of dark heat”. *Philosophical Magazine*, 21, pp. 453-461.
- Guarini G. (1843). “Nota su’ disegni fotografici, letta a 7 novembre 1843”. *Rendiconto delle adunanze e de’ lavori della Reale Accademia delle Scienze*, 2 (7), p. 423.
- Henschel K. (2002). *Mapping the spectrum: Techniques of visual representation in research and teaching*. Oxford: Oxford University Press.
- Hunt R. (1854). *Manual of photography*. London and Glasgow: Griffin.
- Jacobs M. (2000). “Daguerreian poetry in Naples. 1839”. *The Daguerreian Annual*, pp. 137-146.
- Leone N. (1991). “Gaetano Fazzini a Napoli”. *Fotologia*, 13, pp. 70-72.
- Liberatore R. (1839a). “Nuova Camera Oscura”. *Il Lucifero*, 1 (6), p. 2.
- Liberatore R. (1839b) “Istituto di Francia. Accademia delle Scienze”. *Il Lucifero*, 2 (5), pp. 39-40.
- Liberatore R. (1839c). “Istituto di Francia. Accademia delle Scienze”. *Il Lucifero*, 2 (7), pp. 54-55.
- Malpica C. (1839). “Il dagherrotipo”. *Poliorama Pittoresco*, 4 (19), pp. 149-150.
- Melloni M. (1835). “Observations et expériences relatives à la théorie de l’identité des agents qui produisent la lumière et la chaleur rayonnante”. *Annales de Chimie et de Physique*, 60, pp. 418-426.
- Melloni M. (1839). *Relazione intorno al dagherrotipo: letta alla R. Accademia delle scienze nella tornata del 12 novembre 1839 da Macedonio Melloni uno dei quaranta della Società italiana delle scienze*. Napoli: Porcelli.

- Melloni M. (1840). *Esperienze sull'azione chimica dello spettro solare e loro conseguenze relativamente alla dagherrotipia*. Napoli: Porcelli.
- Melloni M. (1842a). *Memoria sopra una colorazione particolare che manifestano i corpi rispetto alle radiazioni chimiche*. Napoli: Tip. Flantina.
- Melloni M. (1842b). "Observations sur la coloration de la rétine et du cristallin". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 14, pp. 823-832.
- Melloni M. (1847). "Ricerche sulle irradiazioni de' corpi roventi, e sui colori elementari dello spettro solare". *Rendiconto delle adunanze e de' lavori della Reale Accademia delle Scienze*, 6, pp. 278-293.
- Schettino E., Trentadue L., Peruggi C. (2015). *Macedonio Melloni. Il calore e la luce invisibile*. Parma: Monte Università Parma Editore.
- Sheehan T., Zervigon A. (2015). *Photography and Its Origins*. New York: Routledge.
- Smith G. (1991). "Talbot and Amici. Early paper photography in Florence". *History of Photography*, 15 (3), pp. 188-193.
- Tenore M. (1839). "Disegni fotografici sopra carta", *Il Lucifero*, 2 (45), pp. 434-435.
- Tenore M. (1843). "Esame de' processi fotografici del sig. Talbot". *Rendiconto delle adunanze e de' lavori della Reale Accademia delle Scienze*, 2 (7), pp. 8-9.
- Uccelli G. (1990). *Macedonio Melloni. Il battesimo italiano della fotografia*, in Rosati R. (a cura di), *Camera oscura 1839-1920. Fotografi e fotografia a Parma*. Collecchio: Silva, pp. 41-54.
- Wilder K. (2009). *Photography and science*. London: Reaktion Books.
- Zannier I. (1986). *Storia della fotografia italiana*. Bari: Laterza.





# Light and gravitation from Newton to Einstein

Jean Eisenstaedt - Observatoire de Paris

*Abstract:* How was treated the propagation of light after Newton, before Einstein? From the second half of the 18th century to the early 19th century, the Newtonian theory of propagation of light, a perfectly consistent application of the *Principia* to light was developed by John Michell (1724-1793) and then many philosophers. It was as well a classical relativistic optics of moving bodies.

In the context of Newton's *Principia*, light corpuscles were treated in the very same way as material particles. Thus they were subject to the Galileo-Newtonian kinematics: light velocity was *not* a constant. Light corpuscles were also subject to the Newtonian dynamics, in particular to two forces, the long-range gravitational force and the short-range refracting force acting on a glass, a crystal.

Snell-Descartes' sinus law implies that greater is the incident velocity of light, lower is the refraction angle on a prism. Thus the measure of the refraction angle is a measure of the incident velocity of light, a "method" due to Michell. In 1786 Robert Blair applied Michell's method to light kinematics and addresses in a very clear way what we call the Doppler effect.

The effects of gravity on light in a Newtonian context are qualitatively similar to those predicted by general relativity much later. In 1784 Michell predicted the slowing-down of light by gravitation, and inferred the existence of dark bodies as Pierre Simon Laplace later called them; they are black holes's cousins. In 1801 Johann Georg von Soldner calculated the deflection of light by gravitation, an effect half than that predicted by general relativity in 1915.

Many philosophers and physicists had interest in Michell's project, Henry Cavendish, William and John Herschel (father and son), Nevil Maskelyne, Soldner, Laplace, François Arago, Armand Hyppolyte Fizeau, to name a few. It consists in a significant body of work that constitutes a preamble – but not a way – to Einstein's relativity. It illuminates the questions that special and general relativities solved. It offers a surprising analogy, an instructive parallel with many physical effects of general relativity.

After the emergence of Fresnel's ondulation theory in the 1820th the Newtonian theory of propagation of light will be forgotten. An almost complete oblivion that persisted to this day.

*Keywords:* light, gravitation, Newton, Einstein

**References**

- Eisenstaedt J. (2005). *Avant Einstein Relativité, lumière, gravitation*. Paris: Seuil.
- Eisenstaedt J. (2005). "Light and relativity, a previously Unknown Eighteenth-Century Manuscript by Robert Blair (1748-1828)". *Annals of Science*, 62, pp. 347-376.
- Eisenstaedt J. (2007). "From Newton to Einstein: a forgotten relativistic optics of moving bodies". *American Journal of Physics*, 75, pp. 741-746.
- Eisenstaedt J., Combes M. (2011). "Arago et la vitesse de la lumière (1806-1810), un manuscrit inédit, une nouvelle analyse". *Revue d'histoire des Sciences*, 64, pp. 59-120.
- Jaki S.L. (1978). "J.G. von Soldner and the Gravitational Bending of Light with an English Translation of His Essay on It Published in 1801". *Foundations of Physics*, 8, pp. 927-950.
- McCormach R. (2012). *Weighing the World: the Reverend John Michell of Thornhill*. Berlin: Springer.
- Will C.M. (1988). "Henry Cavendish, Johann von Soldner, and the Deflection of Light". *American Journal of Physics*, 56, pp. 413-415.

## SCIENCE AND WORLD WAR I



# Campi di battaglia allo zenith: le foto aeree come strumenti di misura delle forze nemiche e la conoscenza del territorio durante la Prima Guerra Mondiale

Benedetta Campanile - Seminario di Storia della Scienza,

Università degli Studi di Bari “Aldo Moro” - benedetta.campanile@uniba.it

Augusto Garuccio - Seminario di Storia della Scienza & Dipartimento Interateneo di Fisica, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro” - augusto.garuccio@uniba.it

*Abstract:* Between 1915 and 1918 having good quality aerial photo shooting taken from balloons, airships and airplanes inspired the development of new image capturing techniques and the research for new scientific methods to interpret images aiming at providing troops at war with strategic information about the enemy and its position on the battle field. The new reading from the air of the territory presented itself as a scientific approach that supported war planning. Pioneers in Italy were the photographers from the Military Photographic Division of the Regiment of the Engineering Corps, which saw collaboration between military representatives, photographers and scientists. The integration of different disciplinary competencies made it possible to transform the two-dimensional representation of the landscape into a meaningful description of the 3-dimensional reality of a bombardier. Notions of descriptive geometry were associated to geological knowledge, to high-speed photography techniques and stereoscopy, to experiences in photo developing and printing. All this produced a measuring of the war based on a description, that for the time qualified as “very faithful”, of the enemy positioning and the territory that bring to a new vision of time and space.

*Keywords:* Aerial Photography, Photogrammetry, First World War.

## 1. Introduzione

I fotografi militari documentarono ufficialmente la Prima Guerra Mondiale con tutti i mezzi che la tecnologia fotografica consentiva all'epoca:<sup>1</sup> foto panoramiche che il quar-

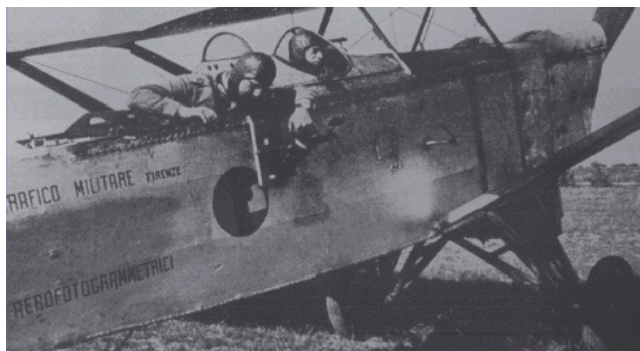
---

<sup>1</sup> In Italia l'attività di misurazione mediante fotografie aeree era propria della Sezione fotografica del Genio Militare che era stata istituita, già dal 1896, presso la Brigata Specialisti, analogamente a quanto avvenuto in altri stati. La Sezione, voluta e diretta dal tenente colonnello Maurizio Mario Moris (1860-1944), con sede a Villa Mellini, sul Monte Mario, arruolò i primi ufficiali fotografi: il capitano Cesare Tardivo, comandante della Sezione; gli ingegneri Gargioli, Letter e Sullam (telefotografia); il capitano Malingher (rilievi di montagne e studi di ottica), il capitano Crocco (telefotografia da mare); i capitani Azzariti, Perrini e Ranza e

tier generale richiedeva per avere una vista reale del fronte; fotografie aeree oblique e verticali che il comando d'armata utilizzava per selezionare gli obiettivi e guidare il tiro dell'artiglieria; foto aeree verticali e stereoscopiche con le quali i cartografi aggiornavano continuamente le mappe delle trincee. Questi autori ci hanno lasciato una copiosa quantità di materiale che rivela oggi lo sforzo compiuto con molta discrezione da scienziati fotografi – ingegneri, geologi, archeologi, fisici, ottici, matematici, naturalisti – per aumentare la conoscenza del territorio oggetto della battaglia in nome di un ideale di ricerca volto a rendere anche il conflitto, un'occasione di progresso.

## 2. La fotografia come illustrazione per il Servizio di Osservazione Militare

Gli inizi del Novecento furono caratterizzati da un rinnovamento tecnologico, eco delle numerose invenzioni dell'Ottocento, che influenzò anche le tattiche di guerra. Furono introdotte nuove armi da fuoco – mitragliatrici, granate temporizzate –, nuovi sistemi di trasporto – dirigibili, aerostati, aerei – e nuovi sistemi di comunicazione – telegrafia e fotografia. Pochi mesi dopo l'inizio della Prima Guerra Mondiale tutto ciò contribuì a creare l'inedita guerra di posizione, caratterizzata dall'innalzamento di trincee, muri di terreno a protezione delle postazioni dell'artiglieria, che, di fatto, immobilizzò il fronte. Ciò rese inefficace l'opera di osservazione di quanto avveniva sul fronte svolta da sempre dalla cavalleria e costrinse gli eserciti a darsi battaglia per la conquista delle posizioni più elevate per controllare il nemico (Campbell 2008, p. 79).



**Fig. 1.** Gli ufficiali Pio Paganini e Ermenegildo Santoni, rispettivamente pilota e fotografo, preparano un volo di ricognizione aerea per rilievo fotogrammetrico con fotocamera Santoni su Aereo dell'Istituto Geografico Militare nel 1920

In questa situazione l'avanzata dei fanti richiedeva una continua coordinazione con l'artiglieria mentre quest'ultima, pur operando con capacità di gittata maggiore rispetto

---

l'ingegner Labocchetta (studi di chimica e fotogrammetria); il tenente De Benedetti (fotografia dal pallone) (Favaro 2002, p. 64; Shepherd 2014, p. 202).

al passato, spesso era priva della visione diretta del bersaglio, nascosto da rilievi naturali o artificiali. Per sopperire a queste difficoltà fu introdotta l'osservazione dall'alto mediante i nuovi mezzi aerei disponibili. Ufficiali osservatori esperti di tattica sorvolavano il fronte con aerostati, palloni frenati o aerei da ricognizione per raccogliere dati essenziali per le operazioni: le risorse, i movimenti, le posizioni, l'effettivo di uomini, etc.

Si trattava di una forma di sorveglianza diretta, poiché l'osservatore selezionava personalmente gli elementi tatticamente significativi del paesaggio, riportando le proprie valutazioni in un rapporto scritto oppure comunicandole ai comandi attraverso i primi sistemi di telegrafia. La relazione era spesso accompagnata da schizzi o meglio ancora da fotografie, che confermavano quanto descritto.<sup>2</sup> Entrambe le forme grafiche, infatti, avevano inizialmente solo valore di illustrazione, poiché i comandi consideravano prioritaria l'interpretazione scritta. Le foto erano scattate con fotocamere portate a mano dagli stessi osservatori che erano responsabili della scelta dell'area, indicata dal Comando, e del momento migliore per lo scatto. Infatti, la qualità della foto dipendeva da una serie di condizioni: angolazione, velocità, altezza e visibilità. Per questo, prima di sporgersi dal velivolo per fotografare, l'osservatore avvisava il pilota con un microfono (Fig. 1).

A meno di un secolo dall'invenzione, la fotografia aveva raggiunto un tale sviluppo da assicurare buoni risultati anche in condizioni difficili com'era la fotografia aerea,<sup>3</sup> grazie a teleobiettivi, che garantivano la giusta nitidezza anche a grandi distanze, ed a otturatori di lastra che lavoravano bene alle velocità di palloni e aerei. Inoltre la tecnologia a secco consentiva lo sviluppo posticipato, a terra, dei negativi (Galloni 2015, p. 37).

In base alla tipologia del terreno, pianeggiante o montuoso, e alle condizioni dello scontro gli ufficiali fotografi potevano far riferimento al manuale del capitano Cesare Tardivo per scegliere tra fotocamere prospettiche, inclinate rispetto alla verticale o planimetriche, per riprese in verticale, allo Zenith (Tardivo 1911, p. 85).<sup>4</sup>

Per le riprese dai palloni era consigliato l'uso di camere rigide, tronco piramidale, con obiettivi a lunga focale. Molto utilizzati erano i teleobiettivi a dieci ingrandimenti, anche se richiedevano otturatori lenti, che in definitiva erano poco adatti alle velocità dei palloni. Buoni risultati si avevano con quelli a 4 ingrandimenti, con finezza 1/10 mm in formato 13x18 o 18x24, con lenti anastigmatiche semplici. I movimenti di rotazione del pallone erano compensati dall'uso di otturatori di lastra (tipo *focal plane*) che operavano con tempi di esposizione molto brevi (meno di 1/1000 di secondo). Lo scatto era preferibilmente meccanico e non pneumatico (Tardivo 1911, pp. 162-164).

---

<sup>2</sup> Un esempio è lo schizzo *Tripolitania - Tripoli e dintorni*, realizzato dal capitano Moizo nell'aprile 1912, che voleva essere una carta a due colori, in scala 1:100.000, in cui le distanze erano state calcolate a partire dai tempi di volo dell'aereo (Bergaglio 2001, p. 3).

<sup>3</sup> La stabilizzazione della fotocamera in verticale era stata brevettata dal francese Nadar (Gaspar-Félix Tournachon) nel 1858 mentre l'inglese Walter Bentley Woodbury brevettò nel 1877 una fotocamera aerea che poteva essere comandata da terra mediante un sistema elettrico.

<sup>4</sup> Il capitano Cesare Tardivo fu direttore della Sezione fotografica del Genio dal 1906.

### 3. L'osservazione fotografica

Benché l'osservazione fotografica fosse stata già usata da metà Ottocento nei conflitti europei e americani, ancora a metà della Grande Guerra non si parlava di interpretazione nel senso moderno del riconoscimento degli elementi tatticamente significativi, poiché la fotografia aerea non era la prima fonte di informazione. Infatti, il risultato delle ricognizioni non era sempre garantito e spesso accadeva che le lastre si rovinassero prima dello sviluppo (Campbell 2008, p. 77, nota 1). I comandi militari apprezzarono progressivamente la visione d'insieme e la maggiore chiarezza delle foto rispetto ai disegni. Inoltre valutarono il notevole vantaggio di poter ottenere dalle foto, grazie alle tecniche di fotogrammetria, le misure di distanze e altezze che servivano all'artiglieria.

In particolare, come spiegò in una nota diretta probabilmente al Prefetto di Bari e al Comando d'Artiglieria del 35° Battaglione di stanza a Bari l'ingegner Antonio Fuortes,<sup>5</sup> il calcolo delle altezze era un problema comune sia alla difesa sia all'attacco e poteva essere risolto con la fotografia aerea. La contraerea, infatti, doveva calcolare l'altezza degli aerei per poterli colpire, mentre i piloti bombardieri dovevano calcolare la distanza dei bersagli in base alla propria altezza da terra affinché la traiettoria delle bombe intercettasse il punto da colpire. Fuortes sottolineava che i tradizionali metodi di calcolo alternativi alla fotografia aerea, come la triangolazione da due stazioni a terra, non erano praticabili in periodo di guerra, trovandosi le stazioni in territorio nemico. Inoltre, aggiungeva che altre tecniche come l'uso di barometri a mercurio o aneroidi e quello dei primi sonar acustici non davano buoni risultati: i primi a causa dei difetti di costruzione e i secondi per la rumorosità degli aerei. Così la fotografia aerea era il metodo più efficace per ottenere misurazioni affidabili (Fuortes 1916, p. 1).

Tali misure erano, inoltre, necessarie per l'aggiornamento delle tavole di tiro e delle mappe cartografiche usate dall'artiglieria. La relazione tra angolo di tiro e gittata, infatti, era stata standardizzata in tavole numeriche secondo parametri fissi - dimensioni, calibro e materiale dei proiettili - che erano rimasti invariati nelle guerre ottocentesche. Le tavole non consideravano le caratteristiche del territorio, per lo più sconosciuto, come le Alpi, né quelle delle nuove armi e delle condizioni atmosferiche (Guerraggio 2015, p. 164). Era anche necessario sviluppare strumenti per produrre velocemente le nuove mappe e per ridisegnare le vecchie, che erano in scala ridotta (1:60.000-1:126.000), per portarle in scala maggiore (1:20.000 - 1:25.000), più adatta alle esigenze del fuoco di trincea. Bisognava, poi, addestrare gli addetti alle batterie di campo alla lettura delle nuove mappe, perché non avevano conoscenze di topografia (Chasseaud 2002, pp. 171-183).

---

<sup>5</sup> Antonio Fuortes (Ruffano 1884 - Milano 1958), figlio di Gioacchino (avvocato e apprezzato fotografo leccese) e nipote di Tarquinio (docente di Matematica alla Nunziatella) si laureò a Pisa, nel 1906, in Matematica e Fisica per poi specializzarsi a Liegi in Ingegneria Elettrotecnica. Tornato in Puglia seguì la progettazione dei tracciati dell'Acquedotto e durante la guerra fu direttore del Consorzio pugliese per materiali da guerra. Membro del Collegio Pugliese degli Ingegneri e Architetti, pubblicò per la rivista «Rassegna Tecnica Pugliese», l'articolo "L'organizzazione scientifica delle Officine", nel 1917. Fuortes si trasferì a Perugia alla fine della guerra e quindi a Milano, dove morì nel 1958 (Note biografiche a cura di Anna Fuortes De Benedetti).



#### 4. I principi della fototopografia

I principi della fototopografia erano stati esplicitati agli inizi del secolo dal tenente Attilio Ranza,<sup>6</sup> che aveva scritto: «l'immagine [di un dato soggetto] ottenuta con un obiettivo fotografico si può ritenere una proiezione grafica centrale di quel soggetto sopra un piano normale dell'asse ottico dell'obiettivo» (Ranza 1907, p. 6). Il capitano Cesare Tardivo, a sua volta, spiegava che, usando le tecniche di fotogrammetria illustrate da Pio Paganini nei suoi manuali (Paganini 1901, pp. 6-7), per il rilievo di terreno montuoso era necessario scattare fotografie con lastra verticale da due stazioni diverse in modo che ogni punto del terreno era individuato dalla base (la distanza tra le due stazioni) e dagli angoli che le due visuali al punto formavano con la base; mentre per il rilievo di terreno piano erano necessarie riprese dall'alto con lastre orizzontali. Inoltre, posto che il centro della prospettiva era il centro dell'obiettivo, nota l'altezza dell'obiettivo sul terreno e la lunghezza focale della fotocamera, si poteva calcolare il rapporto di riduzione della mappa, cioè la scala del disegno (Tardivo 1911, p. 85). Scrisse, infatti, Ranza che la: «fotografia di terreno piano rappresenta di esso una carta topografica muta nella scala risultante dal rapporto fra la distanza focale e quella che intercede fra il terreno ed il corrispondente punto nodale dell'obiettivo» (Ranza 1907, pp. 6-8).

La formula individuata servì a preparare tavole, simili a quelle di tiro, in cui erano riportate le corrispondenze tra le altezze di volo, le focali più usate e la scala desiderata per la mappa (Bagley 1917, p. 84). La fotografia verticale costituiva, quindi, un risparmio economico per la trasposizione diretta dell'immagine di un'area su una mappa. Infatti, con un solo volo si poteva scattare un'immagine che non aveva bisogno di lunghi calcoli per la riduzione.<sup>7</sup> Il concetto di base della fotografia aerea verticale era la tecnica a linee radiali, che assicurava il fuoco al centro dell'immagine. Lo stesso metodo di stampa era stato adottato già nel 1893 dall'ufficiale americano C. B. Adams,<sup>8</sup> che utilizzava due palloni con due fotocamere per produrre fotografie sovrapponibili e convertire la loro intersezione in una mappa topografica (Collier 2002, p. 157).

#### 5. Le innovazioni tecnologiche

Il periodo della Grande Guerra rafforzò la tendenza d'inizio secolo a realizzare perfezionamenti delle tecnologie fotografiche legati al lavoro topografico.<sup>9</sup> La geometria

---

<sup>6</sup> Dal 1902 Attilio Ranza, insieme a Tardivo, aveva lavorato alle prime planimetrie del Tevere e di Venezia, sperimentando la fototopografia dal pallone con una fotocamera azionata da terra (Guerra, Pilot 2000, p. 614).

<sup>7</sup> La prima fotografia aerea verticale italiana a scopo di ricognizione militare fu scattata il 24 febbraio 1912 dal capitano Carlo Maria Piazza, comandante della flottiglia aeroplani italiani in Libia, per osservazioni in profondità sul territorio africano durante la Guerra Libica. Solo, a bordo del suo monoplano, non potendo impegnare le mani nel cambio delle lastre fotografiche decise di scattare un'unica foto per volo, in verticale anziché in obliquo, ricavando così un'immagine già simile ad una mappa (Curami 2010, p. 278).

<sup>8</sup> L'americano Cornele Barrien Adams brevettò un metodo di triangolazione nel 1893 ottenendo la prima patente di fotografia aerea per mappatura topografica (Patent n. 510.758 del 12 dicembre 1893) (Campbell 2014, p. 20).

<sup>9</sup> L'invenzione, nel 1903, del metodo di rettificazione ottica, la prospettografia di Theodor Scheimpflug, definì l'inizio delle applicazioni della fotogrammetria alle fotografie aeree. Alla fine del 1915, sulla base

descrittiva e proiettiva avevano ormai raggiunto la maturità e la fotogrammetria aveva trovato numerose applicazioni. Un esempio sono i lavori fototopografici svolti a fine '800 per la mappatura di ampie aree del Canada eseguita da Édouard Deville (1895) sotto la sorveglianza dell'International Boundary Commission (Bagley 1917, p. 13). Ciò portò ai cambiamenti tecnologici più importanti, che consentirono la mappatura di aree della stessa Europa e di gran parte del globo che erano ancora prive di descrizioni (Collier 2002, p. 155). La collaborazione tra il Ministero della Pubblica Istruzione italiano e il corpo militare di Occupazione della Libia, ad esempio, permise l'utilizzo del materiale fotografico di ricognizione sul territorio africano per avviare la tutela dei beni storico-artistici libici, tra i quali le antiche città di Cirene, Leptis Magna e Sabratha (Cagrianni 2012, p. 42).

I successi archeologici in Italia e in Libia che avevano permesso agli ufficiali italiani di essere apprezzati per il loro contributo teorico e tecnologico in diversi convegni di fotografia e fotogrammetria - all'Esposizione Universale di Bruxelles nel 1910, a Roma nel 1911 e a Vienna nel 1913 - non si tradussero, però, in un vantaggio per l'esercito italiano nella Prima Guerra Mondiale. Ciò a causa del rallentamento subito dall'industria italiana nella produzione sia di aerei sia di macchine fotografiche. In particolare l'industria italiana continuò a produrre aerei a trave anziché a fusoliera, che invece consentiva di sistemare le fotocamere in maniera più stabile nella carlinga dell'aereo e di ottenere foto migliori (Molfese 1925, pp. 26-27; Curami 2010, p. 281).

Gli aerei da ricognizione italiani montavano fotocamere prodotte da Lamperti & Garbagnati di Milano oppure fotocamere Piseroni e Mondini e De Maria (Porro, Volla 1924, pp. 14-30; Galloni 2015, p. 39). La macchina era installata dietro il sedile del pilota ed era fissata verticalmente alla struttura per mezzo di supporti elastici. Un foro di circa 200 mm di diametro, chiuso da un vetro, consentiva l'effettuazione delle riprese. Un caricatore da 12, 24 o 48 lastre poteva essere azionato dal pilota attraverso un comando manuale e le lastre sostituite automaticamente.<sup>10</sup>

Nello sviluppo tecnologico, invece, gli inglesi furono sostenuti dalla conversione della fabbrica di Farnborough in Royal Aircraft Factory; i tedeschi trassero vantaggi dalle migliori lenti della Zeiss; mentre gli americani furono favoriti dalla produzione a basso costo di pellicole della Kodak e dallo sviluppo delle tecnologie cinematografiche. Queste ultime permettevano numerosi scatti in sequenza, con automatismi che sincronizzavano lo scatto con l'avanzamento del nastro, che erano ideali per la ripresa delle trincee. Lo sviluppo in lunghezza di queste ultime richiedeva, infatti, la ripresa in se-

---

delle teorie di Ignazio Porro (1801-1875), padre della fotogrammetria in Italia, e dei metodi di stereofotogrammetria del tedesco Carl Pulfrich, ideatore dello stereocomparatore, E. O. Messter e R. Hegershoff cercarono di automatizzare la riduzione in mappa da foto aeree (ottenuta poi nel 1920). Seguirono il modello dello stereoautografo, il primo apparecchio di restituzione automatico, ideato nel 1908 dall'austriaco Edoardo Von Orel (poi naturalizzato italiano De Orel) e messo in produzione nel 1911 dalla Zeiss. Max Gasser, inoltre, presentò il prototipo di un doppio proiettore, precursore del Multiplex, che risolveva il fondamentale problema dell'orientamento e forniva un metodo ottico per tracciare una stampa molto precisa della planimetria e dei contorni di un'area ripresa fotograficamente (Chasseaud 2009, p. 103).

<sup>10</sup> Ermenegildo Santoni ideò un meccanismo per la sostituzione automatica delle lastre, costituito da un'elica azionata da una leva vicina al pilota e mossa dal vento di quota. (Galloni 2015, pp. 38-39).

quenza di foto e la stampa a mosaico, sovrapponendo i punti di foto adiacenti (Collier 2002, p. 160).

Nonostante il ritardo industriale, il contributo in invenzioni degli ufficiali fotografi italiani fu comunque di rilievo. Pionieri nel perfezionamento dell'applicazione della fotogrammetria alle riprese fotografiche aeree oltre a Luigi Pio Paganini<sup>11</sup> furono gli ingegneri dell'Istituto Geografico Militare arruolati come ufficiali osservatori e fotografi Ermenegildo Santoni e Umberto Nistri. Santoni creò strumenti di restituzione che includevano parti meccaniche anche molto sofisticate, come le camme per la correzione della distorsione (Selvini 2013, pp. 88-90). Santoni e Nistri realizzarono nuovi strumenti rispettivamente per le Officine Galileo di Firenze e l'Ottica Meccanica Italiana di Roma (Galloni 2015, p. 39). Nel periodo successivo alla guerra gli italiani furono ancora in primo piano nel contributo teorico per la soluzione di importanti problemi di geometria descrittiva legati alla fotografia aerea con: Antonio e Umberto Nistri, Gino Casinis, Paolo Dore.

## 6. L'interpretazione fotografica

La sistemazione delle fotocamere nella carlinga dei monopiani liberò l'osservatore dalla necessità di volare e dal rischio di esporsi all'esterno dell'aereo per gli scatti. Ciò rese, però, necessario potenziare l'attività di interpretazione a terra delle immagini (Collier 2002, p. 160). Gli interpreti, osservatori esperti, operavano in laboratorio dove avevano più tempo per esaminare le riprese aeree, soffermarsi su dettagli che in volo sfuggivano alla vista e soprattutto potevano riflettere sul significato tattico degli oggetti, senza essere tratti in inganno dai primi tentativi di camuffaggio.

L'addestramento degli osservatori divenne prioritario e furono potenziate le Scuole di formazione per osservatori, mentre nei programmi di preparazione dei piloti furono inseriti corsi di fotografia aerea. Nei comunicati lanciati da Washington ai campi di addestramento per piloti si legge che il lavoro di osservazione è «the most important work, and one without which the army could not function» (Cameron 1999, p. 135).

In Italia la Scuola osservatori era stata istituita all'interno dell'aviosuperficie di Centocelle a Roma. Qui gli allievi usavano il manuale del geologo e naturalista Giovanni Battista Trener,<sup>12</sup> *La fotografia dall'aeroplano*, del 1917. Trener prestò le sue competenze di scienziato alla formazione dei piloti fotografi ma in Italia l'attività di interpretazione fotografica non andò mai molto oltre quelle posizioni fino agli anni Trenta, accumulando un ritardo notevole rispetto agli sviluppi che il Servizio di Intelligence ebbe negli altri stati (Rastelli 2001, p. 13).

Grazie all'interpretazione a terra la ricognizione fotografica fu organizzata per svolgere un doppio ruolo: strategico e tattico. Il primo spingeva gli aerei in profondità

---

<sup>11</sup> Paganini ereditò nel 1879 il lavoro avviato nel 1876 dal tenente di Stato Maggiore Michele Manzi il quale iniziò i suoi studi in occasione del rilevamento del Gran Sasso, quando reputò opportuno servirsi di panorami fotografici terrestri ad integrazione del disegno del terreno rilevato con la tavoletta pretoriana.

<sup>12</sup> Giovanni Battista Trener (1877-1954) fu il primo direttore del Museo regionale della Venezia Tridentina fondato nel 1929 e poi trasformato nell'attuale Museo di Storia Naturale di Trento.

sul territorio nemico allo scopo di tenere sotto controllo le vie di comunicazione, i terminali ferroviari ed i centri logistici. Il secondo portava gli aerei a sorvolare la linea di contatto tra gli eserciti ed era a stretto contatto con l'artiglieria e i comandi per coordinare le operazioni di terra.

In entrambi i casi, le foto svelavano in maniera sorprendente sia i segreti della battaglia sia quelli della Terra. Infatti, emersero particolari come il cambiamento di colore della vegetazione che ricresceva nelle zone devastate delle trincee abbandonate (Newhall 1969, p. 8). L'efficacia delle ricognizioni, infatti, dipendeva dalla periodicità con la quale erano scattate le foto sulle stesse zone. La Germania già alla fine del 1917, produceva circa 4.000 foto di ricognizione al giorno, coprendo tutto il sistema di trincee del fronte occidentale due volte al mese. Gli squadroni della *Royal Air Force* raccolsero addirittura circa 2.5 milioni di fotografie aeree durante il 1918 con ricognizioni che interessarono ampie zone non solo europee, poiché il fronte era esteso anche all'Africa.

Forti del vantaggio di avere una così grande mole di dati, gli Alleati si concentrarono sullo sviluppo di strumenti di restituzione mediante proiezione luminosa capaci di lavorare velocemente sulla massa di singole foto scattate allo Zenith. I tedeschi, a loro volta, sostenuti dall'avanzata industria ottica, si concentrarono nello sviluppo di strumenti sofisticati di tracciamento (inclusi quelli stereoscopici) e nelle tecniche di triangolazione radiale per tracciare i punti di controllo dalle immagini oblique. Per questo alla fine della guerra furono disponibili 34 milioni di mappe inglesi, 30 milioni francesi e 775 milioni tedesche (Chasseaud 2002, p. 171). Lo studioso Chasseaud ha concluso che comparando tali mappe risultano migliori quelle inglesi, seguite da quelle francesi, mentre i tedeschi mantennero anche dopo la guerra il primato nella costruzione di strumenti ottici per la fotogrammetria aerea (Chasseaud 2009, p. 113).

## 7. La fotografia aerea e la memoria del territorio

Oltre a fornire dati per l'artiglieria, la fotografia aerea servì a valutare i risultati dei bombardamenti. Dal confronto tra le foto e le mappe eseguite prima e dopo i bombardamenti gli scienziati osservatori rilevarono la trasformazione che la guerra stava portando sul territorio. Tutt'uno con l'elemento umano, le trincee rappresentarono il luogo in cui si consumò senza distinzione la devastazione di corpi e di spazi.

Le fotografie apparvero, allora come oggi,<sup>13</sup> la testimonianza dei terribili risultati di un'antropizzazione violenta e dissennata. Per la prima volta il susseguirsi degli eventi bellici non era solo raccontato e memorizzato, ma anche misurato con esattezza.

---

<sup>13</sup> Una rievocazione museale interattiva della Battaglia di Ypres, nelle Fiandre, considerata lo scontro più rappresentativo dei danni prodotti contestualmente da mine, colpi d'artiglieria e calamità naturali, utilizza la sovrapposizione di fotografie aeree di ricognizione, riprese dall'aviazione inglese prima e dopo la battaglia, nel 1917, e di riprese cinematografiche odierne, per mostrare le modifiche irreversibili del territorio (Chielens 2009, pp. 13-26).

## 8. Conclusion

I fotografi militari furono, quindi, attori e testimoni del cambiamento prodotto sul territorio dalla guerra di posizione. Crearono nuovi strumenti e metodi di misurazione più accurati e veloci rispetto al passato, nei quali la fotografia costituì lo strumento ottimale di registrazione e memorizzazione. Solo alla fine del conflitto, attraverso l'ampliamento dell'attività di interpretazione e riconoscimento, compresero che la lettura delle foto nascondeva un enorme potenziale di conoscenza, utile a scopo militare per il Servizio di Intelligence che avrebbe regolato l'andamento delle guerre successive (Campbell 2008, p. 77) e a scopo scientifico per l'indagine sulle origini della Terra e dello Spazio.

Infatti, dopo il 1918 le fotografie aeree e le dettagliate interpretazioni inglesi divennero la fonte principale di dati sia per l'intelligence militare sia per gli studi di: archeologia, botanica, architettura, meteorologia, geomorfologia e glaciologia. Ciò permise di avere risultati importanti nella conoscenza del territorio in Egitto, Palestina e Siria (Hamshaw 1920, p. 457; Collier 1994, p. 100). L'opera del futurista Marinetti, dal titolo *Battaglia a 9 piani*, 1917, che sintetizza la visione di una guerra condotta alla conquista della terza dimensione, il dominio dei cieli, mostra in definitiva che il nuovo approccio scientifico produsse una nuova percezione di tempo e spazio.

## Bibliografia

- Bagley J.W. (1917). "The Use of the Panoramic Camera in Topographic Surveying". *United States Geological Survey Bulletin*, 657, pp. 7-87.
- Bergaglio M. (2001). "L'impiego dell'aereo nella rilevazione cartografica coloniale durante il conflitto italo-etiope". *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, pp. 1-23.
- Cameron Hancock R. (1999). *Training to Fly. Military Flight Training, 1907-1945*. Washington: Air Force History and Museums Program.
- Campbell D.E. (2014). *Flight, Camera, Action! The History of U.S. Naval Aviation Photography and Photo-Reconnaissance*. Washington: Syneca Research Group.
- Campbell J.B. (2008). "Origins of Aerial Photographic Interpretation, U.S. Army, 1916-1918". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74 (1), pp. 77-93.
- Castrianni L., Cella E., Fortini P. (2012). "Boni e il Genio. La nascita della fotografia aerea archeologica". *Forma Urbis*, 17 (5), pp. 39-44.
- Chasseaud P. (2002). *British, French, German Mapping and Survey on the Western Front in the First World War*, in Doyle P., Bennett M.R. (eds.), *Fields of Battle, Terrain in Military History*. Dordrecht: Kluwer, pp. 171-204.
- Chasseaud P. (2009). *Imaging Golgotha: Photogrammetry on the Western Front 1914-1918*, in Stichelbaut B., Bourgeois J., Saunders N. (eds.), *Images of Conflict*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, pp. 87-120.
- Chielens P. (2009). *The Last Witness. Military Aerial Photography used in a Modern Museum Context*, in Stichelbaut B., Bourgeois J., Saunders N. (eds.), *Images of Conflict*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, pp. 13-26.

- Collier P. (2002). "The Impact on Topographic Mapping of developments in Land and Air Survey: 1900-1939". *Cartography and Geographic Information Science*, 29 (3), pp. 155-174.
- Curami A. (2010). *Vedere oltre la collina. Il mezzo aereo e la valutazione del nemico dalla prima alla seconda guerra mondiale*, in Ferrari P., Massignani A. (a cura di), *Conoscere il nemico. Apparati di intelligence e modelli culturali nella Prima Guerra Mondiale*. Milano: FrancoAngeli, pp. 273-292.
- Deville É. (1895). *Photographic surveying, including the elements of descriptive geometry and perspective*. Ottawa: Government Print Bureau.
- Favaro A. (2002). *Fotografare la Grande Guerra. Per una conoscenza del patrimonio di fotografie ed attrezzature dei Fondi Fotografici del Veneto*. Treviso: Foto Archivio Storico Trevigiano.
- Fuortes A. (1916). *Norme pratiche per la determinazione dell'altezza di volo di un aereo*. Bari, settembre 1916, (dattiloscritto), Archivio di Stato di Bari, Fondo Prefettura, Gabinetto del Prefetto, Il versamento, b. 155, f. 60, p. 1.
- Galloni M. (2015). *La tecnica fotografica nella Prima guerra Mondiale*, in Basano R., Pesenti Campagnoni S. (a cura di), *Al fronte. Cineoperatori e fotografi raccontano la Grande guerra*. Torino: Silvana editoriale, pp. 37-39.
- Guerra F., Pilot L. (2000). "Historic Photoplanes". *International Archives of Photogrammetry and Remote sensing*, 33 (B5), pp. 611-618.
- Guerraggio A. (2015). *La scienza in trincea. Gli scienziati italiani nella prima guerra mondiale*. Milano: Raffaello Cortina.
- Hamshaw T.H. (1920). "Aircraft photography in the service of science". *Nature*, 105, pp. 457-459.
- Molfese M. (1925). *L'aviazione da ricognizione durante la guerra europea (maggio 1915- novembre 1918)*. Roma: Provveditorato Generale dello Stato.
- Newhall B. (1969). *Airborne Camera: The World from the Air and Outer Space*. New York: Hastings House.
- Paganini P. (1901). *Fotogrammetria. Fototopografia pratica in Italia*. Milano: Hoepli.
- Porro F., Volla F. (1924). *La fotografia aerea*. Roma: Stabilimento poligrafico Amministrazione dello Stato.
- Ranza A. (1907). *Fototopografia e fotogrammetria aerea*, Roma: Enrico Voghera.
- Rastelli A. (2001). *La lente di Trener. Ovvero l'arte di interpretare le fotografie aeree*, in Leoni D., Marchesini P., Rastelli A. (a cura di), *La macchina di sorveglianza*. Trento: Nicolodi, pp. 13-53.
- Selvini A. (2013). *Appunti per una storia della topografia in Italia nel XX secolo*. Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli.
- Shepherd E.J. (2014). *Giovanni Gargioli e la telefotografia*, in Marsicola C., *Il viaggio in Italia di Giovanni Gargioli. Le origini del Gabinetto Fotografico Nazionale 1895-1913*. Roma: ICCD, pp. 201-212.
- Tardivo C. (1911). *Manuale di Fotografia-Telefotografia. Topofotografia dal pallone*. Torino: Carlo Pasta.

# La comunicazione in trincea: 1914 - 1918

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

*Abstract:* All'interno del progetto di "mostre collaterali" al XXXV Congresso SISFA per l'anno 2015, il nostro Museo si è reso disponibile a realizzare due esposizioni definite come "pillole storiche" attinenti alle tematiche museali ed agli interventi dei relatori. Una di queste è quella che vede la celebrazione del centenario dell'entrata dell'Italia nella Prima Guerra Mondiale (1915-1918), avente per tema: *I sistemi di comunicazione in trincea al tempo della Prima Guerra Mondiale*. Gli argomenti saranno i seguenti: *piccioni viaggiatori, telegrafia con i fili, telegrafia senza fili: Guglielmo Marconi, telefonia con i fili, punti di osservazione, generatore di "raggi" da campo, cartografia militare*. La vastità di ciascuno dei temi che abbiamo proposto con le nostre pillole scientifiche, tuttavia, ci costringe a tagliare molte informazioni che sicuramente sarebbero piaciute al lettore più attento. L'auspicio è che la mostra e gli interventi servano da momento di riflessione per dedicare un pensiero ai nostri cari famigliari che 100 anni fa si sacrificarono in questo conflitto mondiale, anche con la propria vita, per dare a noi un domani più sicuro.

*Keywords:* Museum, Communications, WWI

## 1. La comunicazione in trincea dal Museo dei Mezzi di Comunicazione

All'interno del progetto di "mostre collaterali" alla Fiera Antiquaria di Arezzo, per l'anno 2014, il nostro Museo si è reso disponibile a realizzare alcune esposizioni definite come "pillole storiche, scientifiche e tecniche". Tra le molte idee realizzate e da realizzare, è scaturita quella che vede come tema la celebrazione del primo centenario dello scoppio della Prima Guerra Mondiale (1914-1918). Abbiamo allora concordato che da parte del nostro Museo potevamo proporre il tema, che è risultato essere conosciuto solo marginalmente, dei sistemi di comunicazione in trincea al tempo della Prima Guerra Mondiale.

Il progetto che ci coinvolge è molto interessante anche per gli addetti ai lavori sulla storia della radio, ma soprattutto per le scolaresche e per la gente comune, che non hanno mai focalizzato i particolari come ora andiamo a evidenziare con gli argomenti che seguono.

## 2. I piccioni viaggiatori

Molti sanno che i piccioni viaggiatori sono stati per secoli (e forse per millenni) i mezzi

di comunicazione più rapidi per messaggi scritti in piccoli rotoli di carta che, inseriti negli appositi contenitori legati al volatile, venivano trasportati a stazioni ben precise. All'arrivo, come alla partenza, i messaggi venivano punzonati con apposita macchina stampante ad orologeria (vedi Fig. 1), con la quale il capitano responsabile della stazione militare imprimeva il tempo di arrivo e l'indirizzo personale a cui era destinato.

Fin qui l'uso così descritto era del tutto simile ai sistemi usati anche in ambiente civile, ancora oggi usato in alcuni paesi per controllo di volo del piccione durante le gare di ritorno del volatile, anche da oltre 300 Km di distanza.

Il sistema poteva complicarsi quando il messaggio veniva criptato (metodo usato fin dalla prima metà del 1800) secondo sistemi di scrittura effettuata alla partenza con un microscopio, e quindi inservibile anche a chi poteva conquistare il messaggio (uccidendo il volatile) perché, a prima vista, il foglietto era bianco. Solo alla stazione di ricezione esisteva, infatti, un sistema d'ingrandimento appropriato, una *lanterna magica* (Fig. 2) con un apposito obiettivo che montava un microscopio con il quale era possibile proiettare, su uno schermo, il contenuto del messaggio con ingrandimento tale da poter essere letto dagli addetti militari.

Segue ora un'assoluta novità storica: una fotografia dell'epoca (1915-1920) che ritrae un piccione viaggiatore sul cui sterno è stata fissata una macchina fotografica (Fig. 3). La lenta scansione di scatti, con ricaricamento automatico della pellicola, faceva sì che il pennuto spione, inviato nelle retrovie nemiche, potesse riprendere dall'alto la vera situazione e, al suo ritorno (se ritornava), riportava 30-40 immagini che risultavano di grande importanza strategica. Ho riportato il "se ritornava" perché in tutti i tratti di trincea (amica o nemica) si trovava un soldato fornito di "doppietta", fucile che più facilmente del moschetto a palla, di normale dotazione di guerra, poteva abbattere un uccello, con la rosa di pallini formata dalla apposita cartuccia.

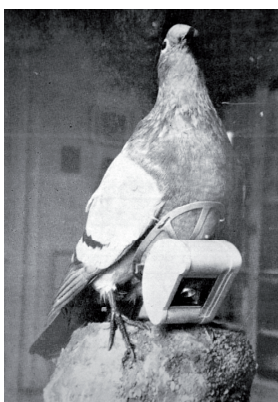


**Fig. 1.** Macchina ad orologeria per timbratura del luogo ed orario di arrivo e di partenza del messaggio affidato al piccione viaggiatore. Visibile, sopra la macchina, un piccolo rotolo di carta che alloggiava nella apposita scatola in ottone per il trasporto



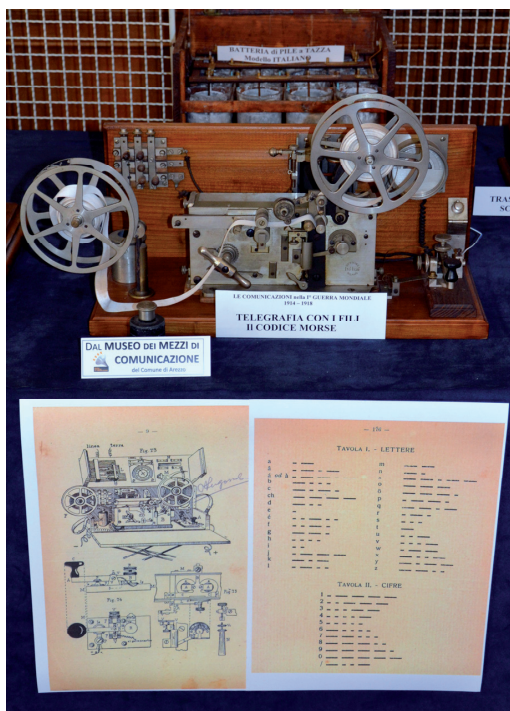


**Fig 2.** Grande lanterna magica avente applicato nell'obiettivo un sistema di proiezione a microscopio (vedi uso nella stampa di fronte). Il messaggio, scritto al microscopio con particolari caratteri, veniva trasportato dal piccione come nella Fig. 1, ma all'arrivo aveva bisogno di questo particolare mezzo da proiezione su schermo per l'interpretazione: era uno dei primi sistemi di *crittografia* usata per trasmettere messaggi segreti



**Fig. 3.** Un volatile nel cui sterno è applicata una macchina fotografica. La macchina a scansione lenta degli scatti era dotata di una pellicola che poteva contenere fino a 40-50 immagini, rilevate durante il volo dell'uccello. Tali fotografie erano recuperate alla stazione se il volatile riusciva a tornare; le percentuali erano, infatti, molto basse, data la presenza di soldati (speciali tiratori con la doppietta, la cui cartuccia consentiva una resa dei pallini abbastanza grande) che avevano il compito di abbattere qualsiasi volatile somigliante ai piccioni

Seguire oggi i metodi di esplorazione di un drone è cosa straordinaria che ci fa pensare a uno stato avanzato della tecnologia robotica, spesso inspiegabile ai comuni mortali. Pensate però a 100 anni fa, quando per la prima volta si è pensato a un drone animale! Che idea eccezionale!



**Fig. 4.** Stazione telegrafica con i fili del tipo militare in dotazione all'Esercito Italiano – marca Pio Pion di Milano – dei primi del 1900. Come si vede la cassetta conteneva tutta la stazione composta da: macchina ricevente ad orologeria, nel cui nastro di carta scorrevole, veniva impresso il messaggio composto da punti e linee secondo il codice Morse; tasto telegrafico trasmettente (a destra), con il quale si componeva il messaggio da inviare; strumento (galvanometro) per la misura del segnale di linea; suoneria (dietro) come avvisatore acustico di un arrivo di segnale telegrafico; porta-bottiglia per l'inchiostro (a sinistra) da usare per il tampone; rullo avvolgitore del nastro scritto che funge da memoria dei messaggi; distributore di linea con gli appositi spinotti di collegamento

### 3. Telegrafia con i fili

L'esposizione prosegue con un'apparecchiatura telegrafica (Fig. 4), marca "Pio Pion - Milano", completa di ricevitore ad orologeria scrivente su nastro (modello Hipp), tasto telegrafico, galvanometro indicatore, suoneria di avviso, tavoletta di distribuzione linea, porta inchiostro; il tutto in cassetta di legno che lo rende trasportabile anche negli impervi luoghi delle trincee.

Una batteria di 12 grosse pile a tazza, del tipo italiano, in unico contenitore di legno (vedi dietro Fig. 4), usato per alimentazione della macchina telegrafica e la linea che collega questa stazione con un'altra.

Per la didattica abbiamo anche esposto un cartello che riporta in dettaglio il sistema Morse che può essere utilizzato da grandi e piccoli per scrivere il proprio nome con punti e linee.

Nel dietro di quest'apparecchiatura, una cassa contenente la batteria di 12 pile a liquido del tipo italiano, atta all'alimentazione della linea telegrafica che collegava le due stazioni, mediante fili stesi in trincea.

Nel fronte della foto sono visibili due gigantografie, una per com'è composta una stazione telegrafica da campo militare e accanto all'altra che riporta il codice Morse.

#### **4. Telegrafia senza fili**

Non poteva mancare questa sezione che, seppur ancora sperimentale, fu resa fruibile proprio dal nostro grande Guglielmo Marconi che, con slancio di forte patriottismo che lo distinse nella sua pur frenetica vita, all'entrata in guerra dell'Italia nel 1915 arrivò dall'Inghilterra (dove costruiva, con le sue aziende, le apparecchiature radiotelegrafiche per tutto il mondo) e si arruolò volontario nell'Esercito Italiano. Egli portò gli apparecchi di radiotelegrafia senza fili – i più moderni che egli stesso produceva – in trincea dove, con il grado di Capitano, li mise al servizio delle nostre linee di collegamento tra i vari Comandi Militari (Fig. 5). Soluzione veramente eccezionale (per l'epoca) fu, appunto, quella della comunicazione via etere, perché l'esercito Austro-Ungarico, pur conoscendola, non aveva certamente la tecnologia che Marconi portò dalle sue aziende inglesi.

Proseguendo, la mostra vede presente un grande rocchetto di Ruhmkorff (vedi dietro in Fig. 5) che, con il tasto trasmettitore emetteva onde elettromagnetiche in aria, sempre del tipo Morse, mediante appositi sistemi di antenna filare (foto in alto di Fig. 6). Per quanto riguarda la ricezione, veniva sempre più usato il sistema a filo magnetico (in primo piano di Fig. 5). Facendolo scorrere continuamente (mediante motore a molla) davanti agli appositi magneti fissi, tutte le volte che arrivava un segnale radio captato dall'antenna ricevente, questo veniva demodulato e reso udibile nell'apposita cuffia o auricolare che fosse.

Anche l'Esercito U.S.A. portò in trincea le apparecchiature radiotelegrafiche e, per il loro uso sistematico, scherniva l'esercito nemico, creando intorno a queste “moderne scoperte” un clima di vittoria, come si vede nella caricatura riportata dalla rivista americana «Wireless world» del maggio 1915 (in basso a sinistra di Fig. 6).



**Fig. 5.** Stazione radiotelegrafica (T.S.F.) composta da un rocchetto di Ruhmkorff con tasto manipolatore, per trasmettere segnali in aria, secondo il sistema Morse. Nella foto in alto a sinistra si vede come era montata un'antenna filare nella trincea, fuori della cabina di trasmissione. In primo piano un ricevitore di T.S.F. con un *detector magnetico* a filo che consentiva la ricezione di segnali elettromagnetici, in cuffia o auricolare a pera, sempre di telegrafia Morse, quando era collegato con l'apposito impianto di antenna-terra, tipico degli apparecchi marconiani



**Fig. 6.** Pannello descrittivo dei particolari di vita in trincea con la radiotelegrafia. Nella destra del pannello sono visibili alcune immagini di apparecchiature da campo di T.S.F. ed una che ritrae il grande Guglielmo Marconi in trincea, assieme ad altri Ufficiali. Gli schemi che si vedono a destra sono di trasmettitori che Marconi mise gratuitamente a disposizione dell'Esercito Italiano; non dimentichiamo che Guglielmo Marconi (del quale celebriamo i 140 anni dalla sua nascita) si arruolò volontario nell'Esercito Italiano e portò il suo enorme contributo alle comunicazioni nelle trincee italiane, con le sue apparecchiature moderne che produceva allora in Inghilterra. Nella sinistra, in basso, un'immagine, pubblicata nella rivista americana «Wireless World» (vol. III, n. 26, May 1915), che schernisce l'esercito nemico austro-ungarico, data la presenza della trasmissione con la scintilla che, talmente sorprendente come assoluta "magia", poteva distruggere tutto

## 5. Telefonia con i fili

Altro sistema già consolidato nella comunicazione sia civile che militare, nel 1914, è la telefonia; nella particolare progettazione per il periodo bellico della Prima Guerra Mondiale, assunse caratteristiche particolari specialmente sul lato della sicurezza e della robustezza.

I telefoni civili sono impiegati anche dai militari, come vediamo su questa stanza del Comandante (Fig. 7), che ha appeso sulla parete un modello a "batteria locale" con chiamata a centralino mediante elettromagnete azionato a manovella. Si tratta di un modello (prodotto dalla ditta Kellogg) uguale a quello in mostra nel nostro Museo dei Mezzi di Comunicazione (come del resto tutto il materiale esposto) e qui messo a con-

forto dei documenti originali trovati nelle nostre ricerche storiche (vedi foto in basso sotto il telefono di Fig. 7).

Ma è nelle trincee che la telefonia fa da spalla agli altri sistemi già visti sopra; le linee tra i punti di chiamata e risposta erano stese dagli appositi soldati che, rischiando la vita ad ogni tentativo di svolgimento del rotolo di filo, garantivano il collegamento elettrico (reso difficoltoso dal fango, che spesso affogava la linea stessa, creando condizioni di perdite elettriche spesso insostenibili). L'apparecchio trasportabile con cassetta in legno, è da campo, simile a quello in mostra (davanti a destra di Fig. 8), avente una cornetta con interruttore di chiamata ed un'auricolare supplementare (un Ericsson del 1917, prodotto in Ungheria); è il modello *Ordonnance* in dotazione all'esercito Austro-Ungarico, durante la Prima Guerra Mondiale. Un'altra coppia, da campo, è accanto all'Ericsson e fu prodotta dalla *Face Standard* di Milano, per l'Esercito Italiano, anche per il periodo successivo alla Prima Guerra Mondiale (fino agli anni 1930). Tali sistemi furono poi usati anche nella Seconda Guerra Mondiale, negli anni 1940-1945 (dietro nella Fig. 8).



**Fig. 7.** Tavolo del Comandante, dove si notano alcuni oggetti di dotazione di Ufficio: vari binocoli per le osservazioni dalla trincea; una macchina da scrivere ed una da calcolo meccanica. Nel pannello, a destra, una fotografia d'epoca che riporta in parete un telefono da muro come quello appeso sopra; si tratta di un apparecchio a batteria locale e chiamata a centralino mediante generatore elettromagnetico a manovella. Nella sinistra, una rara foto di militari in gruppo dove, al collo di uno, si nota il binocolo di osservazione



**Fig. 8.** Gruppo di telefoni da campo di varie nazionalità. Sulla destra, di fronte, un raro esemplare di telefono da campo in cassetta dell'esercito Austro-Ungarico del 1917, avente la cornetta ed un auricolare d'ascolto supplementare; targhetta di costruzione della Ericsson ma costruito in Ungheria. Alla sinistra, un raro esemplare di telefono da campo *Kellogg* costruito in U.S.A. (1915) in dotazione ai *Signal Corps U.S.A.* nella Prima Guerra Mondiale, con un solo auricolare e microfono. Dietro, coppia di telefoni da campo della *Face Standard* di Milano in contenitori di cuoio da trasporto a spalla, corredati di cornetta ed auricolare supplementare in bachelite; questo modello, degli anni 1920-30, è stato costruito ed usato fino alla Seconda Guerra dall'Esercito Italiano

Altro cimelio importante è l'apparecchio portatile, modello *Kellogg*, in legno con doppia suoneria esterna, visibile sopra il microfono; ha l'auricolare separato, posto lateralmente e, nella parete opposta, la classica manovella di chiamata con elettromagnete (davanti a sinistra nella Fig. 8); venne utilizzato dai *Signal Corps U.S.A.* durante la Prima Guerra Mondiale.

## 6. Punti di osservazione

In trincea esistevano punti di osservazione che venivano piantonati 24 ore su 24, mediante binocoli, cannocchiali e periscopi. Questi ultimi, erano semplicemente costituiti da due specchi posti a 45° su un doppio prisma in legno, scorrevole uno sull'altro, che consentiva di vedere al di là della trincea senza esporre al pericolo la persona che osservava (Fig. 9).



**Fig. 9.** Modello originale di periscopio in legno costruito con due prismi rettangolari scorrevoli l'uno dentro l'altro, con due specchi montati a  $45^\circ$  per la visione, al riparo nelle trincee, del territorio circostante. Lo sviluppo successivo portò l'applicazione delle ottiche da cannocchiale e prismi ottici a cristallo sia per visioni monoculari che binoculari, poi usati nella Seconda Guerra Mondiale

### 7. Generatore di “raggi X” da campo

Accanto a tutti gli impianti elettrici che abbiamo visto nelle trincee, erano sperimentali alcune postazioni con apparecchi portatili per raggi X, da usare negli ospedali da campo istituiti nelle retrovie. Venivano utilizzati per effettuare radiografie diagnostiche sia per operazioni che, per conoscere la posizione di un proiettile, o anche la vera situazione di una frattura, come ausilio per il chirurgo nell'intervento. La stampa in mostra (Fig. 10), che riproduce una di queste situazioni da campo ospedaliero militare, fa esempio di una radiografia al cranio, effettuata con una macchina portatile (R X) del tutto simile a quella in mostra completa di tubo per raggi X del tipo di *Gundelach* (in primo piano di Fig. 11). L'apparecchiatura (come si vede in Fig. 11), alimentata con un generatore a dinamo attivato a mano, funziona con il principio del *trasformatore di tesla* che consente l'emissione dei raggi X con una alta tensione ad alta frequenza, riducendo così la necessità di potenza nell'alimentazione, rispetto ad un normale rocchetto di Ruhmkorff.





**Fig. 10.** Stampa fotografica di un ospedale da campo militare italiano, dove si mette in risalto l'uso di una macchina per raggi X utilizzata per una radiografia alla testa di un militare, prima della probabile operazione. Si nota il generatore elettromagnetico (dinamo) azionato a mano da un soldato, che alimenta un grosso rocchetto di Ruhmkorff, la cui tensione del secondario (produttore la scintilla), fornisce l'energia necessaria agli elettrodi del tubo di Roentgen per l'emissione dei raggi X



**Fig. 11.** In primo piano un grosso tubo per raggi X del tipo di Gundelach che, alimentato dalla macchina cui è fissato, fornisce il necessario flusso di raggi X sulla parte del corpo del paziente che, osservato con uno speciale schermo al platino-cianuro di bario, può osservare l'interno del corpo nel punto che necessita osservazione. L'uso diagnostico come sopra ha portato alla vera pericolosità di questi raggi, che portano in poco tempo alla generazione di tumori mortali. La macchina che viene usata, inserita nella scatola portatile, ha un generatore del tipo ad *alta frequenza* con trasformatore di Tesla; questo sistema, brevettato nel 1912 in Spagna dalla ditta *Sanchez*, fu preferito ai vari rocchetti di Ruhmkorff per i trasporti, perché otteneva lo stesso risultato con notevole risparmio di energia e con peso decisamente inferiore. Nella foto è presente, tra gli strumenti di radiologia, anche un elmetto in dotazione a un Capitano medico dell'Esercito Italiano (riporta nel fronte una croce rossa e nel lato il simbolo del grado di Capitano), appartenuto ad un aretino, dott. Giuseppe Righi d'Angiò, che operò dal 1915 alla fine della guerra nel 1918, senza interruzione, negli ospedali da campo in terreno di guerra (prestito del figlio, Prof. Giacomo Righi d'Angiò)

La mostra ospita un generatore a pedali, per alimentazione di apparecchiature sia di radiocomunicazione che di raggi X, degli anni 1930-1940, del tutto simile a quelle usate nella Prima Guerra Mondiale (Fig. 12).



**Fig. 12.** Generatore elettromagnetico (dinamo) con movimento a doppio pedale: è un esemplare per uso militare da campo che viene utilizzato come alimentatore di apparecchiature radiotelegrafiche o radiofoniche, o anche addirittura per raggi X, tutti impianti che hanno necessità di energia in ambienti particolari come appunto sono le trincee di guerra. Quello mostrato è un modello degli anni 1930-1940 del tutto simile a quelli della Prima Guerra Mondiale, che sembrano biciclette (senza ruote) che hanno nell'asse del mozzo il rotore della dinamo. È sicuramente utile nella mostra, per i gruppi in visita, portare l'attenzione su questo esemplare per dimostrare anche con esempi pratici, per una didattica molto incisiva, quale sia l'applicazione in campo di guerra, dove è estremamente difficile avere punti continui di alimentazione

## 8. Cartografia militare

Chiudiamo questa carrellata di osservazione tecnologica, esistente nelle trincee della Prima Guerra Mondiale, con un cenno alla strumentazione scientifica utilizzata per tracciare le carte ed i percorsi in luoghi impervi, come quelli di montagna, dove si sono scontrati gli eserciti nei 5 anni 1914-1918.

Parliamo delle carte geografiche rilevate dal genio dell'Esercito Italiano, l'*Istituto Geografico Militare* (IGM) che, utilizzava strumenti di geodesia per la misurazione del-

la terra, con distanze lineari e angolari, come tavolette pretoriane, teodoliti, livelli, clisimetri, ma anche squadri agrimensori e semplici archipenzoli. Nella mostra abbiamo voluto accennare anche a questa problematica tecnico-strutturale, che ingloba anche gli elementi per il calcolo, il disegno e la lettura delle carte militari, onde ricavare le decisioni di come e dove fare gli scavi per le stesse trincee.

La panoramica (Fig. 13) nella sezione strumentale di geodesia e disegno fornisce un'idea generale della dotazione che gli ingegneri cartografi, o dell'IGM, dovevano utilizzare anche nei luoghi più esposti al nemico per piazzare gli apparecchi di rilevamento, i cui risultati consentivano poi la stesura delle mappe.



**Fig. 13.** Strumenti per misurazione dei terreni e cartografia militare. Sono rappresentati alcuni dei principali strumenti per rilevamento (tavoletta pretoriana, squadra agrimensorio, teodolite, clisimetro, inclinometro) e strumenti per misure e disegno (set di compassi vari per uso militare, grande compasso a verga, riga e squadra per mappe, goniometro circolare per mappe, carta geografica dell'IGM)

## 9. Conclusione

La vastità di ciascuno dei temi che abbiamo affrontato con le nostre pillole scientifiche ci ha costretto a tagliare molte informazioni che sicuramente sarebbero piaciute al lettore più attento. Tuttavia, nonostante questi tagli, saranno notizie palesemente poco interessanti per un collezionista di radio d'epoca, e ce ne scusiamo se questa volta non abbiamo parlato di “valvole o di condensatori”; questi elementi potranno essere argomento di prossimi articoli.

Abbiano pazienza, quindi, coloro che vogliono solo sentire parlare di radio perché il piccolo mondo delle trincee, dove i nostri nonni erano costretti a vivere interi anni, era composto anche di queste altre componenti, la cui presenza doveva tendere a facilitare la vita (si fa per dire) o a renderla un po' più sicura, oppure, addirittura, a salvarla.

Facciamo quindi un momento di riflessione e dedichiamo un pensiero ai nostri cari familiari che 100 anni fa si sacrificarono in questo conflitto mondiale, anche con la propria vita, per dare a noi un domani più sicuro.

# Il famigerato appello *An die Kulturwelt* Un autoritratto degli intellettuali tedeschi

Luigi Cerruti - Ricercatore indipendente - lcerruti00@gmail.com

*Abstract:* On October 4, 1914 an *Aufruf* (appeal) of the German intellectuals was published, which denied all the accusations made against the Wilhelminian Reich about the outbreak of war and the conduct of the German army. The appeal bore the signature of 93 German intellectuals, belonging to many different cultural sectors. On the *Aufruf* is available a rich literature, but what seems to be lacking in a large part of the historiography of science is a trans-cultural vision, taking into account that the signatures of scientists and physicians were in the minority (23 out of 93). The *Aufruf* has to be read in the light of some keywords of German culture as *Bildung*, *Gemeinschaft*, *Kultur*, *Bildungsbürgertum*. The *Aufruf* is a self-portrait, not entirely successful, of a great, varied and modern culture, whereof sciences were an important but not dominant part. Only a kind of blind “disciplinary chauvinism” can still speak of the *Aufruf* as an appeal of “German scientists”.

*Keywords:* Aufruf an die Kulturwelt, German intellectuals, First World War, Bildung, Gemeinschaft, Kultur

## 1. Introduzione

Sul fronte occidentale il 4 ottobre 1914 terminava la “battaglia di Arras”. L’esercito tedesco occupava Lens e Bailleul, due cittadine della Piccardia, e concludeva con un successo una serie di manovre e contromanovre con cui si erano affrontati il generale francese Louis Maud’huy e il principe ereditario di Baviera Rupprecht. Soldati e ufficiali erano morti in quantità, ma non era ancora cominciato l’inutile e maledetto massacro della guerra di trincea. Questo è quanto registravano le cronache militari, però il giorno successivo sui giornali di tutta Europa sarebbe apparsa anche la notizia di un’altra “manovra”, gestita maldestramente da alcuni intellettuali berlinesi e perpetuata nell’annalistica come “Appello dei 93”. Infatti, da tutte le grandi agenzie di stampa e dalle ambasciate tedesche il 4 ottobre 1914 fu diramato il famigerato *Aufruf an die Kulturwelt*, “Appello al mondo della cultura”.

La vicenda che portò concretamente all’*Aufruf* è stata studiata in molti dettagli (Ungern-Sternberg, Ungern-Sternberg 2013), ma di ciò faremo solo un cenno. Questa relazione tratterà invece alcuni aspetti di carattere culturale e storico che non sono stati presi in considerazione dalla nostra storiografia, in particolare il *senso contestuale* – rispetto all’*Aufruf* – di alcune parole chiave della cultura e della storia tedesca. Nel no-

stro racconto i temi delle reazioni immediate alla guerra, dell'*Aufruf* e dei suoi firmatari, saranno trattati chiamando in causa un certo numero di intellettuali d'avanguardia scienziati e *non* scienziati. Infine vi sarà un cenno sugli esiti – in genere nulli – dell'*Appello* sulle discipline praticate dai firmatari, con l'eccezione clamorosa della teologia.

## 2. Parole chiave della cultura tedesca ai tempi di Guglielmo II

Il significato delle parole cambia nel tempo, così come cresce o declina la loro importanza nel divenire dei contesti storici. Le scarse osservazioni che seguono sono solo indicative del fatto che gli orientamenti culturali dei 93 firmatari avevano tratti comuni, al di là della professione, delle opinioni politiche, del credo religioso. Ciò che era condiviso era l'*ethos* di una comunità.

### 2.1. *Gemeinschaft* vs. *Gesellschaft*

Ferdinand Tönnies pubblicò nel 1887 un'opera importante nella storia della sociologia dal titolo *Gemeinschaft und Gesellschaft*, "Comunità e Società". Per Tönnies, *Gemeinschaft* e *Gesellschaft* erano "costruzioni ideali", modelli utili all'interpretazione sociologica delle trasformazioni avvenute in età moderna nella società europea. Al momento della prima pubblicazione l'opera di Tönnies non attrasse attenzione oltre il circolo ristretto degli "addetti ai lavori", ebbe invece un grande successo nel 1912 quando fu messa a stampa la seconda edizione. Nel quarto di secolo trascorso fra le due edizioni molte cose erano cambiate in Germania. Intanto la sociologia tedesca aveva preso corpo nelle opere di una costellazione di sociologi di grande fama, e Tönnies, assieme a Simmel, Werner, Sombart e Weber, aveva fondato la Società tedesca di sociologia della quale fu presidente dal 1909 al 1933, anno in cui fu rimosso dalla carica e dall'insegnamento universitario per la sua opposizione al nazismo. Ma profondamente era cambiata anche la società tedesca. Guglielmo II era diventato imperatore nel 1888, e l'aristocrazia terriera prussiana (gli *Junker*) avevano stretto un saldo compromesso in chiave conservatrice con l'alta borghesia mercantile e industriale. Quasi fisicamente Guglielmo e gli *Junker* impersonavano la grandezza militare dell'Impero, mentre il vertice imprenditoriale rappresentava a livello internazionale la potenza economica della Germania.

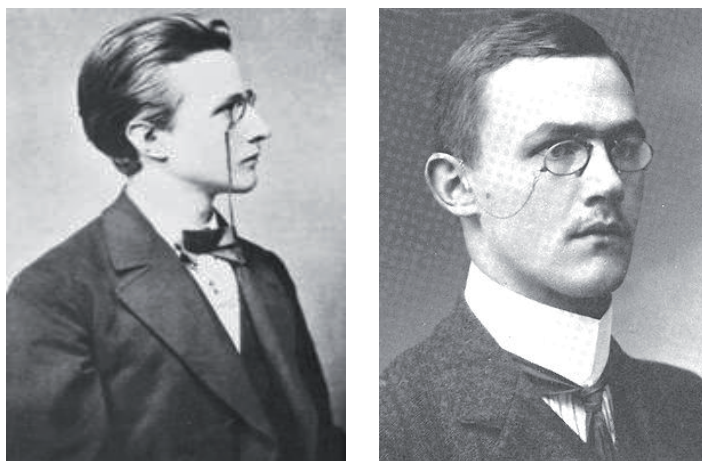
L'inatteso successo dell'opera di Tönnies dava la misura di quanto fosse mutata la percezione che la società tedesca aveva di se stessa. Nel pieno del conflitto mondiale se ne fece interprete il teologo e filosofo Ernst Troeltsch, uno dei 93 firmatari dell'*Aufruf*. Il titolo stesso dello scritto di Troeltsch indica una volontà di separazione/opposizione al sentire non di altri filosofi ma di altri popoli: "L'idea tedesca di libertà". In questo articolo i "tipi ideali" di Tönnies si sono incarnati nei popoli europei. Troeltsch afferma che i tedeschi, e quindi gli intellettuali tedeschi, nascono e vivono in una *Gemeinschaft*, caratterizzata da interazioni personali e da ruoli, valori e credenze basate su queste inte-

razioni. Al contrario, in una *Gesellschaft* vigono interazioni indirette, ruoli impersonali, valori formali. È nel contesto della *Gemeinschaft* che l'individuo (in realtà l'intellettuale) sviluppa a pieno la propria personalità seguendo l'ideale della *Bildung* (della propria formazione) e vivendo un personalissimo *Bildungsindividualismus*.<sup>1</sup> Per il teologo tedesco la libertà *non* è eguaglianza, ma «il compito del singolo al suo posto nella posizione (*Organstellung*) che gli spetta» (Troeltsch 1916). *Organstellung* è la 'posizione' in un organismo collettivo, ad esempio in un consiglio d'amministrazione con un ruolo ben definito.

## 2.2. *Bildung e Bildungsbürgertum*

L'ideale della *Bildung* costituiva il cuore pulsante dell'*ethos* condiviso dagli intellettuali tedeschi di quel tempo.<sup>2</sup> La *Bildung*, come formazione e autoformazione, è stata vissuta diversamente a seconda dei protagonisti e dei tempi, ma la sua origine può essere fatta risalire al venticinquenne Wilhelm von Humboldt, che nel 1792 scriveva:

Il vero scopo dell'uomo, non ciò che la mutevole inclinazione gli prescrive, ma la ragione eternamente immutabile (*ewig unveränderliche Vernunft*), è la più alta e proporzionata formazione (*Bildung*) delle sue forze in un tutto. A questa formazione la prima e indispensabile condizione è la libertà (Humboldt 1792, p. 25).



**Fig. 1.** Sinistra: Max Planck studente a Berlino, a venti anni. Destra: Karl Barth, a venti anni circa.

<sup>1</sup> L'etnologo e sociologo Louis Dumont ha definito la somma "olismo comunitario" + "individualismo della propria formazione" come «la formula idiosincratica dell'ideologia tedesca» (Dumont 1994, p. 24).

<sup>2</sup> L'ideale della *Bildung* è tuttora presente in molti intellettuali, anche al di fuori della *koinè* di lingua tedesca.

Spesso la *Bildung* fu vissuta in modo romantico, così come spesso è descritta nei grandi romanzi di formazione, ma qui, ai tempi della Rivoluzione francese, appare un dettato della *Vernunft* illuminista. In termini assai concreti, fondando l'Università di Berlino Humboldt agì per fornire ai suoi conterranei i mezzi per realizzare la propria *Bildung*.

A partire dal reciproco riconoscimento di ideali e interessi comuni, tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento si andò formando in Germania una classe sociale molto particolare: il *Bildungsbürgertum*, una borghesia colta costituita da professori, insegnanti, professionisti, alti funzionari pubblici. L'orientamento politico fu liberale fino al 1848; dopo la sconfitta della rivoluzione si ebbe una svolta in senso conservatore e nazionalista, e in un certo senso gli intellettuali si percepirono meno come "cittadini" e più come "tedeschi". Nel progredire del processo di industrializzazione vi entrarono a far parte nuovi ceti professionali, in particolare imprenditori e tecnici.

Il senso di appartenere al *Bildungsbürgertum* può essere colto meglio se consideriamo la "genealogia" di un paio di "borghesi colti" molto particolari. Max Planck aveva il bisnonno Gottlieb Jakob, professore di teologia a Göttingen; il nonno Heinrich Ludwig professore di teologia a Göttingen; il padre Wilhelm professore di diritto a Kiel, e lo zio Gottlieb Planck giudice e giurista. I *Wanderjahre* di Max Planck durarono dal 1874 al 1879, nelle Università di Monaco e di Berlino, e non mancò il tradizionale viaggio in Italia nella primavera del 1877.

Il secondo "borghese colto" che abbiamo scelto è Karl Barth, il grande teologo di cui parleremo alla fine di questa ricerca. Barth, di 28 anni più giovane di Planck, non poteva vantare la formidabile genealogia del grande fisico, ma era comunque "figlio d'arte", in quanto il padre Fritz Barth, era un teologo, pastore riformato e ordinario di Storia della Chiesa a Berna. Il percorso degli studi di Barth durò abbastanza a lungo, dal 1904 al 1909, da Berna a Berlino, Tübingen, e Marburg. Il pellegrinaggio da una Università all'altra aveva l'usuale motivazione degli studenti (di buona famiglia) della *koiné* tedesca: la ricerca del Maestro o, più modestamente, del docente che al momento sapesse soddisfare le loro attese. In particolare Barth ebbe come maestri Adolf von Harnack a Berlino e Wilhelm Herrmann a Marburg, entrambi teologi di grande fama e (più oltre nel tempo) firmatari dell'*Appello* dei 93. A distanza di trenta anni, il giovane Barth si prese i suoi *Wanderjahre* esattamente come aveva fatto Planck; la Fig. 1 riporta i ritratti di Planck e Barth accomunati nella serietà del volto e dei *pince-nez* del futuro accademico.

### 2.3. *Kultur vs. Zivilisation*

Durante il periodo immediatamente precedente la prima guerra mondiale e durante il conflitto divenne di moda nel giornalismo tedesco una particolare contrapposizione di stampo prettamente nazionalistico: i tedeschi avevano una *Kultur* mentre francesi e gli inglesi avevano una *Zivilisation*; la *Kultur* portava i tedeschi a essere diretti e sinceri, mentre la *Zivilisation* copriva l'insincerità dei francesi e l'affarismo degli inglesi (Geuss 1996). Un testimone fondamentale di questa contrapposizione fu Thomas Mann



che elaborò le *Considerazioni di un impolitico* fra il novembre del 1915 e il marzo del 1918; la loro prima pubblicazione risale al 1918. Scriveva Mann:

Lo spirito *non* è politica: per un tedesco non c'è bisogno di appartenere al cattivo secolo diciannovesimo per fare di questo 'non è' questione di vita o di morte. La differenza fra spirito e politica implica quelle fra cultura e civilizzazione, fra anima e società, fra libertà e diritto di voto, fra arte e letteratura; ora la germanicità (*Deutschum*) è cultura (*Kultur*), anima, libertà, arte, e *non* civilizzazione (*Zivilisation*), società, diritto di voto, letteratura (Mann 1974, p. 31; Mann 2005, p. 51).

La contrapposizione *vissuta* da Mann è rigida, non sembra lasciar scampo a chi appartenga al *Deutschum*. Louis Dumont, scavando verso le origini di simili contrapposizioni, dopo aver constatato che la Germania fra il 1770 e il 1820 ebbe una straordinaria fioritura di personalità artistiche e filosofiche, afferma che si venne a realizzare un fenomeno molto particolare: «una cultura periferica che si acculturava alla modernità a livello ideologico» (Dumont 1994, p. 24). Si tratta quindi di una ideologia i cui capisaldi furono incardinati lontano nel tempo. E, in effetti, è sufficiente leggere gli scritti di Friedrich Schleiermacher, il fondatore della moderna ermeneutica.

Nel 1799 Schleiermacher aveva la modesta posizione di “predicatore” alla Charité, lo storico ospedale di Berlino, ma già frequentava i circoli romantici della capitale prussiana, e pubblicò alcuni suoi sermoni con un titolo provocatorio: *Sulla religione. Discorsi alle persone colte che la disprezzano*. Il tono era appassionato e l'argomentazione coinvolgente, a noi bastano brevissime citazioni. Rivolgendosi ai tedeschi confessa: «ho la profonda convinzione che solo voi siete capaci e degni di rivolgervi alle cose sante e divine (*heilige und göttliche Dinge*)». Seguivano frasi che già allora caricaturavano le nazioni rivali della Germania con stereotipi destinati a perpetuarsi. Gli inglesi erano apostrofati così: «Quegli orgogliosi isolani, che molti fra di voi indebitamente onorano, non hanno altra parola d'ordine che guadagnare e divertirsi (*gewinnen und genießen*)». E ai francesi è riservata una vera invettiva: «Per altre ragioni volto le spalle ai francesi. Chi onora la religione può a mala pena sopportarne la vista, perché in ogni atto e quasi in ogni parola mettono sotto i piedi le loro leggi più sacre» (Schleiermacher 1984, pp. 195-196).

### 3. La cosiddetta “esperienza d'agosto”

Abbiamo visto che alla vigilia della guerra erano presenti nella cultura tedesca tutti gli ingredienti per un senso diffuso, radicato, di separatezza e di eccellenza rispetto alle altre culture nazionali. Il clima di guerra esploso nell'agosto del 1914 non fece che accentuare la percezione di una straordinaria superiorità “spirituale”.

*Erlebnis* era un termine in gran voga nella filosofia tedesca d'inizio Novecento; una possibile traduzione è “esperienza vissuta”, o più semplicemente “vissuto”. Questo termine è entrato nella storiografia come *Augusterlebnis*, il “vissuto d'agosto”, inteso come l'insieme di reazioni personali e di popolo di fronte alla dichiarazione di guerra e all'immediata mobilitazione di milioni di uomini. Viste le dimensioni capillari della

mobilitazione e i suoi effetti devastanti nella vita quotidiana delle famiglie non c'è dubbio che vi fu un "vissuto d'agosto" drammatico e di dimensioni di massa. Vi fu però un altro "vissuto", un *Augusterlebnis* pubblico fatto di grandi piazze riempite da folle attente, di viali in cui sfilavano studenti festanti, manifesti, fogli volanti e un diluvio di pubblicazioni. È difficile valutare quanto vi sia stato di organizzato e propagandistico, è tuttavia indubbio che la classe sociale cui appartenevano i 93 firmatari dell'*Appello* aderì *in toto* alle prospettive belliciste proclamate dal Kaiser.

In Fig. 2 sono riprese le immagini di due "pezzi" di propaganda di guerra, molto diversi fra loro e però saldamente uniti dalla comune citazione di una frase del Kaiser: «Non conosco più nessun partito, conosco solo dei tedeschi» (*Ich kenne keine Partei mehr, ich kenne nur noch Deutsche*). Il foglio «Kriegszeit. Künstlerflugblätter» («Tempo di guerra. Volantino d'artista») era una "creatura" di Paul Cassirer, grande collezionista d'arte e promotore da decenni della pittura d'avanguardia, dagli impressionisti francesi alla *Secession* viennese. Cassirer (nato nel 1871) aderì entusiasticamente alla guerra e si arruolò volontario, ma il servizio militare durò poco perché fu congedato in quanto ritenuto "inadatto". Al ritorno dal fronte si scoperse pacifista e passò non pochi guai con l'occhiuta polizia guglielmina. Il suo foglio consisteva di quattro facciate che riproducevano litografie degli artisti che lo stesso Cassirer aveva promosso nella sua galleria d'arte e sulle sue riviste. In Fig 2.1. è ripresa la prima pagina del primo numero di «Kriegszeit». La litografia è di Max Lieberman, noto pittore impressionista e di lì a poco firmatario dell'*Appello*. Il popolo berlinese è rappresentato come una massa compatta davanti al palazzo reale da cui si affaccia l'imperatore. Il manifesto di Fig. 2.2. vorrebbe invece rappresentare l'intero «popolo tedesco» osannante l'imperatore, ma a stento nella folla si riconoscono pochi proletari, che pure costituivano la stragrande maggioranza della popolazione.



**Fig. 2.** Sinistra: Prima pagina del foglio *Kriegszeit*, 31 agosto 1914. Destra: Manifesto celebrativo del *Burgfriede* (armistizio) parlamentare con l'opposizione socialdemocratica; Berlino, 1914

Le molte Università tedesche si svuotarono dei loro studenti, spinti ad andare in guerra non solo dal clima generale creatosi intorno alla poderosa mobilitazione militare, ma anche e forse ancor più per i discorsi fiammeggianti dei loro “maestri”. Fra breve vedremo cosa disse Max Planck, ma proprio per sottolineare che i discorsi del grande fisico non furono isolati possiamo riprendere alcune frasi pronunciate da Troeltsch il 2 agosto. Ad Heidelberg, Troeltsch aveva una doppia veste, accademica e politica: era professore di Teologia evangelica e rappresentante liberale della sua Università nel Consiglio comunale. Innanzi alla folla riunita in una “adunanza patriottica” proclama: «Da ieri siamo un popolo in armi», e «mentre tutti i nostri uomini, giovani e forti (*jugendkräftigen*), sono fino all’ultimo sul campo di battaglia», sente di dover dare il suo contributo: «Oh, potesse in questa ora l’oratore trasformare ogni parola in una baionetta, in un’arma, in un cannone!». E non manca l’appello alla mascolinità degli studenti e dei concittadini: «Con tutta la sua magia virile ed eroica (*männlich-heldischer*) risuona la parola d’ordine Alle armi, alle armi!» (Troeltsch 1914). A distanza di un secolo ci è facile condannare a livello etico il discorso bellicoso e sessista di Troeltsch, ma in questo caso la nostra critica può andare più in profondità. Il teologo si rammarica di non poter andare al fronte, ma in realtà l’età non era un ostacolo insormontabile. L’austriaco Eduard Buchner, premio Nobel per la chimica nel 1907, era nato nel 1860, e quindi aveva cinque anni di più di Troeltsch; questo non gli impedì di arruolarsi volontario e di morire nel 1917 sul fronte rumeno per ferite subite in azione.

Troeltsch e gli altri professori che gridavano “armiamoci e partite” avevano una sola scusante: la ventata di follia patriottica che aveva allucinato anche gli spiriti più critici. Ne vediamo due casi particolari.

### 3.1. Max Weber

Allo scoppio della guerra Max Weber è mobilitato come ufficiale della riserva, e diventa il responsabile amministrativo di un ospedale da campo nelle retrovie del fronte francese. Non è con lo sguardo lontano del sociologo o dell’economista che vede i corpi straziati dei feriti – tedeschi o francesi – che arrivano all’ospedale, e malgrado ciò il 28 agosto 1914, in una lettera a Karl Oldenberg, scrive che «questa guerra è grande e meravigliosa (*groß und wunderbar*)» (Weber 2003, p. 782). Dopo qualche settimana, il 15 ottobre 1914, in una lettera a Ferdinand Tönnies trapela la dolorosa gravità esistenziale del conflitto, e Weber – che ha tre fratelli al fronte – si scusa di non potervi partecipare direttamente:

Questa guerra con tutti i suoi orrori è malgrado tutto grande e meravigliosa (*groß und wunderbar*), vale la pena di viverla (*zu erleben*) – ancora di più varrebbe la pena di essere lì, ma purtroppo non mi si può impegnare sul campo come sarebbe stato se essa fosse stata tempestiva – 25 anni fa (Weber 2003, p. 799).

Il progredire atroce della guerra portò Weber su posizioni molto più caute, e ad avvicinarsi in modo dialettico al movimento pacifista.

### 3.2. Max Planck e il costo esistenziale della guerra

Nel 1914 Max Planck era al vertice della scienza tedesca e della stessa cultura del suo Paese, cultura intesa nel modo più ampio. Era infatti Rettore dell'Università di Berlino, Segretario permanente della Kaiser Wilhelm Gesellschaft e Presidente dell'Accademia Prussiana delle Scienze, ed in questa triplice veste l'anno precedente era riuscito a concludere positivamente la difficile manovra di "portare" nella capitale dell'Impero un fiero "antitedesco" come Albert Einstein. Planck intervenne pubblicamente subito dopo la dichiarazione di guerra il 1° agosto 1914, in occasione dell'anniversario della fondazione dell'Università di Berlino, e come molti altri colleghi anche lui assunse una posa bellicosa: «La Germania ha tratto la sua spada contro un campo fertile di insidiosa perfidia». Il suo discorso fu letteralmente incendiario:

Vediamo come ogni forza fisica e morale che la Nazione possa dire sua si riunisce con la velocità del fulmine e s'incendia in una fiamma di santa furia (*Flamme heligen Zornes*), sfolgorante fino al cielo (Planck 2013, p. 87).

Anche nella corrispondenza privata Planck si lasciava andare a frasi esaltate. Il 17 settembre 1914 scrive a Emma e Max Lenz: «In quale tempo glorioso stiamo vivendo. È una grande emozione potersi chiamare tedesco». L'8 novembre Planck scrive a Wilhelm Wien, premio Nobel per la fisica nel 1911, uomo di idee politiche fortemente conservatrici che non solo approvava in pieno la guerra, ma si dava da fare di persona per la mobilitazione degli scienziati (Wolff 2003). A questo interlocutore privilegiato Planck confidava una sua 'sorpresa' di fronte alla guerra: «Oltre a molto che è orribile, c'è anche molto che è inaspettatamente grande e bello: la facile soluzione dei più difficili problemi di politica interna per l'unificazione di tutti i partiti, [...] l'esaltazione di ogni cosa buona e nobile» (cit. da Heilbron 2000, p. 72). La "sorpresa" aveva anche ragioni strettamente familiari. Planck era «un uomo di quasi inumana determinazione» (Brown 2015, p. 80) e aveva avuto rapporti molto difficili con Karl, il figlio primogenito, di cui aveva pesantemente disapprovato l'incerta conduzione della vita e degli studi. Dall'inizio del conflitto Karl serviva il suo Paese in artiglieria; il nuovo ruolo aveva 'raddrizzato' il ragazzo, ovvero, come scrisse il padre, era «uno di quelli guariti dalla guerra» (Brown 2015, p. 87). L'immagine dei due figli Karl ed Erwin in divisa aveva riempito Planck di orgoglio paterno.

L'ombra luttuosa del conflitto mondiale non poteva non posarsi sopra i professori che pure avevano esaltato la guerra. Anche se non con la vita anch'essi pagarono spesso un costo personale altissimo. Max Planck perse il figlio Karl nel 1916 (a Verdun); il figlio Erwin, ufficiale di carriera sopravvisse al primo conflitto mondiale, ma non al secondo, morendo dopo mesi di interrogatori e di torture nel 1945, nelle mani della *Gestapo* per aver partecipato al fallito attentato contro Hitler. Anche Walter Nernst perse due figli: Rudolf nel 1914 e Gustav nel 1917, entrambi sul fronte occidentale. Il caso di Fritz Haber è il più noto, perché il suicidio della moglie Clara Immerwahr nel 1915 è ritenuto essere una conseguenza diretta della sua dedizione alla guerra con aggressivi chimici, e data la straordinaria personalità di Clara, pacifista e ottima chimica, il loro dramma è stato il tema di racconti, libri e spettacoli vari.

Max Weber perdette il fratello minore Karl ucciso nel novembre 1915. Karl Weber (n. 1870) era un architetto di fama e professore universitario. Marianne, la moglie di Max, annotò che Karl «era marziale di natura, e l'essere militare era nel suo sangue. Corse verso la sua morte intossicato di vitalità e di ideali». Il cognato di Weber, l'architetto Herman Schäfer fu ucciso sul fronte orientale, durante la battaglia di Tannenberg. Lili, la sorella di Max, non si riprese mai dalla morte del marito e si uccise il giorno di Pasqua del 1920, lasciando i suoi quattro figli in custodia a Max e Marianne (Isaacs 2006, p. 202). L'elenco dei lutti familiari patiti da chi fu «intossicato di ideali» potrebbe continuare, ma una maggiore quantità di dolore aggiungerebbe ben poco alla nostra valutazione esistenziale del costo della «santa furia» evocata da Planck.

#### 4. L'Appello e i suoi firmatari

Un commerciante di nome Erich Buchwald si era impressionato leggendo notizie sulla propaganda inglese nei paesi neutrali, e mise in moto una specie di effetto-farfalla culturale. Il 9 settembre 1914 Buchwald contattò lo scrittore Hermann Sudermann, che a sua volta si mise in contatto con Heinrich Löhlein, un ufficiale dell'Ufficio informazioni della Marina. All'Ufficio collaboravano per la propaganda di guerra: lo scrittore Ludwig Fulda, l'archeologo Theodor Wiegand, e l'autore teatrale Georg Reicke, sindaco di Berlino. Si decise di redigere un appello, il cui testo fu scritto da Ludwig Fulda, commediografo e poeta, riscritto da Hermann Sudermann, un drammaturgo tra i più popolari in Germania, e infine rivisto a tre mani da Fulda, Sudermann, e Reicke. Dopo qualche discussione fu deciso di escludere dall'appello imprenditori e politici. I residenti a Berlino furono contattati per telefono, ai non residenti il 19 settembre fu inviato un telegramma, firmato tra gli altri dal pittore Max Liebermann, dal premio Nobel Emil Fischer, e dal teologo Adolf von Harnack, grande consigliere di Guglielmo II nonché fondatore della *Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft*. Non è sicuro che persino tutti i firmatari del telegramma conoscessero il testo esatto dell'appello, e certo non lo conoscevano i destinatari del telegramma.

L'*Appello* fu pubblicato il 4 ottobre 1914, con un testo che scandiva per sei volte «*Es ist nicht wahr*», non è vero... Il primo e l'ultimo dei “non è vero” negavano le responsabilità della Germania rispetto allo scoppio della guerra e respingevano la pretesa degli avversari di combattere il militarismo tedesco e non la cultura tedesca. Queste erano questioni di opinione politica. Altri tre “non è vero” riguardavano l'illegalità dell'invasione del Belgio, Paese neutrale; le atrocità commesse in Belgio dall'esercito tedesco; il trattamento brutale della città di Lovanio. Questi “non è vero” erano insostenibili. È la sesta negazione, decisamente razzista, che pone i problemi più gravi al lettore odierno. È un razzismo che pone precise gerarchie. Serbi e russi sono posti su un gradino decisamente inferiore ai tedeschi, ma la colpa per cui Francia e Inghilterra non possono ergersi a difesa della civiltà europea è di «aizzare mongoli e negri contro la razza bianca» (*Mongolen und Neger auf die weiße Rasse zu hetzen*).

Per noi il tratto più importante dell'appello fu l'autorappresentazione di una *Kultur* assai composita per il diverso orientamento politico e religioso dei suoi firmatari. Da

questo punto di vista l'*Appello* corrispondeva al desiderio dell'Imperatore di veder superate tutte le divisioni ideali in nome della Nazione in guerra. Nell'ambito della storiografia della scienza l'attenzione si è rivolta solo agli scienziati il cui nome compare in calce all'*Appello*, e specialmente a Planck, Nernst e Haber. In realtà il drappello dei firmatari era formato da intellettuali attivi nei più diversi campi. È interessante riprendere la 'classificazione' di Hans Wehberg, un pacifista che nel 1920 contattò direttamente i firmatari per chiedere loro le ragioni dell'adesione. Wehberg conteggia 17 «artisti praticanti» (*ausübende Künstler*); 15 «scienziati» (*Naturwissenschaftler*); 12 «teologi» (*Theologen*); 9 «poeti» (*Dichter*); 7 «giuristi» (*Juristen*); 7 «medici» (*Mediziner*); 7 «storici» (*Historiker*); 5 «critici d'arte» (*Kunstschriftsteller*); 4 «filosofi» (*Philosophen*); 3 «musicisti» (*Musiker*); 2 «politici» (*Politiker*); 1 «uomo di teatro» (*Theatermann*) (Wehberg 1920). Questo elenco è utile per la nostra percezione della distanza che ci separa dalle categorie di pensiero di quei tempi. Wehberg include fra gli «artisti praticanti» Peter Behrens, architetto e designer; Franz v. Defregger, pittore; Wilhelm Dörpfeld, archeologo; Eduard v. Gebhardt, pittore; Adolf v. Hildebrand, scultore; Ludwig Hoffmann, architetto e urbanista; ecc. La categoria degli *ausübende Künstler* è quindi assai mista, e la sua unica giustificazione sembra essere quella di contrapporsi ai *Kunstschriftsteller*, gli scrittori di cose d'arte. Nella "classificazione" di Wehberg i due «politici» sono Georg Reicke e – più giustamente – Friedrich Naumann, il cui nome compare in calce all'appello senza indicare alcuna professione. In effetti la presenza di Naumann era significativa *solo* per i cittadini tedeschi interessati alla politica, in quanto Naumann a capo di un movimento cristiano-socialista era stato duramente avverso alle direttive del Kaiser. L'«uomo di teatro» era Max Reinhardt, di cui parleremo poco più avanti.

#### 4.1. Peter Behrens

La prima firma dell'*Appello* su cui ci soffermiamo è quella di Peter Behrens. Behrens aveva a lungo studiato pittura in varie Accademie tedesche, ma nel tempo i suoi interessi si erano concentrati sulla possibile bellezza delle 'cose' di uso comune. Questa attenzione alla realtà dei rapporti quotidiani avrebbe potuto portare ad un eclettismo stilistico, ma Behrens collocava gli oggetti progettuali nel contesto estetico (e ideologico) del *Gesamtkunstwerk* – l'opera d'arte totale. L'ideale della *Gesamtkunstwerk* può essere fatto risalire a Wagner, ed era stato esaltato dagli artisti della Secessione Viennese, tra cui il grande Gustav Klimt, artisti che disegnavano, progettavano, scolpivano, e decoravano per giungere ad una fusione delle varie arti. Behrens poté esercitare a pieno la sua vocazione trasformandosi da pittore in architetto, e accettando di partecipare al progetto del granduca Ernst Ludwig von Hessen di un insediamento di artisti a Darmstadt. Behrens costruì presso la 'colonia' di Darmstadt una propria abitazione diventata famosa come *Haus Behrens*, di cui progettò ogni elemento, da quelli strutturali a quelli decorativi, dall'arredamento alle suppellettili e le posate (Breysig 1901). Nel 1907 aderì al *Deutscher Werkbund* (Lega tedesca artigiani) fondato a Monaco di Baviera nel 1907 dall'architetto Hermann Muthesius, dall'imprenditore Karl Schmidt e dal pastore protestante e politico Friedrich Naumann. Di Neumann abbiamo accennato poco sopra, Karl

Schmidt era un maestro intagliatore diventato un importante imprenditore producendo mobilia “firmata” da noti artisti. Le finalità del *Deutscher Werkbund* erano culturali ed economiche: l’unione delle forze più avanzate dell’arte, dell’industria, dell’artigianato e del commercio aveva il compito di raccordare il mondo artistico con l’industria per metterla in grado di competere con gli Stati Uniti e l’Inghilterra.

Un’iniziativa come la “colonia” di artisti potrebbe rientrare in un mecenatismo eccentrico (la *Haus Behrens* costò una cifra enorme), ma certamente rese molto “visibile” il nostro architetto. Nello stesso 1907 della nascita del *Deutscher Werkbund* Behrens divenne “consigliere artistico” (*künstlerischen Beirat*) della AEG di Berlino. Nel nuovo contesto professionale all’interno di questa grande impresa, che operava per un mercato mondiale, Behrens trovò modo di esprimere la sua creatività improntando ad uno stile riconoscibile le produzioni della AEG, dalle teiere ai capannoni industriali. Come architetto Behrens era un autodidatta, ma la sua straordinaria forza innovativa è confermata dal fatto che nel suo studio lavorarono Walter Gropius, Ludwig Mies van der Rohe e Le Corbusier.

Per quanto riguarda l’attività professionale successiva al 1918 la partecipazione di Behrens all’Appello dei 93 non ebbe alcuna conseguenza. Nella più importante biografia di Behrens l’episodio non è nemmeno nominato (Anderson 2002).

#### 4.2. Max Reinhardt

Max Reinhardt, uno dei più grandi registi del Novecento, era nato a Baden, in Austria, da una famiglia di religione ebraica, appartenente all’alta borghesia austriaca; il suo vero nome era Maximilian Goldmann. Al momento della firma dell’*Aufruf* era direttore del *Deutsches Theater* di Berlino. Sotto la sua direzione erano state messe in scena produzioni spettacolari e di avanguardia, fra cui nel 1906 il dramma *Gespenster* (*Gli spetttri*) di Henrik Ibsen, con le scenografie del pittore norvegese Edvard Munch. Le produzioni curate da Reinhardt tendevano a realizzare sul palcoscenico l’ideale del *Gesamtkunstwerk*, spesso con grande successo internazionale. Nel 1911 andò in scena a Londra, al Covent Garden, *The Miracle*, un *misterium* medievale in versione moderna, e negli Stati Uniti si attese con ansia l’approdo del *Miracle* in un teatro di New York. Il testo di questa opera era di Karl Vollmöller, la musica di Engelbert Humperdinck, e la regia ovviamente di Max Reinhardt, tutti e tre firmatari dell’*Appello*. Nel 1914 la fama internazionale di Reinhardt fu consacrata da una monografia a lui dedicata dal critico inglese Huntly Carter. Nel volume le produzioni del regista tedesco erano documentate e analizzate nei dettagli della scenografia, dei movimenti di scena, dei costi. All’opera totale dell’artista Carter rispondeva con una “critica totale” (Carter 1914).<sup>3</sup>

Nel dopoguerra Reinhardt non subì nessun ostracismo artistico, anche perché già durante il conflitto aveva cominciato a promuovere una grande iniziativa culturale insieme con Richard Strauss e Hugo von Hofmannsthal. I tre grandi artisti austriaci – il

---

<sup>3</sup> Per noi il volume di Carter è uno splendido documento storico, che testimonia la vitalità della cultura tedesca ai tempi di Guglielmo II.

musicista, il poeta e il regista – diedero vita al Festival di Salisburgo. L'inaugurazione del primo Festival nel 1920 vide la rappresentazione di *Jederman*, un drammatico *mysterium* scritto da Hofmannsthal e messo in scena da Max Reinhardt.

Il «New York Times» del 23 novembre 1927 aveva un titolo che salutava Reinhardt come *Gran Capitano del Dramma*. All'Empire Theater di New York si era celebrato l'internazionalismo delle arti, e oratori che rappresentavano la Germania, l'Austria e gli Stati Uniti avevano espresso al grande regista la «gratitudine delle nazioni per ciò che aveva fatto come apostolo della pace». La fama oltre oceano facilitò l'esilio che Reinhardt, ebreo e oppositore del regime nazista, scelse come via d'uscita da una situazione insostenibile. Era l'ottobre del 1937. Qui possiamo ricordare che nello stesso anno 1937 Ludwig Fulda, ebreo e co-autore dell'*Appello*, non riuscì ad ottenere un visto per gli Stati Uniti e morì suicida, a 76 anni.

### 5. Oltre l'*Appello*: il caso della teologia

Quasi tutti gli intellettuali che firmarono l'*Aufruf* non subirono conseguenze “disciplinari”, nel senso di ripercussioni interne alla propria comunità di riferimento. Negli anni successivi alla fine della guerra i premi Nobel continuarono ad essere assegnati a scienziati tedeschi, primo fra tutti quello per la chimica assegnato nel 1918 a Fritz Haber, e da questi ricevuto nel 1919.<sup>4</sup> L'unica attività che in Germania dovette cambiare il proprio orizzonte di ricerca fu la teologia di marca liberale, quella che aveva come massimo e prestigioso esponente Adolf von Harnack. Il sommovimento fu provocato da Karl Barth, il teologo che abbiamo presentato nella sezione 1.2.

Qualche data ci permetterà di seguire il suo percorso nella *koiné* tedesca. Terminati gli studi e dopo qualche breve incarico pastorale dal 1911 al 1921 Barth è pastore di una parrocchia a Safenwil, una cittadina nel nord della Svizzera. La quotidianità vissuta con operai e contadini sfruttati e afflitti da una irrimediabile miseria fa avvicinare Barth al movimento socialista. Il giovane pastore confessa di studiare più i classici del marxismo e della sociologia che i testi di teologia. Nel 1913 si sposa con Nelly Hoffman e mette su famiglia. È in questo stato di grande attenzione alla questione sociale che legge l'*Aufruf* e scopre con orrore che tra le firme in calce al documento vi sono i nomi dei suoi maestri Adolf von Harnack e Wilhelm Herrmann. Vedremo fra un momento il tono etico del suo allontanamento da una dottrina teologica che non aveva impedito ai suoi assertori di appoggiare una guerra, la peggiore piaga dei popoli. Nel 1919 uscì la prima edizione della *Römerbrief* e nel 1922 la seconda edizione, che ebbe grande risonanza (anche polemica). Tra il 1922 e il 1935 è in cattedra a Göttingen, Münster e Bonn, ma nel 1934 è l'autore principale della Dichiarazione di Barmen che rivendica la totale indipendenza della chiesa evangelica dal potere nazista. È l'atto di fondazione della chiesa confessante (*Bekennende Kirche*). Nel 1935 Barth è rimosso dalla cattedra e come cittadino svizzero può tornare in patria, dove insegnerà dal 1935 al 1962 all'Università di Basilea.

<sup>4</sup> In nota si può ricordare che la forte, profonda amicizia fra il pacifista Einstein e il bellicoso Haber non fu alterata in nessun modo dalle responsabilità di Haber nella conduzione della guerra con gli aggressivi chimici.



La nuova teologia originatasi con la *Römerbrief* scalzò nel tempo la “teologia liberale” di Harnack, ma al di là delle motivazioni di fede e di dottrina Barth nel 1927 scrisse che «allo scoppio della guerra mondiale vi fu una svolta. Per me significò in concreto una duplice perdita di fiducia: in primo luogo nella dottrina di tutti i miei maestri teologi in Germania [...] e in secondo luogo nel socialismo» (cit. da Wolfes 1999, p. 18). Ancora più chiaro fu nel 1957. In una monografia sulla teologia evangelica dell'Ottocento trovò modo di rendere più espliciti i motivi del suo allontanamento dalla teologia liberale. Il «giorno nero» (*dies ater*) in cui lesse l'Appello dei «93 intellettuali tedeschi in appoggio alla politica di guerra dell'Imperatore» scoprì «con orrore che fra questi intellettuali vi erano quasi tutti i [suoi] venerati insegnanti di teologia». Le sue conclusioni furono radicali: «Avendo perso fiducia nel loro *ethos*, realizzai che non mi era più possibile seguire la loro etica e dogmatica, la loro interpretazione della Bibbia e della storia» (cit. da Siller 2009, p. 85). Il punto più importante per la nostra argomentazione è che Barth perse fiducia prima nell'*ethos* condiviso con i suoi maestri e poi, a cascata, nella loro etica e nel loro insegnamento.

## 6. Conclusioni

L'*ethos* di una comunità è una parte della produzione ideologica di una certa società, ed è l'espressione concreta, storicamente determinata, della posizione e dei compiti che una certa comunità intende assumere, in relazione alla società nel suo complesso e in vista del conseguimento di certi obiettivi comuni. Al di là di una adesione più o meno consapevole, i firmatari dell'*Aufruf* condividevano l'*ethos* di cui abbiamo descritto le principali componenti: l'ideale di una formazione autenticamente personale, la necessità di dare il meglio di sé alla propria comunità, e soprattutto il sentimento di appartenenza ad una particolare classe sociale: il *Bildungsbürgertum*, la borghesia colta. Nella sua “abiura” dalla teologia liberale Barth sottolineò che non era solo questione di etica ma principalmente di *ethos*.

Privo di potere sociale diretto il *Bildungsbürgertum* seguiva le sorti della classe dirigente, e nelle componenti più elevate entrava direttamente a farne parte. È evidente che, ad esempio, Planck e Harnack facevano parte della classe dirigente dell'Impero guglielmino. È su questo aspetto che si può fare ancora qualche riflessione conclusiva, utilizzando l'usuale distinzione fra *res gestae* e *historia rerum gestarum*. Sul piano degli eventi, le *res gestae*, gli scienziati tedeschi, e i loro oppositori inglesi e francesi, agirono secondo l'*ethos* condiviso con la classe dirigente di cui facevano parte. Si ha una forte riprova che anche gli scienziati alleati seguivano i dettami della propria classe dirigente nel successivo isolamento degli scienziati tedeschi. Il tentativo (fallito) di ghettilizzare la scienza tedesca sembra essere semplicemente un codicillo del Trattato di Versailles.

Sul piano della *historia rerum gestarum*, gli storici della scienza hanno in generale separato il comportamento degli scienziati firmatari dell'*Aufruf* da quello degli altri intellettuali. Così facendo hanno accettato/affermato una presunta “eccezionalità” so-

ciale dell'attività scientifica rispetto alle altre attività culturali. Probabilmente si tratta di una forma d'inavvertito *chauvinisme* disciplinare.

## Bibliografia

- Anderson S. (2002), *Peter Behrens and a New Architecture for the Twentieth Century*, Cambridge MA: MIT Press.
- Breysig K. (1901-1902). "Das Haus Peter Behrens - mit einem Versuch über Kunst und Leben". *Deutsche Kunst und Dekoration*, 9, pp. 136-150.
- Brown B.R. (2015). *Planck: Driven by Vision, Broken by War*. New York: Oxford University Press.
- Carter H. (1914). *The Theater of Max Reinhardt*. New York: Kennerley.
- Dumont L. (1994). *German Ideology: From France to Germany and Back*. Chicago: University of Chicago Press.
- Geuss R. (1996). "Kultur, Bildung, Geist". *History and Theory*, 35, pp. 151-164.
- Heilbron J.L. (2000). *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck and the Fortunes of German Science*. Harvard: Harvard University Press.
- Humboldt W. (1792). *Ideen zu einem Versuch, die Grenzen der Wirksamkeit des Staates zu bestimmen*. Berlin: Deutsche Bibliothek.
- Isaacs M. (2006), *Centennial Ruminations on Max Weber's the Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism*, Boca Raton, Universal-Publishers.
- Mann T. (1996). *Betrachtungen eines Unpolitischen*. Frankfurt am Main: Fischer.
- Mann T. (2005). *Considerazioni di un impolitico*. Milano: Adelphi.
- Planck M. (2013). *Vorträge Reden Erinnerungen*. Berlin: Springer.
- Schleiermacher F. (1984). *Schriften aus der Berliner Zeit, 1796-1799*. Berlin: Gruyter.
- Siller A. (2009). *Kirche für die Welt: Karl Barths Lehre vom prophetischen Amt Jesu Christi*. Zürich: Theologischer Verlag.
- Troeltsch E. (1914). *Nach Erklärung der Mobilmachung*. Heidelberg: Carl Winters.
- Troeltsch E. (1916). "Die deutsche Idee von der Freiheit". *Die Neue Rundschau*, 27, pp. 50-75.
- Ungern-Sternberg J., Ungern-Sternberg W. (2013). *Der Aufruf „An die Kulturwelt!“ Das Manifest der 93 und die Anfänge der Kriegspropaganda im Ersten Weltkrieg*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Weber M. (2003). *Briefe 1913-1914*. Tübingen: Mohr.
- Wehberg H. (1920). *Wider den Aufruf der 93! Das Ergebnis einer Rundfrage an die 93 Intellektuellen über die Kriegsschuld*. Charlottenburg: V. für Politik und Geschichte.
- Wolfes M. (1999). *Protestantische Theologie und moderne Welt: Studien zur Geschichte der Liberalen Theologie Nach 1918*. Berlin: de Gruyter.
- Wolff S.L. (2003). "Physicists in the Krieg der Geister: Wilhelm Wien's 'Proclamation'". *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 33, pp. 337-368.

# La ricerca dalla guerra alla pace

Sandra Lingueri - Università di Bologna; Museo storico della Fisica  
& Centro Studi e Ricerche “Enrico Fermi”, Roma - sandra.lingueri@unibo.it

*Abstract:* The mathematician Vito Volterra fervently served his country, first in a military capacity during World War I, founding the Italian Association for Intellectual Entente among allied nations and their sympathisers in 1916, the Office of Inventions in 1917 (renamed Office of Inventions and Research in 1918), and then in an institutional capacity, founding the Italian National Research Council in 1923. The key to understanding these entities lies first in the pre-war international movement represented by the *International Association of Academies* (1899-1913); then in the mobilisation of scientific forces during the Great war, and then in the context of post-war international scientific collaboration, as well as the institutions being set up in other countries to organise scientific research and experimentation.

*Keywords:* International Scientific Community, WWI, Vito Volterra

## 1. L'internazionalizzazione: dall'Associazione internazionale delle Accademia alle Leghe e al Parlamento Interalleato

Nei mesi precedenti la fine della prima guerra mondiale furono gettate le basi per la creazione dell'*International Research Council* (IRC), sorto ufficialmente a Bruxelles nel 1919 come centro di coordinamento delle attività scientifiche e tecnologiche per i Paesi dell'Intesa (Francia, Gran Bretagna, Italia e Stati Uniti) grazie a un gruppo di scienziati che avevano partecipato allo sforzo bellico dei rispettivi Paesi. Erano i cosiddetti *big five*: l'astronomo inglese Arthur Schuster, l'astronomo belga Georges Lecointe e quello americano George Ellery Hale (Kevles 1968; Wright *et al.* 1972; Wright 1994), il matematico francese Émile Picard e l'italiano Vito Volterra, fisico-matematico di fama mondiale e protagonista della politica scientifica dell'Italia liberale (Paoloni 1990; Lingueri 2005; Goodstein 2007; Guerraggio, Paoloni 2008).

Rispetto ai precedenti organismi internazionali l'IRC (Kevles 1971; Cock 1983; Crawford 1992) presentava aspetti inediti: 1) recuperava la collaborazione scientifica sovranazionale nel campo della ricerca disciplinare antecedente il conflitto, ma con un chiaro intento punitivo ne escludeva la Germania, che fu ammessa solo nel 1926; 2) promuoveva la costituzione di alcune grandi strutture finalizzate al coordinamento delle indagini scientifiche su base nazionale; 3) riconosceva una responsabilità dei governi nei confronti degli studi a carattere tecnico-industriale, che dovevano essere sostenuti mediante la creazione di laboratori centralizzati di scienza sperimentale.

La particolare composizione dell'IRC rispecchiava ciascuno di tali aspetti. Era, infatti, articolato in una serie di unioni internazionali, una per ogni materia scientifica, cui corrispondevano, a livello dei Paesi membri, delle unioni o comitati nazionali riuniti in un unico organismo (i Consigli delle Ricerche), i quali a loro volta aderivano all'IRC, chiudendo così il cerchio.

Questo modello affondava le proprie radici nei mutamenti prodotti dal conflitto il più importante dei quali riguardò la fine del cosmopolitismo scientifico prebellico e la conseguente dissoluzione dell'Associazione Internazionale delle Accademie (AIA) (Eijkman, Reinsch 1911; Lyons 1963; Salomon 1965; von Gizycki 1973; Simili 2015). Quest'ultima era nata da una iniziativa delle accademie di lingua tedesca di Gottinga, Lipsia, Monaco e Vienna, le quali, nel 1893, avevano creato una struttura, chiamata *Kartell* (cartello), allo scopo di facilitare i reciproci contatti in vista di lavori comuni.

Fin da subito, *Kartell* cercò di coinvolgere altri sodalizi. Fu così che, nell'ottobre del 1899, quando si tenne a Wiesbaden l'assemblea preparatoria dell'AIA, avevano aderito le accademie di Berlino, Gottinga, Lipsia, Londra, Monaco, Parigi, San Pietroburgo, Roma, Vienna, Washington. La prima riunione ufficiale dell'AIA si tenne a Parigi nel 1901; seguirono Londra (1904), Vienna (1907), Roma (1910), San Pietroburgo (1913). Nel corso di quelle sedute, tra i delegati delle accademie nazionali, troviamo i nomi di Schuster, *Fellow* della *Royal Society* (RS); Picard, segretario dell'Accademia delle Scienze francese (AS); Hale, delegato della *National Academy of Sciences* (NAS); Lecointe, direttore dell'Osservatorio astronomico del Belgio; Volterra, rappresentante dell'Accademia Nazionale dei Lincei, ossia dei protagonisti della fondazione del futuro IRC.

Nel 1914 l'organizzazione dell'AIA e dei suoi raduni sarebbe passata nelle mani dell'Accademia di Berlino, ma lo scoppio della guerra rimandò le riunioni *sine die*, quantunque l'AIA non fu formalmente sciolta.

In poco più di un decennio di vita l'AIA riuscì a realizzare alcune imprese culturali di valore (edizione completa delle opere di Leibniz, edizione critica del Mahabrârata); e, tuttavia, la sua attività scontava una duplice difficoltà: come organismo privato, senza una personalità giuridica e un bureau permanente, aveva problemi nell'instaurare rapporti formali con i governi; inoltre, rispecchiando lo spettro delle iniziative delle singole accademie, non promuoveva direttamente studi di natura sperimentale.

Sotto questo profilo, un certo riequilibrio veniva dalle molte commissioni specialistiche e dagli svariati organismi che collaboravano con l'AIA su talune questioni specifiche di natura tecnico-scientifica: l'*Institut International de Statistique* (1887), la *Commission Permanente des Congrès Internationaux de Chimie Appliquée* (1894); il *Catalogue scientifique international* (1896); l'*Institut Marey* (1898), il *Comité central pour les Recherches sur le Cerveau* (1903), l'*Union internationale des Recherches Solaires* (1904); l'*Institut International d'Agriculture* (1905), il *Comité Météorologique International* (1907), l'*Association Internationale du Froid* (1908).

Si trattava di organismi che spiccavano sia per l'autorevolezza dei membri che ne facevano parte; sia per l'attenzione dedicata alle scienze applicate, ai laboratori sperimentali, alla tecnologia; sia, in taluni casi, per la loro particolare configurazione istituzionale, tipo il *Bureau des poids et des mesures* (BIPM).

Quest'ultimo, fondato nel 1875 a Sèvres (Parigi), a seguito di un trattato diplomatico, con il compito di elaborare le unità di misura fondamentali della lunghezza e della massa, vanterà nel tempo un impegno di tutto rispetto nel sollecitare lo sviluppo tecnologico soprattutto nel settore elettrico, in quello ottico e nel campo delle telecomunicazioni.

Sotto questo profilo, fu determinante l'ingresso nel BIPM di alcuni laboratori nazionali come il *Physikalisch Technische Reichsanstalt* (PTR) a Charlottenburg, il *National Physical Laboratory* (NPL) a Teddington (Londra), il *Bureau of Standards* (BS) a Washington D.C., creati rispettivamente nel 1887, nel 1899 e nel 1901. Noti come i *Three Grand Laboratories*, essi furono in grado di assolvere un duplice compito grazie al sostegno dei rispettivi governi: per un verso procurare standard fisici e metodi affidabili tali da testare gli strumenti scientifici, per l'altro portare avanti indagini fisico-chimiche originali, sia nel campo della ricerca fondamentale, sia in quello applicato alle industrie.

L'Italia, sin dall'inizio, era stata ben rappresentata all'interno del BIPM (Quinn 2011). In particolare, il celebre fisico Pietro Blaserna (Focaccia 2016) aveva ricoperto la carica di segretario del Comité International des Poids et Mesures dal 1901 al 1918; mentre Volterra ne sarà il presidente dal 1921 al 1940. Inoltre, sul fronte nazionale, la coppia Blaserna/Volterra avevano iniziato un fecondo sodalizio in seno all'Accademia Nazionale dei Lincei (Blaserna ne fu il presidente dal 1906 al 1916 e Volterra amministratore; indi vicepresidente dal 1920 al 1923 e poi presidente dal 1923 al 1926) (Linguerrì 2012; Simili 2012; Paoloni, Simili 2004), la quale – come si è detto – aderiva all'AIA.

Infine, entrambi avevano presente l'importanza dei laboratori e della ricerca sperimentale, la cui situazione era, in Italia, particolarmente difficile (Simili 1988). Sebbene di buon livello, gli uffici tecnico-scientifici della pubblica amministrazione erano finalizzati per lo più ai controlli dei materiali e dei processi produttivi (Paoloni 2000); mentre i laboratori universitari erano tanti e senza una dotazione finanziaria adeguata. Poche le eccezioni: degno di nota era l'Istituto fisico di Roma diretto da Blaserna (Focaccia 2014a; 2014b), dove Volterra fu chiamato nel 1900 sulla cattedra di Fisica matematica.

La situazione italiana era ben nota a Volterra il quale, forte delle sue esperienze internazionali aveva verificato la relazione esistente fra le strutture organizzative del mondo scientifico tedesco e anglosassone e l'avanzamento della ricerca scientifica e tecnologica di quei Paesi. Nel 1901 visitò Londra e Cambridge, nel 1902 Berlino, indi Danimarca, Svezia e Norvegia. Nel 1904 Volterra ispezionò, su mandato del governo italiano, i migliori politecnici tedeschi e specialmente il PTR, in vista della creazione del Politecnico di Torino (1906). Sempre nel 1904, in occasione di una sua visita in Inghilterra, restò favorevolmente colpito dal NPL tanto che, ancora nel 1924, lo indicava come modello per il laboratorio nazionale che sperava di inaugurare entro il Consiglio nazionale delle ricerche italiano (CNR).

Volterra era però attratto soprattutto dallo sviluppo in corso negli Stati Uniti, dove la cooperazione fra ricerca e industria non era assicurata (come in Germania) dall'intervento statale, bensì da una forte sinergia tra la comunità scientifica, le singole università, i dirigenti industriali e il mondo politico (Paoloni 2009; 2015).

L'amicizia con Hale, che dal 1907 era uno dei leader della comunità scientifica americana e che Volterra incontrò personalmente a Roma nel giugno 1909 durante una delle tante riunioni del comitato direttivo dell'AIA, fu certamente d'ispirazione per una

visione della ricerca moderna e innovativa. Nel 1911, proprio per iniziativa di Hale, Volterra fu chiamato a far parte della National Academy of Sciences di Washington; mentre l'anno seguente Volterra si recò per la seconda volta negli Stati Uniti (la prima era stata nel 1909) dove, incontrato nuovamente Hale, rafforzò ulteriormente l'intesa con il collega americano su questioni di politica della ricerca.

Nel caso di Hale, il rilancio di una scienza al servizio del paese coincise, anni dopo, durante la prima guerra mondiale, con la creazione del *National Research Council* (NRC), come emanazione della citata National Academy of Sciences.

La sua idea, a proposito del NRC, era quella di creare uno strumento tecnico-militare di difesa del proprio paese, come effettivamente fu all'entrata in guerra degli USA nell'aprile 1917, e, nel contempo, un organismo permanente di promozione e coordinazione della ricerca non solo in patria, bensì entro una rete internazionale che, visto il periodo, in un primo momento non avrebbe potuto che comprendere gli alleati e in seguito essere allargata a tutte le altre nazioni.

Anche Volterra, contrario alla neutralità proclamata dal governo italiano nel 1914, si era battuto per l'intervento a fianco della Francia e della Gran Bretagna (Mazliak, Tazzioli 2009). Quando poi l'Italia dichiarò guerra all'Austria-Ungheria nel maggio 1915, egli si arruolò come volontario nel Genio Aeronautico e fu destinato all'Istituto centrale aeronautico, che rappresentava all'epoca una struttura di spicco nel campo della ricerca applicata a fini militari e che lui stesso aveva contribuito a fondare nel 1908. In tale veste, Volterra si occupò attivamente di ricerca militare specialmente nel campo della balistica aerea, nel settore della fonotelemetria e dell'individuazione sonora dei sommergibili mediante apparecchiature idrofoniche o ultrasoniche (Linguerra 2014).<sup>1</sup>

Il suo maggiore contributo fu però di tipo organizzativo e istituzionale. Fu subito tra i protagonisti della cooperazione interalleata in campo culturale e in ambito tecnico-scientifico (Linguerra 2015); la sua posizione nella comunità scientifica italiana e la sua vasta e articolata rete di rapporti internazionali (Paoloni, Simili 2008) lo rendevano, infatti, un referente naturale per le autorità governative e militari in questi settori.

Nel luglio 1916, presso l'ateneo di Roma, egli istituì l'Associazione italiana per l'Intesa intellettuale fra paesi alleati e amici (AIIIPAA), con il compito di arginare e controbilanciare il predominio che la Germania vantava in campo culturale. Fra gli obiettivi dell'Associazione vi era quello di rafforzare l'editoria e la diffusione del libro italiano; di difendere la proprietà intellettuale; di incoraggiare l'apprendimento della lingua italiana fuori dei confini nazionali; di promuovere scambi sistematici di professori e allievi fra le Università delle nazioni alleate, mediante un efficace programma di borse di studio; di armonizzare i programmi d'insegnamento con le università straniere, stabilendo l'equipollenza dei corsi e dei titoli di studio.

L'AIIIPAA era di natura privata e, tuttavia, aveva una sponda nel governo presso il quale l'Associazione agiva per raggiungere i suoi fini, tant'è che tra i promotori c'erano uomini politici di spicco come i senatori Vittorio Scialoja, ministro per la Propaganda di guerra (1916-1917) (Tosi 1977) e poi degli Esteri (1919-1920); Maggiorino Ferraris, già titolare del Dicastero delle Poste e Telegrafi (1893-1896); il deputato Antonio De

---

<sup>1</sup> Sull'impegno bellico degli scienziati italiani si vedano (Battimelli 2015; Guerraggio 2015a; 2015b).

Viti De Marco, membro della Direzione centrale di statistica del Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio; Bonaldo Stringher, direttore generale della Banca d'Italia.

L'Associazione, di cui facevano parte intellettuali provenienti sia dalle aree umanistiche sia da quelle scientifiche, s'inseriva all'interno di un vasto movimento di leghe intellettuali, alcune delle quali preesistenti il conflitto; leghe che durante la guerra furono utilizzate in funzione antitedesca.

Nel 1912 era sorto il *Comité France-Italie* con lo scopo di indebolire la pressione tedesca sulla Francia staccando l'Italia dall'alleanza con le potenze centrali. L'omologo italiano era rappresentato dal Comitato Italia-Francia, creato nel marzo del 1913 grazie al pluriministro e già Presidente del Consiglio, Luigi Luzzatti.<sup>2</sup>

Naturalmente, Volterra aderiva o aveva promosso alcune di tali alleanze intellettuali, che integravano l'azione già esercitata da quella Italo-Francese. Nel novembre 1914 si era, infatti, aggiunta la Lega Italo-Britannica, presieduta da Antonio De Viti De Marco (1915). In parallelo, fu costituita a Londra la *British-Italian League*, sebbene la raccolta delle adesioni fosse difficile da parte britannica, restia a fidarsi della neutrale Italia. Alla fine prevalsero, però, sentimenti di simpatia per il nostro paese, e nel dicembre del 1915 la Lega Italo-Britannica debuttava ufficialmente a Roma.

Pochi mesi prima, in settembre, Volterra si trovava a Cernobbio a un convegno Italo-Francese dedicato prevalentemente a questioni economiche e finanziarie, ma con una sezione espressamente riservata alla formazione, all'insegnamento superiore e alle relazioni intellettuali fra i paesi alleati. Il Governo francese, in quell'occasione, si era assunto l'impegno di favorire un'efficace intesa culturale tra Francia e Italia mediante una serie d'interventi che prefigurano la futura AIIPAA.<sup>3</sup>

Nel 1916 il panorama si arricchì grazie all'*Union intellectuelle franco-italienne*, promossa da Henri Hauvette, giornalista e docente di lingua e letteratura italiana alla Sorbona, e al *Comité du Livre* sorto grazie all'azione di Gaston Maspero, celebre egittologo, del matematico Emile Picard e, ancora una volta, con il supporto decisivo di Volterra.

Anche la stampa periodica dava il suo contributo: nel gennaio 1916, per esempio, usciva la *Revue des nations latines* in doppia edizione, a Parigi e a Firenze, riscuotendo l'immediato apprezzamento di Volterra.

Nel corso della guerra, il tema della fratellanza franco-italiana e il mito della latinità furono ampiamente usati, da un lato, per difendere – non senza retorica – i valori della cultura democratica contro il militarismo prussiano; dall'altro, per dare forza a un'ipotesi di unione latina da trasformare, nel tempo, in una federazione delle nazioni alleate, ovvero una quadruplici intesa tra Francia, Italia, Gran Bretagna e Russia. Ma c'era di più, tant'è che iniziarono a circolare ipotesi ardite su una vera e propria federa-

<sup>2</sup> Archivio Luigi Luzzatti, sezione 2: Atti, Rapporti internazionali, b. 158, sottofascicolo 3 «Comitato Italia-Francia», Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti (Venezia).

<sup>3</sup> Si veda Chiarappa M.A., *Per l'Intesa intellettuale dei paesi latini, la questione del libro, la diffusione della lingua italiana all'estero, l'unificazione del diritto privato. Nostra intervista con il Sen. Prof. Volterra*, Roma 22 gennaio 1917, Cartella XV/1, «Intesa intellettuale», foglio dattiloscritto, Archivio Volterra (AV), Biblioteca dell'Accademia Nazionale dei Lincei e Corsiniana.

zione dei popoli europei (Giuntella 2001). Non a caso le *Alliances e Amitiés* si erano progressivamente ampliate alla Spagna e alla Romania, spianando così la strada a intese più larghe, ma sempre limitate ai paesi alleati ed amici.

Cresceva intanto la convinzione che l'entrata in guerra degli Stati Uniti fosse ineluttabile. Dopo l'affondamento del *Lusitania* (7 maggio 1915), parte della classe dirigente americana aveva cominciato a fare pressioni perché venissero prese le necessarie contromisure. Dopo che il *Sussex* fu silurato (24 marzo 1916) Hale presentò al presidente Wilson una proposta di collaborazione fra scienziati, industriali e militari che – come si è detto – sfociò nel giugno 1916 nella costituzione del NRC.

Sempre nel 1916, in dicembre, a Chicago, in occasione di un congresso degli insegnanti di lingue moderne, furono gettate le basi dell'Intesa culturale Italo-Americana su proposta di Antonio Marinoni, professore di lingue romanze all'Università dell'Arkansas e convinto sostenitore di un movimento pro cultura italiana e a favore di un'intesa intellettuale fra Italia e Usa. Questa ennesima Intesa – che in Italia era sponsorizzata dalla rivista «Nuova antologia», diretta da Maggiorino Ferraris, e negli Stati Uniti dal «Caroccio. Rivista di coltura, propaganda e difesa italiana in America» retta da Agostino De Biasi – fu salutata con grande favore. Subito si concordò una comune azione tra Roma, sede dell'AIIPAA, e Chicago, ove l'Intesa culturale Italo-Americana aveva il proprio quartier generale (Wilkins 1917).

Volterra non sembrava aspettare altro: già nel dicembre 1914, rispondendo affermativamente all'invito di De Viti De Marco per la costituzione della citata Lega Italo-britannica, aveva scritto: «Approvo pienamente una lega di intellettuali italiani con intellettuali delle potenze della Triplice Intesa che mi piacerebbe estesa non agli inglesi soltanto».<sup>4</sup>

Del resto, l'AIIPAA era un canale importante attraverso il quale le varie leghe cercavano di realizzare quell'interscambio culturale necessario alla promozione di una «alleanza morale» fra nazioni, ritenuta al di sopra della stessa alleanza bellica ed economica, poiché era su di essa che si doveva fare leva per preparare le future relazioni internazionali.

Ora, questa alleanza per essere concreta richiedeva un mutamento nella legislazione dei singoli paesi in materia di organizzazione del mondo scientifico, scolastico ed editoriale, da estendere, poi, ad altri campi della disciplina giuridica in relazione, per esempio, alla normativa civile e commerciale.

Non a caso, la stessa AIIPAAA si proponeva di «promuovere opere comuni nel campo delle scienze e delle pratiche applicazioni, specialmente nel campo legislativo per riguardo al diritto privato».<sup>5</sup>

E qui interveniva un ulteriore soggetto istituzionale: il Parlamento Interalleato (Ravà 1917). Quest'ultimo aveva avuto origine nel novembre 1915 su impulso di Enrico Franklin Bouillon, esponente del partito radicale francese e ben introdotto nell'ambiente politico inglese, allo scopo di coordinare l'azione parlamentare degli al-

<sup>4</sup> La minuta è riprodotta in (Paoloni 1990, Fig. IV.3).

<sup>5</sup> AIIPAA, Consiglio di Presidenza, verbale della seduta dell'11 luglio 1916, cartella XV/1 «Intesa intellettuale», AV



leati su questioni militari, economiche, finanziarie, coloniali e culturali. Era composto da senatori e deputati dei singoli parlamenti per un totale di 25 membri per ogni nazione, fra i quali alcuni grandi nomi della politica, dell'economia, dei vertici militari e della cultura; era *super partes* rispetto ai vari partiti politici che vi dovevano essere rappresentati proporzionalmente. Si riuniva trimestralmente in una delle capitali dell'Intesa, almeno sulla carta; in realtà gli incontri furono molto più radi.

Tutte le proposte discusse durante le riunioni del parlamento interalleato dovevano poi essere portate ai rispettivi parlamenti nazionali in modo che essi potessero legiferare al riguardo. Per tale ragione, il Parlamento interalleato si dotò di un *Bulletin des informations parlementaires* che, uscito nel 1917, informava di quanto si stava facendo presso le singole assemblee legislative, fatta eccezione, ovviamente, per le notizie riguardanti la sicurezza nazionale.

La delegazione italiana, costituitasi nel maggio 1916, era presieduta da Luzzatti; vicepresidenti, Maggiorino Ferraris, il deputato Luigi Rava e, naturalmente, il senatore Volterra. Fu lui, durante i colloqui svoltisi a Roma in un'aula di Montecitorio dal 23 al 26 febbraio, a presentare con Théodore Steeg – all'epoca titolare del Dicastero dell'*Instruction publique et des Beaux-arts* – un voto, approvato all'unanimità, che prevedeva di armonizzare i programmi d'insegnamento delle scuole italiane e francesi, stabilendo l'equipollenza dei corsi e dei titoli d'istruzione, di moltiplicare le borse di studio per l'estero, di rendere obbligatorio l'insegnamento delle due lingue negli istituti dei rispettivi paesi (Volterra, Steeg 1917), secondo gli obiettivi che si era data l'AIIPAA.

Rispetto a questo fervore ci furono anche voci negative come quella di Benedetto Croce il quale, in un articolo apparso su «La Critica» fin da gennaio 1917, argomentava contro queste «Società, Istituti, Alliances e Amitiés», che – a suo dire – erano solo pretesti per una penetrazione politica che non solo faceva leva su idee di «affinità di razza, derivazione, o storia» inconsistenti sul piano scientifico, ma rappresentavano «un rozzo attentato all'indipendenza delle scienze» da parte di «pochi individui che si arrogano di rappresentare il pensiero, la scienza, la letteratura nazionali» (Croce 1917).

Nonostante queste riserve la cooperazione attraverso patti nazionali bi- o trilaterali decollò come si evince dagli indici della rivista «L'Intesa intellettuale», organo dell'omonima associazione.<sup>6</sup> Uscito in due volumi tra il 1918 e il 1919, il periodico riservò grande attenzione all'organizzazione legislativa del mondo scientifico e accademico, tanto in Italia, quanto all'estero.

Pietro Bonfante riferiva sull'iniziativa dell'AIIPAA in favore dell'istituzione di lauree speciali per stranieri previste da un decreto promulgato il 28 ottobre 1917. Un articolo dedicato alla disciplina giuridica del mondo scolastico inglese fu dato alle stampe dal direttore della rivista Andrea Galante. In maniera analoga, Louis Duchesne ricostruiva *La transformation de l'enseignement supérieur en France (1868-1914)*; mentre Guido Castelnuovo e Gino Pariente riflettevano sulla formazione degli ingegneri negli istituti tecnici e nelle università in due saggi dal titolo *La riforma delle scuole degli ingegneri in Francia e Le principali scuole d'ingegneria mineraria all'estero*.

---

<sup>6</sup> Gli indici e una selezione di articoli, compresi quelli citati di seguito, sono riprodotti in (Furiozzi 2013).

I giuristi Vittorio Scialoja e Alfredo Ascoli si soffermavano sull'opportunità di unificare la normativa civile e commerciale in vigore in Francia e Italia, attraverso l'azione di due ennesimi comitati: il Comitato italiano per un'alleanza legislativa tra le nazioni amiche, sorto a Milano nel novembre del 1916 e diretto dallo stesso Scialoja; il *Comité français pour l'union législative entre les nations alliées et amies*, inaugurato a Parigi alla fine del 1918 da Ferdinand Larnaude, decano della Facoltà di diritto.

«L'Intesa intellettuale» riservò grande attenzione pure ai centri di studio italiani all'estero, come l'Istituto di cultura italiana fondato a Parigi dal filologo Paolo Savy-Lopez, e alle analoghe scuole istituite dagli stranieri nel nostro paese: l'Istituto Britannico di Firenze sorto per opera di Algar Thorold, capo della *British War Mission* (Ufficio di propaganda britannica in Italia), con il significativo supporto del *Ministry of Information* di Londra, e con l'aiuto delle Università di Oxford e di Cambridge; la Scuola Britannica a Roma, attiva dal 1901 e accuratamente descritta dalla sua vice-direttrice Eugénie Strong; i Collegi di Spagna e di Fiandra a Bologna su cui si soffermava Pier Silverio Leicht, storico del diritto nonché uomo politico.

Gli articoli di Ferdinando Lori, Francesco Porro e Giovanni Malfitano, rispettivamente su gli scambi intellettuali con la Gran Bretagna, i paesi dell'America Latina e le relazioni culturali di Francia e Italia con l'Unione Russa, si collocavano invece nella prospettiva di consolidare o ampliare i legami con gli alleati europei e americani.

## 2. Un nuovo strumento di cooperazione: il Consiglio internazionale delle ricerche

Rispetto al passato, l'idea di cooperazione si realizzava ora mediante patti nazionali bi o trilaterali che distinguevano nettamente tra paesi alleati e nemici. La lacerazione della comunità scientifica in due fronti irrimediabilmente ostili era ancora più evidente nel settore della cooperazione scientifica e tecnica, ove vigevo il segreto militare (Aubin, Goldestein 2014).

Il bisogno di un maggiore scambio d'informazioni sul supporto tecnologico che ogni nazione dava allo sforzo militare portò alla creazione del *Comité Interalliés des Inventions* (CIDI) sorto a Parigi alla fine del 1915, grazie all'azione congiunta del matematico Paul Painlevé, ministro dell'Istruzione francese, e dell'inglese David Lloyd George, ministro delle Munizioni (Schroeder-Gudehus 1976).

Compito del CIDI era quello di coordinare a livello interalleato quel bagaglio di conoscenze scientifiche e tecniche che, in ogni singola nazione, scaturiva dalla collaborazione fra scienziati, militari e industriali; una collaborazione non più estemporanea, come in passato, ma razionalizzata e incentivata attraverso organismi governativi di nuova concezione.

Nel luglio 1915, in Inghilterra, nacquero il *Board of Invention and Research* (BIR) e il *Munitions Invention Department* (MID), rispettivamente rivolti alla guerra per mare e per terra (Hartcup 1988; Barrett 2015). In Francia, nel novembre dello stesso anno, fu istituita da Painlevé la *Direction des Inventions intéressant la défense nationale* (DIIDN), la quale, a differenza della precedente *Commission supérieure des inventions intéressant la défense nationale*, che esisteva fin dal 1887, non si limitava a trasmettere

alle forze armate le idee di inventori isolati, ma poteva utilizzare i laboratori universitari e le competenze degli scienziati per proporre e testare invenzioni utili alla guerra. La direzione di questo nuovo servizio fu affidata al matematico Emile Borel, amico di vecchia data del collega Volterra (Tazzioli 2015). Nel 1916, questa maggiore integrazione tra la compagine scientifica, i vertici militari, il management industriale e la classe politica, acquisiva ancor più slancio grazie alla formazione, in Inghilterra, del *Department of Scientific and Industrial Research* e, soprattutto, del NRC voluto negli USA da Hale.

Anche in Italia, dopo alcune iniziative private sfociate nella nascita a Milano del Comitato nazionale di esame delle invenzioni attinenti ai materiali di guerra (CNIG) e del Comitato nazionale scientifico tecnico per lo sviluppo e l'incremento dell'industria italiana (CNST), si imboccò la strada della mobilitazione nazionale sorretta dal governo. Volterra ne fu il protagonista indiscusso.

Il 16 marzo 1917 nasceva, presso il Sottosegretariato per le Armi e Munizioni guidato da Alfredo Dallolio, l'Ufficio invenzioni (UI) (Tomassini 1991; Venturini 1991; Maiocchi 2000; Simili, Lingueri 2000; Tomassini 2001; Tomassini 2011; Simili 2013), su progetto di Volterra, il quale ne divenne il direttore.

La spinta decisiva per concepire in modo più organico e dinamico i rapporti tra scienza, industria ed esercito, arrivava dalla Francia e in particolare da Borel. Un suo viaggio a Roma nell'ottobre del 1916, intrapreso su richiesta di Painlevé, e la visita ricambiata di Volterra a Parigi furono decisive per la nascita dell'UI.

Il primo passo del nuovo Ufficio consistette nel razionalizzare l'attività di esame delle invenzioni – allora frammentata tra i vari dicasteri militari e, di conseguenza, nella creazione di un archivio che le raccogliesse e le classificasse. A tale compito fu destinato, entro l'UI, un Servizio tecnico, suddiviso in rami (marina, artiglieria, genio e aeronautica) e composto da militari di carriera; viceversa, dirigeva l'archivio il matematico Giovanni Vacca, al quale fu affidato lo spoglio delle riviste tecniche italiane e straniere.

Il fine ultimo dell'UI era, però, quello di valersi della cooperazione del personale degli istituti scientifici universitari e dei politecnici per avviare un'attività di ricerca vera e propria, finalizzata, nell'immediato, allo sforzo bellico e, nel dopoguerra, ai bisogni dell'industria e dell'economia del paese. Funzionale a questo obiettivo fu l'immissione nell'organico dell'UI di alcuni esperti, che avevano accolto il tempestivo appello lanciato da Volterra il 27 marzo 1917, tramite il Ministro della Pubblica Istruzione Francesco Ruffini, affinché il mondo della scuola si mobilitasse per la patria. L'ente poteva così contare pure su un Servizio scientifico che, arricchitosi di svariati collaboratori tra cui alcuni illustri scienziati – come i fisici Orso Mario Corbino, Antonino Lo Surdo, Giuseppe Occhialini, Marconi; oppure il chimico Raffaele Nasini, o il geologo Federico Millosevich – condusse ricerche di fisica, chimica, mineralogia, radiotelegrafia, meccanica, resistenza dei materiali, fisiologia.

E, tuttavia, ciò non bastava a Volterra che pensava in grande: l'Ufficio si doveva, infatti, trasformare in un organo permanente di consulenza scientifica e industriale a beneficio del governo e in grado di svolgere ricerca in proprio, anziché appoggiarsi di volta in volta a laboratori esterni con le inevitabili difficoltà operative che ne penalizzavano l'efficienza. Solo così si sarebbe potuto capitalizzare i risultati ottenuti in vista

del dopoguerra. Il cambiamento fu formalizzato il 24 febbraio 1918 quando l'UI mutò nome in Ufficio invenzioni e ricerche (UIR).

Adesso il modello di riferimento era il NRC di Hale, il quale, nel maggio 1918, era riuscito a inserire in modo permanente il NRC tra gli organi tecnici del governo americano. Volterra, che con Hale teneva rapporti costanti tramite l'astronomo Giorgio Abetti, delegato dell'UI negli USA, era sulla stessa lunghezza d'onda, come si intuisce da una lettera del luglio 1917 in cui Hale sondava le intenzioni dell'italiano di servirsi del neo-costituito UI per orientare, dopo la guerra, l'attività di ricerca verso indagini di alto livello scientifico e d'importanza industriale (Tomassini 1991, p. 797).

Favorire il trasferimento tecnologico dai laboratori alle realtà industriali era però solo uno degli aspetti del NRC che, fin dall'inizio, ebbe una vocazione a travalicare i confini nazionali. Tra i propri obiettivi vi era, infatti, quello di «promuovere la cooperazione nella ricerca, sia nel paese che all'estero» (Abetti 1919), cosicché, il giorno prima della dichiarazione di guerra degli Stati Uniti alla Germania, Hale, in qualità di segretario della NAS, inviò all'Accademia delle scienze francese, a quella russa, alla Royal Society di Londra e ai Lincei di Roma il seguente telegramma:

L'Accademia nazionale delle scienze agendo per mezzo del National Research Council, che è stato designato dal Presidente Wilson e dal Council of National Defence a mobilitare tutte le disponibilità di ricerca scientifica del paese, vorrebbe cooperare in qualunque ricerca scientifica che può portare alla soluzione di problemi industriali e militari (Furiozzi 2013, p. 173).

All'approssimarsi della vittoria, fu pertanto naturale rinnovare la cooperazione con gli scienziati stranieri secondo queste stesse direttrici. Allo stesso modo, Volterra si servì dell'UIR – che rimase attivo fino all'inizio del 1919 – per permettere all'Italia di partecipare a quel vasto movimento di riorganizzazione dei rapporti mondiali nel campo della ricerca scientifica che culminò nelle conferenze interalleate di Londra (9-11 ottobre 1918), Parigi (26-29 ottobre 1918) e Bruxelles (18-29 luglio 1919), nel corso delle quali furono gettate le basi di un *Inter-Allied Research Council*, subito ribattezzato *International Research Council* (IRC).

Su proposta di Hale, il nuovo organismo faceva leva sulle unioni internazionali – tipo la citata *Union internationale des Recherches Solaires* della quale, non a caso, Schuster era stato il presidente e Hale il segretario – per coordinare l'attività disciplinare sovranazionale. A tale fine, le unioni, per quanto organizzate in maniera simmetrica, conservavano una larga indipendenza per adattarsi con facilità alle diverse esigenze. Inoltre, Hale suggeriva di entrare in relazione con i governi dei paesi aderenti per lo studio di questioni che necessitavano di un intervento statale.

A Londra, la proposta di Volterra di creare laboratori centralizzati di scienze sperimentali fu appoggiata specialmente dalla delegazione francese, mentre ebbe un riscontro più ampio la sua raccomandazione affinché l'intero processo messo in moto dall'istituendo IRC fosse guidato dalle grandi accademie nazionali, le quali avrebbero dovuto creare un consiglio nazionale in quei paesi che ne erano sprovvisti (Volterra 1918a). In effetti, in alcuni stati già esistevano centri di ricerca che potevano assolvere a questa funzione come il NPL in Inghilterra.

Alla successiva conferenza di Parigi, su richiesta della delegazione italiana, guidata sempre da Volterra, si discussero i termini di una cooperazione tecnologica che prevedeva sia la creazione di un istituto internazionale di documentazione e bibliografia tecnico-industriale, sia un Bureau internazionale dei brevetti e relativa legislazione comunitaria (Volterra 1918b). Si trattava di questioni che erano in perfetta sintonia con la spiccata attenzione dell'IRC per le indagini sperimentali.

In quell'occasione fu poi eletto un Comitato esecutivo formato da Picard presidente, Schuster segretario, Hale, Lecointe e Volterra vicepresidenti; Comitato che venne poi confermato nella terza riunione di Bruxelles (Volterra 1919), quando l'IRC fu formalizzato a seguito di una convenzione che rimase attiva fino al 1931. Il domicilio legale fu fissato a Bruxelles; si decise, inoltre, di ammettere di diritto i paesi vincitori e su richiesta quelli neutrali, mentre prevalse la pregiudiziale antitedesca sostenuta in particolare dai francesi (ma anche da Volterra), sebbene non ci fosse l'accordo di tutti i colleghi. Infine, fu annunciata la costituzione definitiva delle prime unioni: astronomica, geodetica e geofisica, chimica pura ed applicata, alle quali seguirono, tra il 1920 e il 1922, quelle di matematica, di fisica pura e applicata; di scienze biologiche, che veniva distinta dalla medicina; di geografia; di radiotelegrafia scientifica, ovvero unioni innovative che rimandavano agli studi ingegneristici, elettrotecnici ecc.

Era il segnale della volontà di sostenere quelle ricerche d'interesse applicativo che durante i momenti decisivi dello scontro armato avevano favorito la nascita, quantunque in forma primitiva, di alcune moderne industrie (chimica dei gas, dell'ingegneria aeronautica, elettrotecnica e radiotelegrafica, del vetro ottico) sperimentali; una volontà che Volterra trasferiva immediatamente su un piano nazionale.

All'inizio dell'estate del 1919 egli pensava di poter realizzare in tempi rapidi la trasformazione dell'UIR in un Consiglio nazionale delle ricerche. In realtà le cose andarono per le lunghe e furono assai faticose come dimostrano le svariate bozze da lui elaborate nel corso del 1919, anche con sensibili differenze tra loro (Simili 1993; Paoloni 2011). Ciò che restava identico era l'interesse per le applicazioni industriali, che era confermato nei punti più qualificanti del progetto, ossia la realizzazione di un grande laboratorio nazionale di fisica e chimica e la creazione, da parte del CNR medesimo, d'istituti nazionali per ricerche di carattere generale o speciale.<sup>7</sup>

Com'è ben noto, il CNR si costituì solo alla fine del 1923, mentre lo statuto fu approvato il 2 ottobre del 1924. Volterra fu eletto presidente (Simili 2001a). Ciò non impedì alle forze più conservatrici della comunità accademica, di fare ostruzionismo sia rispetto all'idea del laboratorio, sia riguardo al proposito di operare in stretta collaborazione con gli istituti di ricerca che faceva capo ai servizi tecnici delle varie amministrazioni statali e con le grandi realtà industriali del Paese. Il laboratorio nazionale non fu costruito, e tale vicenda indebolì notevolmente Volterra già in difficoltà sul piano politico per la sua ferma opposizione al regime fascista.

---

<sup>7</sup> Negli anni Trenta furono invece creati l'Istituto nazionale per le applicazioni del calcolo (Roma, 1932); Istituto nazionale di ottica (Firenze, 1934); Istituto elettrotecnico nazionale (Torino, 1934); Istituto nazionale di elettroacustica (Roma, 1936); Istituto nazionale di geofisica (Roma, 1936). Si veda (Linguerri 2013).

Nel 1926 – anno in cui, siglato il Trattato di Locarno, vennero invitati a far parte dell'IRC gli scienziati degli imperi centrali – Volterra fu estromesso dalla presidenza del CNR, che nel 1927 passò a Guglielmo Marconi (Simili 2001b); indi, sfiduciato come vicepresidente dell'IRC nel 1928. Del resto, dopo la riforma del CNR in senso dirigitista avviata nel 1927 da Mussolini, iniziò un graduale processo di allontanamento del CNR dall'IRC, determinato dalla prevaricazione della politica sulla scienza e dall'atteggiamento fortemente nazionalista assunto dall'ente; un nazionalismo assai prossimo allo sciovinismo e, dunque, ben diverso da quello che aveva animato l'impegno bellico di Volterra durante la grande guerra.

Il distacco definitivo dell'Italia dall'IRC avvenne nel 1932 in virtù di un'ennesima riforma del CNR. Contestualmente, anche l'IRC aveva cambiato pelle. Il 1931 segnò, infatti, l'atto di nascita dell'*International Council of Scientific Unions* (ICSU), che diventò in larga misura un'emanazione delle Unioni internazionali le quali, rispetto al passato, acquisivano una maggiore autonomia. Fin dall'inizio l'ICSU fu aperto a tutti gli scienziati del mondo secondo un principio di non discriminazione che è rimasto alla base della politica scientifica internazionale.

## Bibliografia

- Abetti G. (1919). “La mobilitazione scientifica per la guerra negli Stati Uniti d'America”. *L'Intesa Intellettuale*, II (2), pp. 81-95; ora in (Furiozzi 2013, p. 172).
- Aubin D., Goldestein C. (eds.) (2014). *The War of Guns and Mathematics: Mathematical Practices and Communities in its Western allies around World War I*. Providence: American Mathematical Society.
- Barrett A. (2015). *The Great War, British Science, and Imperial College as exemplar*, in *Atti del convegno “La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell'Italia”* (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp. 163-177.
- Battimelli G. (2015). Dalla «scienza offesa» alla «santa guerra». Gli scienziati italiani e l'intervento, in *Atti del convegno “La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell'Italia”* (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp. 47-61.
- Cock A.G. (1983). “Chauvinism and Internationalism in Science: the International Research Council, 1919-1926”. *Notes and Records of the Royal Society*, 37 (2), pp. 249-288.
- Crawford E. (1992). *Nationalism and Internationalism in Science 1880-1939*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Croce B. (1917). “Postille”. *La Critica*, XV (1), pp. 76-80.
- De Viti De Marco A. (1915). “Lega Italo-Britannica”. *La Voce. Edizione politica*, 12, pp. 705-710.
- Eijkman P.H., Reinsch P.S. (1911). *L'internationalisme scientifique*. La Haye: van Stockum et Fils.

- Focaccia M. (2014a). “Pietro Blaserna e l’Istituto di fisica di Roma. Un antefatto”. *Giornale di Fisica*, LV (2), pp. 129-145.
- Focaccia M. (2014b). “L’Istituto di Fisica di Roma. Un ideale realizzato”. *Giornale di Fisica*, LV (4), pp. 309-338.
- Focaccia M. (2016). *Uno scienziato galantuomo a via Panisperna: Pietro Blaserna e la nascita dell’Istituto di fisica a Roma*. Firenze: Olschki.
- Furiozzi M. (a cura di) (2013). *L’Intesa Intellettuale (1918-1919)*. Perugia: Morlacchi.
- Giuntella M.C. (2001). *Cooperazione intellettuale ed educazione alla pace nell’Europa della Società delle nazioni*. Padova: CEDAM.
- Goodstein J.R. (2007). *The Volterra Chronicles. The Life and Times of an Extraordinary Mathematician 1860-1940*. Providence: American Mathematical Society - London: London Mathematical Society.
- Guerraggio A. (2015a). *I matematici italiani nella prima guerra mondiale*, in Atti del convegno “La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell’Italia” (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp. 97-108.
- Guerraggio A. (2015b). *La scienza in trincea. Gli scienziati italiani nella prima guerra mondiale*. Milano: Raffaello Cortina editore.
- Guerraggio A., Paoloni G. (2008). *Vito Volterra*. Roma: Franco Muzzio.
- Hartcup G. (1988). *The war of invention: scientific developments, 1914-18*. London: Brassey’s defence.
- Kevles D.J. (1968). “George Ellery Hale, the First World War and the Advancement of Science in America”. *ISIS*, 59 (4), pp. 427-437.
- Kevles D.J. (1971). “Into Hostile Political Camps. The Reorganization of International Science in World War I”. *ISIS*, 62, pp. 47-60.
- Linguerrì S. (2005). *Vito Volterra e il Comitato talassografico italiano. Imprese per aria e per mare nell’Italia Unita (1883-1930)*. Firenze: Olschki.
- Linguerrì S. (2012). *Pietro Blaserna*, in Simili R. (a cura di), *Scienziati, patrioti, presidenti. L’Accademia Nazionale dei Lincei (1874-1926)*. Bari: Laterza, pp. 99-141.
- Linguerrì S. (2013). *Dai primi istituti, ai progetti finalizzati, alle aree di ricerca*, in Simili R. (a cura di), *Consiglio nazionale delle ricerche: l’impresa scientifica 1923-2013*. Roma: CNR, pp. 79-100.
- Linguerrì S. (2014). “Vito Volterra al fronte: dall’Ufficio Invenzioni al Consiglio Nazionale delle Ricerche”. *Lettera Matematica Pristem*, 92, pp. 58-68.
- Linguerrì S. (2015). *Vito Volterra in divisa: dalla cooperazione interalleata al Consiglio Nazionale delle Ricerche*, in Atti del convegno “La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell’Italia” (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp. 109-138.
- Lyons F.S.L. (1963). *Internationalism in Europe 1815-1914*. Leyden: Sythoff.
- Maiocchi R. (2000). “L’organizzazione degli scienziati italiani”. *Annali dell’Istituto storico italo-germanico in Trento. Quaderni*, 54, pp. 209-244.
- Mazliak L., Tazzioli R. (2009). *Mathematicians at War. Volterra and His French Colleagues in World War I*. Dordrecht: Springer.

- Paoloni G. (ed.) (1990). *Vito Volterra e il suo tempo (1860-1940)*. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Archivio Centrale dello Stato.
- Paoloni G. (2000). *La ricerca fuori dell'università: il quadro istituzionale*, in Casella A. (a cura di), *Una difficile modernità. Tradizioni di ricerca e comunità scientifiche in Italia 1890-1940*. Pavia: La Goliardica pavese, pp. 389-403.
- Paoloni G. (2009). *Senza il peso del passato: Vito Volterra, gli Stati Uniti e il modello americano*, in Lacaíta G.C. (a cura di), *Le vie dell'innovazione. Viaggi tra scienza, tecnica ed economia (secoli XVIII-XX)*. Milano: Giampiero Casagrande Editore, pp. 329-355.
- Paoloni G. (2011). *Il Consiglio nazionale delle ricerche: origini e sviluppi*, in Cassata F., Pogliano C. (a cura di), *Scienze e cultura dell'Italia unita. Storia d'Italia. Annali 26*. Torino: Einaudi, pp. 177-202.
- Paoloni G. (2015). *Nuovi modelli di organizzazione della ricerca*, in *Atti del convegno "La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell'Italia"* (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp. 83-96.
- Paoloni G., Simili R. (a cura di) (2004). *I Lincei nell'Italia Unita*. Roma: Giorgio Bretschneider Editore.
- Paoloni G., Simili R. (2008). *Vito Volterra and the Making of Research Institutions in Italy and Abroad*, in Scazzieri R., Simili R. (eds.), *The Migration of Ideas*. Sagamore Beach: Watson Publishing International LLC, pp. 123-150.
- Quinn T. (2011). *From Artefacts to Atoms. The BIPM and the Search for Ultimate Measurement Standards*. Oxford: Oxford University Press.
- Ravà G. (1917). "Il parlamento interalleato". *Nuova Antologia*, 188, pp. 269-283.
- Salomon J.J. (1965). *Organisations scientifiques internationales*. Paris: OCDE.
- Schroeder-Gudehus B. (1976). *Les Scientifiques et la Paix. La communauté internationale au cours des années 20*. Montréal : Les presses de l'Université de Montréal.
- Simili R. (1988). *I laboratori sperimentali. Cure e Ricette*, in Simili R. (a cura di), *Ricerca e istituzioni scientifiche in Italia*. Roma-Bari: Laterza, pp. 135-181.
- Simili R. (1993). *L'attitudine nuova di Vito Volterra. Scienza, tecnologia e società alle origini del CNR*, in Simili R. (a cura di), *Scienza, tecnologia e istituzioni in Europa. Vito Volterra e l'origine del CNR*. Roma-Bari: Laterza, pp. 3-33.
- Simili R. (2001a). *La presidenza Volterra*, in Simili R., Paoloni G. (a cura di), *Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche*. Vol. I. Roma-Bari: Laterza, pp. 72-127.
- Simili R. (2001b). *La presidenza Marconi*, in Simili R., Paoloni G., a cura di, *Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche*. Vol. I. Roma-Bari: Laterza, pp. 128-172.
- Simili R. (2012). *Mister Italiana Science*, in Simili R. (a cura di), *Scienziati, patrioti, presidenti. L'Accademia Nazionale dei Lincei (1874-1926)*. Bari: Laterza, pp. 143-186.
- Simili R. (2013). "Il CNR prima del CNR". *Scienza e Società*, 15/16, pp. 3-21.



- Simili R. (2015). *La rete scientifica internazionale dalla Belle Epoque al dopoguerra*, in *Atti del convegno “La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell’Italia”* (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp.25-45.
- Simili R., Linguetti S. (2000). *Volterra, Marconi e il CNR*, in Casella A. (a cura di), *Una difficile modernità. Tradizioni di ricerca e comunità scientifiche in Italia 1890-1940*. Pavia: La Goliardica pavese, pp. 118-130.
- Tazzioli R. (2015). *À la guerre! Gli scienziati francesi nella Prima guerra mondiale*, in *Atti del convegno “La grande guerra rivoluziona la comunità scientifica. Il ruolo dell’Italia”* (Roma 10-11 dicembre 2014). Roma: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, pp. 139-162.
- Tomassini L. (1991). “Guerra e scienza: lo stato e l’organizzazione della ricerca in Italia, 1915-1919”. *Ricerche storiche*, XXI (3), 747-802.
- Tomassini L. (2001). *Le origini*, in Simili R., Paoloni G. (a cura di), *Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche*. Vol. I. Roma-Bari: Laterza, pp. 5-71;
- Tomassini L. (2011). *Guerra, scienza e tecnologia*, in Cassata F., Pogliano C. (a cura di), *Scienze e cultura dell’Italia unita. Storia d’Italia. Annali 26*. Torino: Einaudi, pp. 103-128.
- Tosi L. (1977). *La propaganda italiana all’estero nella prima guerra mondiale. Rivendicazioni territoriali e politica delle nazionalità*. Udine: Del Bianco Editore.
- Venturini L. (1991). “La mobilitazione scientifica dell’Italia durante la grande guerra”. *Ricerche storiche*, XXI (3), pp. 803-825.
- Volterra V., Steeg Th. (1917). *Relazioni intellettuali. Ordine del giorno Volterra-Steeg*, in *Parlamento Interalleato. Sessione di Roma. Delibere approvate*. Febbraio 1917. Roma: Tipografia della Camera dei Deputati, pp. 6-7.
- Volterra V. (1918a). “La conferenza interalleata sulla organizzazione scientifica. Conferenza di Londra 9-11 ottobre 1918”. *L’Intesa intellettuale*, 1 (4), pp. 218-222.
- Volterra V. (1918b). “La conferenza interalleata sulla organizzazione scientifica. Conferenza di Parigi 26-29 novembre 1918”. *L’Intesa intellettuale*, 1 (4), pp. 222-230.
- Volterra V. (1919). “La Terza Conferenza del Consiglio Internazionale di Ricerche, tenuta a Bruxelles dal 18 al 28 luglio 1919”. *L’Intesa intellettuale*, 2 (3-4), pp. 132-150.
- von Gizycki R. (1973). “Centre and Periphery in the International Scientific Community: Germany, France and the Great Britain in the 19th Century”. *Minerva*, 11 (4), pp. 474-494.
- Wilkins E.H. (1917). “Per l’Intesa culturale Italo-America. Lettera al Prof. Antonio Marinoni”. *Il Carroccio*, V (3), pp. 1-8.
- Wright H. (1994). *Explorer of the Universe. A Biography of George Ellery Hale*. Woodbury: American Institute of Physics.
- Wright H., Warnow J.N., Weiner C. (eds.) (1972). *The Legacy of George Ellery Hale: Evolution of Astronomy and Scientific Institutions in Pictures and Documents*. Cambridge Mass.: MIT Press.



## NUCLEAR ENERGY: 70 YEARS LATER



# Alvin Weinberg e il nucleare

## Riflessioni su Hiroshima 70 anni dopo\*

Vincenzo Cioci - vincenzocioci@gmail.com

*Abstract:* Alvin Martin Weinberg (1915-2006) played a leading role both in the Manhattan Project (working with Eugene Wigner in Chicago on the design of the first nuclear reactors to produce plutonium) and in the development of nuclear energy (his research was fundamental for the realization of pressurized water reactors used for the propulsion of US submarines and subsequently for the construction of civil nuclear power plants). He was Director of Oak Ridge National Laboratory from 1955 to 1973 and was an influential promoter of the nuclear option. He came to propose a “Faustian bargain” to the whole society, which could benefit from almost inexhaustible nuclear energy but in exchange would have to accept and prevent risks associated with it ensuring political stability and institutions particularly appropriate for this worldwide goal. We remember Weinberg nowadays because he guessed that the tragedy of Hiroshima was an event of immense value in human history. In the years to come his memory could help to prevent the threat of a nuclear conflict establishing a tradition of non-use of nuclear weapons or generating a real taboo. On the occasion of the fortieth anniversary of the drop of the bomb, he wrote in the Bulletin of the Atomic Scientists about the sanctification of Hiroshima attributing to the event, with its hundred thousand or more martyrs, a deep mystical significance, almost sacred, with an inherent strength comparable to that of a biblical event. The theme of the refusal of the atomic bomb after the demonstration of its devastating effects is not entirely new but the intuition of Weinberg has its originality and gives an important meaning to the work of historians, educators and more generally of the scientific popularisers because they manage to give Hiroshima its rightful place in the collective consciousness of all human beings.

*Keywords:* Weinberg, Nuclear power, First nuclear era, Reduction of nuclear risks, Sanctification of Hiroshima, Oppenheimer, Fermi, Jonas

---

\* Sono molto grato al professor Antonino Drago per avermi suggerito di approfondire la figura di Alvin Martin Weinberg.

## 1. Cenni biografici di Weinberg

Alvin Martin Weinberg nacque a Chicago nel 1915 da genitori russi emigrati in USA di origini ebraiche. Laureato in fisica, conseguì, nel 1939, il PhD alla *University of Chicago* in biofisica matematica con una tesi dal titolo *Fondamenti matematici per una teoria di periodicità biofisica* (Zucker 2008, p. 572).

Dal 1942 Weinberg lavorò nel gruppo di Eugene Wigner presso il *Metallurgical Laboratory* a Chicago allo scopo di progettare reattori nucleari a uranio naturale per la produzione di plutonio. Nel 1943 Weinberg seguì Wigner, prima ai *Clinton Laboratories* dove fu costruito il primo reattore a grafite dopo la pila sperimentale di Fermi e poi all'*Oak Ridge National Laboratory*, sostituendolo come direttore di ricerca nel 1948. Nel 1955 fu nominato direttore, rimanendo in carica per ben diciotto anni.

Notevole è stato il suo contributo alla progettazione dei reattori nucleari ad acqua pressurizzata che utilizzano acqua leggera sia come moderatore che come refrigerante. Le alte pressioni alle quali l'acqua del refrigerante è tenuta sono motivate dall'esigenza di evitare un cambiamento di stato quando questa raggiunge alte temperature.

Weinberg è spesso ricordato per aver proposto nel 1947 all'ammiraglio Rickover la realizzazione di un sottomarino alimentato da un reattore nucleare ad acqua pressurizzata. Il sottomarino nucleare, *USS Nautilus*, fu effettivamente realizzato qualche anno più tardi e fu varato nel gennaio del 1954. La scelta dell'energia nucleare come fonte per la propulsione di un sottomarino è particolarmente vantaggiosa perché, non richiedendo ossigeno per il suo funzionamento, poteva vantare un'autonomia in immersione di gran lunga maggiore rispetto a quella dei sottomarini convenzionali. Altro vantaggio erano le dimensioni ridotte del combustibile nucleare. Per quanto concerne invece il tipo di reattore, fu scelto quello ad acqua pressurizzata non per speciali proprietà legate alla sicurezza ma per le sue caratteristiche di compattezza e semplicità, particolarmente adatte a un sottomarino. Una volta realizzato per i sottomarini, il reattore nucleare ad acqua pressurizzata venne poi commercializzato e utilizzato in molte centrali nucleari di tutto il mondo per la produzione di energia elettrica, nonostante non fosse stato progettato per questo particolare scopo.

Sotto la gestione di Weinberg, l'*Oak Ridge National Laboratory* (ORNL) realizzò e sperimentò un gran numero di reattori (Rosenthal 2009). Gli esperimenti con il *Low Intensity Test Reactor* fornirono dati che aiutarono la progettazione dei reattori nucleari ad acqua bollente e ad acqua pressurizzata, i tipi di reattori dominanti nelle centrali atomiche commerciali. L'*Health Physics Research Reactor* costruito nel 1962 venne utilizzato per esperimenti di esposizione alle radiazioni. L'*High Flux Isotope Reactor*, caratterizzato da un alto flusso di neutroni, era utilizzato per la produzione di isotopi medici. L'*Aircraft Reactor Experiment* riguardava la sperimentazione di un reattore per un aeroplano a propulsione nucleare.

Weinberg si interessò in modo particolare al *Molten-Salt Reactor Experiment*, in funzione dal 1966 fino al 1969, che dimostrò la fattibilità di un reattore con combustibile disciolto in un miscuglio di sali fusi. Le peculiarità di questo reattore intrinsecamente sicuro erano le notevoli temperature che il refrigerante potesse raggiungere (circa 650° C) per un alto rendimento termodinamico, insieme con gli elevati standard di sicurezza

dovuta al fatto che non era possibile che avvenisse un'incontrollata fusione del nocciolo, essendo il combustibile già allo stato fuso.

Oltre a migliorare la sicurezza dei reattori, Weinberg cercò di realizzare il sogno che era stato ben espresso da H.G. Wells nella sua opera *The world set free* del 1914 – che l'energia nucleare avrebbe contribuito ad affrancare l'umanità dai suoi bisogni: cibo sufficiente, acqua pulita e sopravvivenza biologica. Così, nei primi anni Sessanta, fra le nuove missioni che Weinberg perseguì per l'ORNL, vi fu l'utilizzo di energia nucleare per desalinizzare l'acqua del mare e far fiorire il deserto. Il progetto chiamato *Water for Peace* fu sostenuto da John F. Kennedy e Lyndon B. Johnson e fu presentato nel 1964 in una conferenza alle Nazioni Unite, ma l'aumento dei costi e la caduta di fiducia del pubblico nei confronti del nucleare causarono il suo fallimento.

## 2. Il “patto faustiano” e la fine della “prima era nucleare”

All'inizio degli anni Settanta, di fronte alle crescenti critiche verso l'energia nucleare formulate da vari membri del movimento ambientalista (si veda, ad esempio, Lovins 1975), Weinberg propose alla società intera un “patto faustiano”. Grazie al nucleare, infatti, la nostra società avrebbe potuto beneficiare di una fonte di energia quasi inesauribile, a buon prezzo e relativamente pulita, ma in cambio avrebbe dovuto accettare e prevenire i rischi ad essa connessi, assicurando stabilità politica e istituzioni particolarmente adeguate (Weinberg 1971, 1972, 1973). La caratterizzazione dell'energia nucleare come un patto faustiano rese Weinberg impopolare all'interno dell'industria nucleare. Divenne noto tra i critici dell'energia nucleare come una sorta di coscienza interna – un membro della comunità nucleare che era disposto a esprimere dubbi. Questo, insieme con l'interesse che Weinberg nutriva nel migliorare la sicurezza dei reattori nucleari, determinò la fine del suo incarico all'Oak Ridge National Laboratory. Nel suo volume autobiografico – *The first nuclear era. The life and times of a technological fixer* – racconta di un incontro, avvenuto nel 1972, con il presidente della Commissione per l'Energia Atomica del Congresso degli Stati Uniti d'America, Chet Holifield, il quale gli disse che a causa della sua estrema preoccupazione per la sicurezza degli impianti nucleari avrebbe dovuto abbandonare il suo incarico. Subito dopo fu destituito come Direttore dell'ORNL (Weinberg 1994, pp. 177, 199).

Dal 1975 fino al 1985 diresse l'*Institute for Energy Analysis* (IEA) che aveva contribuito a creare due anni prima. Quest'organismo che era parte dell'*Oak Ridge Associated Universities* (ORAU) vantò il sostegno dell'*Atomic Energy Commission* (AEC) e dell'*Energy Research and Development Administration*. Con un metodo multidisciplinare, si occupò di una vasta gamma di questioni energetiche come l'effetto serra, le fonti alternative di energia, la sicurezza dei reattori nucleari, la difesa e il controllo delle armi strategiche (Roberto, Nestor 2014, pp. 13-14).

Anticipando i tempi, già dagli inizi degli anni Settanta, consapevole del fatto che sarebbe stato probabile un incidente nucleare nei successivi dieci o venti anni, Weinberg si domandò se fosse stato possibile per gli Stati Uniti d'America prendere in considerazione un rallentamento dello sviluppo del nucleare. Coordinò quindi un appro-

fondito studio (Whittle *et al.* 1976) volto ad analizzare le possibili conseguenze, economiche e ambientali, di una moratoria nella costruzione di nuove centrali, rimarcando che questa scelta avrebbe comportato la realizzazione di ulteriori impianti a carbone con considerevoli conseguenze di riscaldamento globale a causa dell'effetto serra. I suoi studi, che sono oggi utilizzati per rilanciare l'opzione nucleare, non furono inizialmente compresi dai suoi colleghi che non volevano considerare la possibilità di incidenti. Questo scritto si rivelò però profetico quando ebbe luogo l'incidente di Three Mile Island nel 1979.

Subito dopo Three Mile Island, Weinberg (1979) suggerì che l'avventura dell'energia atomica potesse essere salvata soltanto mediante drastici cambiamenti. In primo luogo, a suo giudizio, occorre realizzare reattori intrinsecamente più sicuri di quelli ad acqua pressurizzata che potessero scongiurare la cosiddetta sindrome cinese (ossia la fusione prolungata del nocciolo con l'impossibilità di contenere il combustibile fuso).<sup>1</sup> Al fine di evitare eventuali conseguenze sulla popolazione civile, i reattori dovrebbero inoltre essere situati in parchi nucleari remoti contenenti fino a dieci reattori. Occorrerebbe distinguere la generazione e la distribuzione dell'energia elettrica di origine nucleare in modo da evitare che la prima sia a carico di numerose e poco affidabili compagnie. Sarebbe necessaria una maggiore professionalizzazione (in termini di competenze e remunerazione) dei quadri che operano nelle centrali nucleari, i quali portano un pesante fardello di responsabilità per la sicurezza del funzionamento degli impianti. Sarebbe essenziale formare il pubblico relativamente al tema delle radiazioni nucleari e ai loro effetti biologici, facendo comprendere che bassi livelli di radiazione – dell'ordine della variazione statistica del fondo naturale – possono essere considerati sicuri (questione, per la verità, ancora dibattuta). Oggigiorno, infine, è imprescindibile il raggiungimento di livelli di sicurezza molto elevati al fine di prevenire attentati terroristici e atti di sabotaggio, che potrebbero causare gravi conseguenze.

Con l'incidente di Chernobyl, avvenuto nell'aprile 1986, in numerosi Paesi si arrestò la costruzione di nuove centrali. In Italia addirittura furono spenti anche i reattori in funzione. Weinberg commentò questo periodo dicendo che «la prima era nucleare era finita» (Weinberg 1994, p. 232). Di fronte alla possibilità che il ricorso all'energia nucleare potesse realmente interrompersi, l'idea dei reattori intrinsecamente sicuri cominciò a farsi strada e i principali fornitori americani realizzarono diversi reattori con vari sistemi di sicurezza passivi. Chernobyl aveva determinato ciò che il rapporto dello IEA non era stato in grado di ottenere.

---

<sup>1</sup> In un reattore "intrinsecamente" o "passivamente" sicuro, la sicurezza dipende dal funzionamento delle leggi fondamentali della termodinamica, non da tempestivi interventi meccanici o umani. Un esempio di questi è il PIUS (*Process Inherent Ultimate Safety*), di progettazione svedese. Questo è un reattore ad acqua pressurizzata immerso in una grande piscina di acqua contenente boro. Poiché il boro spegne la reazione a catena, l'acqua pura che raffredda il reattore deve essere separata dall'acqua contenente boro. Invece di utilizzare valvole normali, soggette a guasti, per mantenere i due fluidi separati, PIUS utilizza una serratura intelligente a densità: l'acqua della piscina, essendo più densa dell'acqua refrigerante calda, si dispone sotto quest'ultima a formare un blocco con densità stabile. Tuttavia, se dovesse fermarsi l'acqua di circolazione refrigerante, la serratura a densità non sarebbe più stabile e l'acqua contenente boro precipiterebbe nel reattore, spegnendo la reazione a catena e raffreddando il reattore (Forsberg-Reich 1991, p. 8).



### 3. Weinberg e la bomba. La santificazione di Hiroshima

Per aver partecipato al progetto Manhattan, contribuendo a produrre il componente fondamentale – il plutonio – per la costruzione di una bomba atomica, Weinberg analizzò con cura le questioni politiche e morali connesse con l'uso delle armi nucleari.

Egli, nonostante avesse firmato nel 1945 la petizione preparata da Leo Szilard per evitare il lancio delle bombe per motivi di ordine morale, si era convinto che la tragedia di Hiroshima era stata necessaria alla conclusione della Seconda Guerra Mondiale e che la dimostrazione del potere distruttivo della bomba su un'isola disabitata, come auspicato da James Franck, Leo Szilard, Eugene Rabinowitch ed altri scienziati atomici, non sarebbe stata sufficiente per porre fine al conflitto. Sostenne in particolare la sua tesi sulla base degli studi di Bundy Mc George (1988) che nella sua opera *Danger and Survival* aveva esaminato le questioni politiche connesse all'impegno della bomba dal momento della sua creazione e per i successivi quaranta anni. Diversa invece fu la posizione di Weinberg circa l'utilizzo della bomba sulla città di Nagasaki: questo sarebbe stato un massacro del tutto inutile, essendo il Giappone già pronto alla resa, come sarebbe stato evidente se gli Stati Uniti avessero ritardato il lancio del secondo ordigno almeno di qualche giorno (Weinberg 1994, pp. 268-269).

La posizione di Weinberg è di particolare interesse perché egli, più di ogni altro, ha intuito che la tragedia di Hiroshima costituisce un evento di immenso valore nella storia dell'umanità. Il suo ricordo, infatti, potrebbe contribuire in modo determinante a prevenire negli anni un possibile conflitto nucleare. A tal proposito, in occasione delle celebrazioni per il quarantesimo anniversario del lancio della bomba, Weinberg scrisse sul *Bulletin of the Atomic Scientists* della "santificazione di Hiroshima", attribuendo all'evento, con i suoi centomila e più martiri, un profondo significato mistico, quasi sacro, con una forza intrinseca paragonabile, per chi è religioso, a quello di un evento biblico (Weinberg 1985, p. 34):

I 100000 o più che morirono ad Hiroshima saranno visti nella lunga marcia della storia umana come martiri. Essi furono sacrificati, a quanto pare, affinché l'umanità possa vivere all'ombra della bomba, ma non sia sterminata da essa.

Weinberg si adoperò in prima persona per la costruzione di rapporti di pace. Nel 1993, durante le celebrazioni per il cinquantenario della fondazione di Oak Ridge, da presidente dell'*International Friendship Bell Committee*, realizzò una copia della campana di bronzo cerimoniale di Hiroshima da porre nella cittadella americana come simbolo del legame indissolubile che si stava creando fra Oak Ridge e la città giapponese. Si adoperò, inoltre, per la riduzione degli armamenti atomici. Diede il suo sostegno al progetto *Guerre stellari*: riteneva che un rafforzamento del sistema di difesa strategico da parte di uno Stato potesse consentire una riduzione della dotazione offensiva di bombe nucleari da parte di quello stesso Stato. Sosteneva, infatti, che ci fosse una sorta di equivalenza che avrebbe potuto portare alla diminuzione, anche unilaterale, dell'arsenale di armi nucleari di un Paese se questo si fosse dotato di un apprezzabile sistema di difesa che poteva essere sia attivo, cioè realizzato mediante missili antibalistici, che passivo, sviluppato utilizzando ad esempio i rifugi antiatomici. Weinberg

era perciò per una ferrea limitazione degli armamenti nucleari e per il rafforzamento dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA) che si sarebbe occupata dei controlli. Non ci sarebbero stati invece vincoli, nella sua visione, allo sviluppo delle tecnologie difensive. Si augurava che in questo modo si sarebbe passati dalla mutua assicurata distruzione (MAD) alla mutua assicurata sopravvivenza (MAS).

#### 4. Conclusioni: Weinberg, Oppenheimer e Fermi

Il tema del rifiuto della bomba atomica dopo la manifestazione dei suoi effetti non è del tutto nuovo. Sembrano riecheggiare i colloqui a Los Alamos fra Bohr e Oppenheimer i quali discutevano se la bomba fosse stata grande abbastanza da mettere fine a tutte le guerre (Cioci 2013) né è nuovo il ricorso al riferimento religioso – il peccato originale dei fisici richiamato da Oppenheimer – ma l'intuizione di Weinberg ha una sua originalità e dà un senso importante al lavoro degli storici, degli educatori e più in generale dei divulgatori per il potere che hanno di poter fare entrare Hiroshima nella coscienza collettiva dell'umanità.

Risulta spontanea un'analogia fra le idee di Weinberg ed il pensiero del filosofo Hans Jonas. Quest'ultimo, infatti, ha sottolineato il ruolo giocato della paura – di fronte alla possibilità di disastri come quello di Hiroshima ma anche quello di Chernobyl – per la costruzione di un'etica per la civiltà tecnologica, fondata sulla responsabilità verso i propri simili e le generazioni future (Jonas 1990, p. 285-286). Mentre però Jonas auspica delle limitazioni al lavoro degli scienziati in caso di pericolo per la società, Weinberg (1967, p. 35) sostiene che “una responsabilità sociale centrale dello scienziato e del tecnologo è quello di rimuovere le tare, le imperfezioni inerenti le grandi tecnologie necessarie per la sopravvivenza finale del genere umano”, come quella dell'energia nucleare capace di dare energia (e cibo) ad un'umanità in continuo aumento.

In questa sede va sottolineato anche che Weinberg non fu l'unico scienziato atomico ad assumere una posizione in qualche modo critica rispetto all'energia nucleare. Robert Oppenheimer, ad esempio, dopo la Seconda Guerra Mondiale, non credeva realizzabili in tempi brevi le possibili applicazioni civili dell'energia atomica. A differenza di Weinberg, il suo riferirsi a questa come “un pericolo e una speranza” era piuttosto rivolto agli armamenti nucleari. Queste armi, per il loro elevato potere distruttivo, avrebbero avuto il potere di costringere l'umanità a fare i primi passi verso la realizzazione di quelle relazioni fra gli Stati che avrebbero portato all'edificazione di una pace duratura e di un mondo unito.

Enrico Fermi (1948) fu ancora più esplicito nell'evidenziare il legame indissolubile tra l'energia atomica e gli armamenti nucleari, sottolineando l'importanza di una pace stabile come condizione necessaria per il pieno sviluppo di questa fonte di energia.

La possibilità di utilizzare il plutonio per fini militari costituisce una difficoltà per gli usi industriali dell'energia atomica che è molto più grande di qualsiasi difficoltà tecnica [...] e non vedo molte speranze di risolverlo a meno che il fondamento delle relazioni tra le nazioni sia accuratamente modificato nei prossimi anni.

**Bibliografia**

- Bundy M.G. (1988). *Danger and survival: choices about the bomb in the first fifty years*. New York: Random House.
- Cioci V. (2013). *Bohr, Oppenheimer e il controllo internazionale delle armi atomiche*, in *Atti del XXXIII Congresso della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia* (Acireale-Catania-Siracusa, 4-7 settembre 2013).
- Fermi E. (1946). *The future of atomic energy*. Oak Ridge: Technical Information Division, Atomic Energy Commission. Consultabile su <<http://catalog.hathitrust.org/Record/007841246>>.
- Forsberg C.W., Reich W.J. (1991). *Worldwide advanced nuclear power reactors with passive and inherent safety: what, why, how, and who*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.
- Jonas H. (1990). *Il principio responsabilità*. Torino: Einaudi.
- Lovins A.B., Price J.H. (1975). *Non-nuclear Futures: The Case for an Ethical Energy Strategy*. Cambridge: Ballinger Publishing Company.
- Roberto J.M., Nestor M.B. (2014). *Alvin M. Weinberg 1915-2006*. New York: National Academy of Sciences. Consultabile su <<http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/weinberg-alvin.pdf>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Rosenthal M.W. (2009). *An account of Oak Ridge National Laboratory's thirteen nuclear reactors*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory. Consultabile su <<http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub20808.pdf>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Weinberg A.M. (1968). *Reflections on Big Science*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Weinberg A.M. (1971). "The Moral Imperatives of Nuclear Energy". *Nuclear News*, 14, pp. 33-37.
- Weinberg A.M. (1972). "Social Institutions and Nuclear Energy". *Science*, 7 July, pp. 27-34.
- Weinberg A.M. (1973). *The Safety of Nuclear Power*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory. Consultabile su <<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/6237815>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Weinberg A.M. (1979). "Nuclear Energy: Salvaging the Atomic Age". *The Wilson Quarterly*, 3(3), pp. 88-112.
- Weinberg A.M. (1985). "The sanctification of Hiroshima". *Bulletin of the Atomic Scientists*, XLI (11), p. 34.
- Weinberg A.M. (1994). *The First Nuclear Era: The Life and Times of a Technological Fixer*. New York: AIP Press.
- Wells H.G. (1914). *The world set free*. London: Macmillan & Co.
- Whittle C.E., Allen E.L., Cooper C.L., MacPherson H.G., Phung D.L., Poole A.D., Pollard W.G., Rotty R.M., Treat N.L., Weinberg A.M. (1976). *Economic and Environmental Implications of a U.S. Nuclear Moratorium, 1985-2010*. Oak Ridge: Institute for Energy Analysis. Consultabile su <<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/7219049>> [data di accesso: 01/04/2016].

Zucker A. (2008). "Alvin M. Weinberg". *Proceedings of the American Philosophical Society*, 152 (4), pp. 571–576.

# Panoramica delle dichiarazioni pubbliche dei fisici contro le armi nucleari. Il periodo della guerra fredda

Antonino Drago - Università di Napoli "Federico II" - drago@unina.it

Giovanni Salio - Università di Torino - nanni@serenoregis.org

*Abstract:* La partecipazione dei fisici al Progetto Manhattan ha causato una crisi drammatica della loro etica, concepita fino ad allora secondo gli studi di Merton e di Weber sul lavoro professionale dello scienziato. Poi, dopo, soprattutto gruppi di fisici hanno rilasciato dichiarazioni pubbliche contro le armi nucleari. Il presente lavoro le analizza nel periodo 1945-1967, considerando quattro atteggiamenti etici dei loro autori rispetto alla loro istituzione sociale, cioè la ricerca scientifica pubblica: *i*) la scienza è neutrale, *ii*) contro la ricerca militare, *iii*) contro il potere nucleare militare e civile, *iv*) la scienza va sottoposta a principi etici. Si considerano poi le loro sette strategie d'impegno sociale, in particolare quella degli appelli e delle dichiarazioni pubbliche più rilevanti. Particolare attenzione viene data al manifesto Einstein-Russell, che ha presentato gli scienziati nel ruolo dei più saggi consiglieri e promotori della razionalità e del benessere dell'umanità, ma che chiedeva al pubblico un impegno politico di tipo minimale. Una tabella pone in relazione i diversi atteggiamenti etici degli scienziati responsabili con le loro strategie di impegno. A consuntivo, essi non sembrano aver cambiato il nuovo ruolo imposto dal Progetto Manhattan alla scienza, trasformata nella "grande scienza" (che è anche uno strumento del potere militare e politico), né influito sulla corsa alle armi nucleari, né, salvo una ristretta minoranza, partecipato e contribuito all'azione popolare contro queste armi.

*Keywords:* Physicists, Nuclear weapons, Ethics, Merton, Weber, Manhattan Project, Declarations

## 1. Gli scienziati e la nascita delle armi nucleari

Nel XX secolo, già al tempo della prima guerra mondiale, alcuni scienziati si sono sentiti in dovere di intervenire pubblicamente verso l'opinione pubblica e i loro Stati, anche a favore della guerra.<sup>1</sup>

Ma questi furono episodi occasionali. Invece nella seconda guerra mondiale alcuni scienziati hanno sollecitato e poi moltissimi di loro hanno accettato di lavorare

---

<sup>1</sup> Vedasi l'aberrante manifesto di 93 scienziati che sostenevano la condotta di guerra della Germania (Manifesto of the Ninety-Three, 1914).

in un'impresa statale gigantesca: il Progetto Manhattan 1939-1947 (Jungk 1958; Rhodes 1986), che doveva sostenere la guerra dello Stato contro i nazisti. L'obiettivo politico era creare una politica internazionale di deterrenza verso Hitler, che sembrava stesse arrivando ad avere bombe nucleari per primo; l'obiettivo scientifico-tecnologico dell'impresa era la costruzione di un'arma con una capacità distruttiva senza precedenti. Dotato di un enorme budget (2 miliardi di dollari di allora), il Progetto ha raccolto 130.000 lavoratori, di cui migliaia erano scienziati, anche i più importanti del mondo (ad esempio: Enrico Fermi, Robert Oppenheimer, Niels Bohr, Leo Szilard, ecc.). Questi fisici hanno accettato di lavorare collettivamente dentro un'impresa diretta da militari, sotto segreto militare e in un luogo segreto. La razionalità degli scienziati li portava a sperare che la politica del governo, durante e dopo la guerra, fosse razionale.

Di fatto, il Progetto Manhattan di colpo ha cambiato la storia degli scienziati, la ricerca scientifica e l'umanità. Inaspettatamente gli scienziati di quel Progetto hanno dovuto affrontare grandi problemi.<sup>2</sup> Che cosa era avvenuto della tradizionale separazione tra scienza pura e ricerca applicata? Inoltre, i successivi bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki hanno creato un trauma nella storia dell'umanità e un senso di colpa i molti scienziati. Com'erano cambiate le caratteristiche dell'etica dello scienziato?

Dopo il Progetto Manhattan, la ricerca scientifica, ormai considerata "una gallina delle uova d'oro" perché presto o tardi dà risultati socialmente sconvolgenti, ha continuato a ricevere dai governi grandi finanziamenti, tanto da diventare un'impresa colossale. Quanto questa crescita quantitativa dell'istituzione scienza ha danneggiato la sua crescita qualitativa? La scienza era ancora la forza motrice, eticamente neutrale, del progresso del genere umano? Gli scienziati erano ancora un gruppo sociale razionale e disinteressato che vegliava sul benessere del genere umano, o il potere politico aveva subordinato ai suoi programmi il processo di razionalizzazione che gli scienziati apporavano alla vita sociale? Gli scienziati erano ancora capaci di dare giudizi indipendenti?

Inoltre, dopo la guerra, la corsa agli armamenti nucleari è continuata a ritmi crescenti. Essa ha coinvolto sempre più scienziati nei lavori professionali dei laboratori militari. Ma il sostenere questa corsa agli armamenti nucleari era eticamente corretto? Infine, i governi hanno richiesto ad altri scienziati consulenze sugli sforzi tecnologici da fare per vincere uno scontro nucleare, sempre più devastante per l'umanità e per la Terra; hanno questi scienziati promosso la pace internazionale, o piuttosto hanno accettato di essere dei tecnici al servizio del potere politico?

Nel seguito prenderemo in considerazione il periodo di tempo della guerra fredda, o meglio gli anni 1945-1967. Quest'ultima sarà giustificata nel seguito.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Le domande seguenti sono state già presentate in (Drago, Salio 1983) e (Drago 1985). Naturalmente, i problemi di cui sopra riguardano gli scienziati occidentali, poiché gli scienziati dell'URSS erano forzatamente inclusi in una politica generale che affermava di stare compiendo un salto storico a una nuova era del genere umano, salto ottenuto proprio con il progresso scientifico dell'URSS. Essendo lo stato collettivista, l'etica dei protagonisti di questo progresso, gli scienziati, veniva identificata con la politica del Partito-Stato; il quale lanciava petizioni mondiali per l'abolizione delle armi nucleari. Comunque, il fisico Piotr Kapitza riuscì impunemente a opporsi alla costruzione delle armi nucleari dell'URSS (Jungk 1958, cap. XV, par. IV).

<sup>3</sup> Il periodo successivo, in particolare "l'anno degli appelli" (Feld 1982), richiederebbe un diverso tipo di analisi.

## 2. Gli scienziati e l'etica

Tra i fisici è tuttora opinione diffusa che il loro lavoro non riguardi l'etica. Essi dicono spesso che essi fanno progredire le loro affascinanti ricerche perché si stanno divertendo. Questa valutazione deriva da una ingenua visione rousseauiana della ricerca scientifica: la ricerca è al di fuori del bene e del male, i suoi risultati sono del tutto buoni, le possibili applicazioni cattive casomai provengono dalla società. Secondo questa visione lo scienziato vive tutta la vita al di fuori dei problemi etici e sociali.

In effetti studi sulla professione dello scienziato sono stati piuttosto tardivi, sia rispetto alla nascita della sua istituzionalizzazione sia anche rispetto alla nascita degli studi sociologici. Ricordiamo che secondo il sociologo Joseph Ben-David (1971), l'attuale ruolo professionale degli scienziati, regolato dalle leggi dello Stato, è iniziato dopo il fallimento della rivoluzione francese, che era stata promossa e sostenuta da un gran numero di scienziati di quel tempo, in Francia e all'estero. È stata la borghesia al potere che ha imposto il curriculum formale presso le Università come corretta introduzione alla scienza, la carriera universitaria per essere riconosciuto come vero scienziato da una "comunità di pari scienziati", le Società degli scienziati (la prima è stata la "British Association for the Advancement of Science" nel 1830) e il controllo finanziario della ricerca universitaria da parte dello Stato.

Solo negli anni '30 è stata studiata l'etica professionale dello scienziato, vale a dire l'etica del ruolo da lui svolto dentro la sua istituzione e più in generale nella società. Robert Merton (1938; 1973) ha descritto l'etica degli scienziati come caratterizzata da quattro imperativi, tra loro correlati: l'universalismo, il comunismo (tra gli scienziati), il disinteresse e il dubbio sistematico. La loro etica è informata da uno spirito tradizionalmente religioso; egli l'ha chiamata "etica puritana".

Ma la società non è una mera somma d'individui; essa ha creato diverse e potenti istituzioni sociali. Tenendo conto di ciò, Max Weber (1930) ha distinto due tipi di etica personale: la "etica di convinzione", che si riceve dalle maggiori istituzioni sociali (per prima, quella religiosa); e la "etica della responsabilità",<sup>4</sup> i cui obblighi sono quelli prescritti dall'appartenere e rappresentare un'istituzione sociale (se si considera questa etica sotto una luce negativa, la si chiama etica machiavellica).

Per entrambi gli autori, la valutazione etica sulla scienza deve, prima di tutto, separare la scienza pura e la scienza applicata. La scienza pura, essendo il risultato diretto della ragione umana, dà solo risultati positivi, a parte alcuni suoi risultati che possono dare applicazioni tecniche inappropriate o maligne; il compito di evitarle appartiene non agli scienziati, ma ai governi.

Ambedue gli autori considerano la ricerca scientifica come un'istituzione eticamente positiva, perché rappresenta il progresso dell'umanità nei migliori termini razionali possibili. Inoltre, Weber vede lo stabilirsi della modernità nella società come un

---

<sup>4</sup> In realtà le denominazioni sono partigiane, ribaltano il senso delle due etiche. È l'etica dell'appartenenza ad una istituzione che dovrebbe essere chiamata di "convinzione" (politica), mentre l'altra dovrebbe essere chiamata "etica della responsabilità" di condurre bene la propria vita. In effetti il ribaltamento è funzionale all'aver assunto il punto di vista della istituzione, invece che quello della persona. Comunque, per evitare confusione, nel testo ci adeguiamo all'uso corrente dei due termini.

secolare processo di razionalizzazione della vita sociale, all'interno del quale egli attribuisce un ruolo centrale alla ricerca scientifica. Di conseguenza, l'etica del ruolo professionale di uno scienziato, cioè la sua etica della responsabilità, è massimamente positiva, dal momento che promuove direttamente la razionalità della vita sociale. Come dato di fatto, quasi tutti gli scienziati pongono la loro razionalità prima della loro etica di convinzione.

### 3. Come l'etica dei fisici è stata cambiata dagli eventi nucleari

Per rispondere agli eventi eccezionali della guerra mondiale del loro tempo, gli scienziati, in nome della loro etica di responsabilità, hanno chiesto e poi aderito in massa al Progetto Manhattan. Ma in questo modo essi hanno annullato la distinzione tra scienza pura e applicata.

Tanto più che essi hanno accettato di essere organizzati collettivamente come in una fabbrica; è nata la "big science", che li ha separati dalla "little science", la scienza artigianale che c'era stata fino ad allora. Ormai il singolo scienziato era dipendente non solo dall'accademia, ma anche dal grande gruppo dei colleghi che conducevano la stessa ricerca, diretta dall'alto di un vertice scientifico, ma anche militare e politico.

Inoltre, attraverso il loro inventare e costruire tali armi, essi hanno negato le caratteristiche basilari dell'etica mertoniana dello scienziato (Vadacchino 2002), in quanto hanno rinunciato a:

1. l'universalità della scienza: hanno accettato una vita segreta che separava loro e i loro risultati sia dalla società civile, sia dagli altri scienziati;
2. il comunismo: in ogni Paese il gruppo degli scienziati è entrato in una competizione per ottenere da solo e per primo delle armi letali da dare al potere militare e da usare anche contro i gruppi di scienziati degli altri Paesi;
3. il disinteresse: essendo stati massicciamente finanziati dallo Stato, gli scienziati hanno dedicato i loro sforzi per ottenere un obiettivo che era di interesse politico altrui, delle istituzioni militare e quella governativa; inoltre, hanno abbracciato una particolare politica internazionale del loro governo (la deterrenza nucleare);
4. il dubbio sistematico: essi non hanno avuto dubbi sulla bontà della loro ricerca e sul progetto politico della loro impresa; e anni dopo, quando i consiglieri dei governi parlavano al pubblico, presentavano delle verità assolute, perché certificate dalla (loro) scienza.

Di fatto, col progetto Manhattan gli scienziati sono usciti dalla concezione rousseauiana e/o mertoniana della scienza (anche se la loro coscienza non avvertiva ciò).<sup>5</sup>

Rispetto ai due tipi weberiani di etica, l'adesione al Progetto Manhattan aveva portato gli scienziati a mettere a tacere o a sacrificare la loro etica di principio (la quale non

---

<sup>5</sup> In proposito di solito si ricorda Enrico Fermi, il quale in nome della "bellezza" di quella ricerca, non voleva essere infastidito dagli "scrupoli morali" degli altri (Jungk 1958).



poteva ammettere che si facesse ricerca scientifica per uccidere di più e meglio!), per obbedire solo all'etica della responsabilità. La quale però era cambiata, perché non era più legata a una ricerca scientifica di tipo artigianale, ma a quella della "big science", che era stata legata fortemente allo Stato (vedasi ad esempio la testimonianza di Weisskopf 1983).

In più è avvenuto il bombardamento sulla popolazione civile del Giappone. I fisici del Progetto Manhattan ben sapevano che forti ragioni etiche e politiche lo rendevano una questione almeno controversa. Ma hanno dovuto sperimentare l'insistenza dei leader politici e militari che, senza scrupoli verso di loro, presentavano la decisione come inevitabile. Questo fatto li ha disillusi sulla sperata razionalità del governo e sulla loro indipendenza professionale.

Inoltre quei bombardamenti prospettavano un incubo. Weber (1930, p. 181) aveva previsto che il processo di razionalizzazione sociale poteva portare anche ad un risultato negativo; poteva far entrare l'uomo in "una gabbia di ferro". In realtà, la costruzione delle armi nucleari ha portato l'umanità a un risultato ben peggiore. Dopo la sperimentazione delle armi nucleari sulle città giapponesi, a tutti fu evidente che era diventata possibile la distruzione del genere umano. Ma questa potenzialità implicava un assurdo per l'etica della responsabilità di uno scienziato: l'uso di quelle armi, portando alla distruzione generale, distruggeva anche quell'istituzione sociale (la ricerca scientifica) che regolava la responsabilità degli scienziati; manifestamente questa etica della responsabilità non poteva ammettere la distruzione dell'istituzione stessa cui si riferiva quell'etica. Più in generale, la razionalità di ogni essere umano vedeva un altro assurdo: il plurisecolare processo di razionalizzazione sociale portava ad accettare la sua stessa fine con la fine del genere umano.<sup>6</sup> Essi hanno fatto entrare la razionalità dello scienziato in un vicolo cieco.

La nascita di questi due assurdi ha confermato in modo sorprendente l'antica etica di convinzione, il cui principio di base è non uccidere mai; questa etica adesso appariva molto saggia nell'aver sempre ammonito che le conseguenze a lungo termine di ogni uccisione sono imprevedibili. Tutto ciò ha scosso dalle fondamenta l'etica della responsabilità degli scienziati.

#### **4. L'assenso collettivo di gran parte dei fisici alla nuova situazione**

Davanti a questa nuova situazione, la quasi totalità dei fisici non ha manifestato problemi. Quando il Progetto Manhattan ottenne il risultato cercato, il problema di quale dovesse essere l'uso delle terrificanti armi creò una polemica che divise il gruppo degli scienziati. La domanda era: la distruzione di un'intera città per mezzo di un'arma nucleare – un atto sicuramente negativo sia per l'etica di convinzione di uno scienziato (non uccidere), sia per il diritto bellico – poteva forse essere consentita dall'etica della responsabilità rispetto all'istituzione ricerca scientifica (la quale voleva sperimentare il

---

<sup>6</sup> Qualche anno più tardi Jonas (1978) ha teorizzato una nuova etica, basata sull'imperativo di evitare quest'assurdità. Drago (2012) ha presentato un'etica ancor più generale.

suo risultato), o rispetto all'etica della difesa degli Stati democratici (che volevano difendersi dai nazisti)? Allorquando si dovette decidere che cosa bombardare con le armi nucleari, Szilard (lo stesso che aveva sollecitato, con Einstein, il presidente USA per istituire il progetto Manhattan) prese l'iniziativa di lanciare un appello al governo per impedire l'uso delle armi nucleari contro città (Szilard 1945). Ma pochi scienziati del Progetto Manhattan hanno aderito: 69.

Per altri scienziati l'unico problema è stato quello di venire liberati dal segreto militare. Si veda ad esempio la risposta di Edward Teller alla richiesta di aderire a quell'appello:

Questo è l'unico motivo per cui mi sento autorizzato a fare qualcosa: la necessità di togliere il segreto [militare], almeno su quanto riguarda le grandi questioni del nostro lavoro [da fisici]. La mia previsione è che questo sarà fatto non appena la situazione militare lo permetterà (Teller 1945).

In altri termini, il primo e unico scopo di Teller era di riguadagnare l'universalità della scienza; egli, fiducioso nelle tempestive decisioni del governo, si sentiva responsabile solo verso una libera ricerca scientifica.

Dopo il Progetto Manhattan, in occasione della corsa alla prima bomba H, divenne manifesto brutalmente che quasi tutti i fisici erano stati catturati dalla politica dello scontro nucleare con l'Est. Per questo, allora e successivamente, il reclutamento di scienziati per il lavoro militare è cresciuto senza ostacoli.<sup>7</sup>

L'opinione comune dei fisici sui colleghi che lavoravano in laboratori militari era di sostanziale solidarietà. Essa è stata dichiarata pubblicamente dal segretario dell'USPID (Unione degli Scienziati Italiani per il Disarmo):

... molti dei nostri colleghi che lavorano, per esempio nei laboratori americani o nei laboratori ex-sovietici dedicati allo sviluppo delle armi, non sono necessariamente dei guerrafondai. Questa è una cosa della quale è difficile, secondo me, farsi una ragione: l'essere coinvolti in processi di progettazione, costruzione e ammodernamento di armi per garantire la difesa del proprio paese, non necessariamente vuol dire essere guerrafondai (Lenci 2004, p. 10).

In altri termini, la dubbia razionalità della politica governativa aveva prevalso sull'indipendenza della razionalità degli scienziati.

---

<sup>7</sup> Nel 1967 avvennero manifestazioni di studenti e professori nei campus universitari. Comunque, più tardi, nel 1983 un'analisi accurata di tutti i contratti militari negli Stati Uniti ha dato come risultato che il 48 ± 4% di tutti i fisici stava lavorando per ricerche militari (Woollett 1983).

## 5. I fisici responsabili: quattro atteggiamenti etici

Per i motivi suddetti è nata anche una piccola ma significativa minoranza di scienziati responsabili, che hanno voluto rispondere autonomamente al problema sociale colossale delle armi di distruzione di massa.

Consideriamo allora la risposta etica di (principalmente gruppi di) fisici che si sono sentiti responsabili delle novità storiche. Questi fisici saranno classificati in quattro gruppi a seconda della loro etica della responsabilità rispetto alla loro istituzione, la ricerca scientifica, che però era diventata la “big science”, fortemente finanziata dallo Stato.<sup>8</sup>

1. Il gruppo di scienziati che consideravano la loro scienza un’impresa eticamente neutrale (pur sapendo che ora veniva finanziata fortemente dallo Stato e che una sua parte era stata militarizzata). Nonostante questa neutralità essi hanno voluto informare la società civile al fine di consigliarla su come evitare il pericolo rappresentato dalle armi nucleari. L’esempio più celebre delle loro dichiarazioni è il Manifesto Einstein-Russell (1955) (nel seguito: ERM) (Nathan, Norden 1981, pp. 623ss.; Ionno Butcher 2005). Per l’ERM i problemi (anche quello dell’etica della responsabilità degli scienziati) potevano essere superati una volta per tutte con un accordo di limitazione della politica bellica degli Stati.<sup>9</sup>
2. Il gruppo degli scienziati che si sono opposti alla ricerca scientifica finalizzata ai risultati militari, soprattutto quelli nucleari. Questo gruppo comprende i fondatori del mensile «The Bulletin of the Atomic Scientists», i fisici che a Roma durante la seconda guerra mondiale hanno sospeso le loro ricerche nucleari, Lisa Meitner, Hans Bethe, ecc. Un esempio rilevante delle loro dichiarazioni è stata la petizione Mainau (1955).<sup>10</sup> È chiaro che essi hanno messo in discussione non solo la politica estera degli Stati, ma anche il rapporto tra ricerca scientifica e Stato.
3. Il gruppo degli scienziati che si sono opposti anche all’energia nucleare civile. Questa opposizione è stata incisiva dopo il 1967, quando è nata l’UCS (Unione degli scienziati interessati), un gruppo. È chiaro che con quest’atteggiamento l’etica della responsabilità verso la ricerca scientifica veniva collegata non più allo Stato, ma alle scelte della popolazione.
4. Il gruppo di scienziati che hanno subordinato la loro ricerca scientifica (e quindi anche l’etica della responsabilità) all’etica di convinzione. Esso include: Giuliano Toraldo di Francia, Kapitza, Max Born, Franco Rasetti e anche alcuni fisici “pacifisti non-assolutisti”: Joseph Rotblat, Oppenheimer,

---

<sup>8</sup> La classificazione seguente è in accordo con i quattro atteggiamenti etici che tutti possiamo avere nei confronti della scienza (Drago 1996).

<sup>9</sup> Russell, l’estensore materiale dell’appello, si guardò bene dal far confondere gli obiettivi dell’ERM con quelli che (per propaganda?) lanciava l’URSS (anche tramite il fisico ben noto a livello internazionale, Joliot-Curie): l’abolizione delle armi nucleari (Russell 2003, p. xxv).

<sup>10</sup> È poco noto che essa fu anticipata di pochi giorni dall’ERM, perché Bertrand Russell a questo scopo ne affrettò il lancio pubblico. Egli non aderì a quella di Mainau, mentre invece Born, promotore di questa seconda, aderì all’ERM (Ionno Butcher 2005).

Alvin Weinberg.<sup>11</sup> È chiaro che essi hanno posto in questione, o sospesa, anche la etica della responsabilità verso la loro ricerca scientifica.

Gli atteggiamenti etici di questi quattro gruppi li hanno portati alle seguenti valutazioni della nuova situazione della scienza.<sup>12</sup>

1. Per sua natura la scienza è sia neutrale che buona; invece, le armi nucleari sono un male; ma una grande azione da parte della società civile può ripristinare la situazione di prima, o anche – a causa delle potenzialità del nucleare civile – può introdurre l'umanità in un nuovo "paradiso", dove non ci saranno più problemi, neanche per l'etica della responsabilità degli scienziati (anche se militarizzati). Questo è stato il messaggio basilare dell'ERM.
2. La struttura della scienza ora comprende un'attività molto negativa: la ricerca militare di armi nucleari; l'etica della responsabilità degli scienziati è in crisi; comunque, è necessario che il potere politico cambi politica estera, perché la guerra è diventata un pericolo mortale per l'umanità. Questo è stato il messaggio della dichiarazione di Mainau (1955).
3. La scienza, anche quella per le applicazioni civili, include il male; è necessario un cambiamento radicale sia dell'etica della responsabilità degli scienziati, sia dell'atteggiamento della società nei confronti dei risultati scientifici.
4. La struttura profonda della scienza comprende un male così estremo da portare al suicidio del genere umano attraverso diversi strumenti; è necessaria una nuova razionalità, tale da subordinare sia la scienza sia l'etica della responsabilità degli scienziati all'etica di convinzione (o, più in generale, all'etica della sopravvivenza del genere umano).

## 6. Gli scienziati responsabili: le prime strategie di impegno

Gli scienziati che si sono sentiti responsabili hanno dovuto scegliere una strategia di impegno verso sia l'opinione pubblica che i governi. Ci sono state sette strategie.

Per prima è stata sperimentata la strategia di far prevalere su tutto la propria etica di convinzione, fondata sul non uccidere: essa chiedeva agli scienziati di non entrare in progetti bellici. Questo rifiuto è stato compiuto da Toraldo di Francia, Born, Rasetti e

<sup>11</sup> Ricordiamo le gravi frasi di Rasetti («Hanno venduto la Fisica al diavolo»; «Lettera a Persico», citata in Quellet 2000, p. 111 e Addobbati 2001) e di Oppenheimer («I fisici hanno conosciuto il peccato; e questa è una conoscenza che non possono perdere»; Badash 1955, p. 57; v. anche Oppenheimer 1948, p. 66). Anche se scisso tra il pacifismo estremo e il coinvolgimento nel lavoro militare (Ventura 2005), Einstein appartiene a questo gruppo, dal momento che egli fermamente e a lungo ha lamentato che il progresso etico è troppo lento rispetto al progresso scientifico; inoltre, egli era un ammiratore incondizionato di Gandhi, considerato da lui come il maestro unico del XX secolo.

<sup>12</sup> Le valutazioni sono state ottenute considerando i cinque termini basilari dell'analisi di Weber (1930) del processo di razionalizzazione della società: scienza, male sociale, etica della responsabilità, razionalità, società. Pochi scienziati si sono interessati agli aspetti politici del loro tempo e ancora meno scienziati hanno razionalizzato gli eventi storici attraverso precise considerazioni di politica generale. Born sembra essere stato il più perspicace su questi argomenti.

Meitner. Questa etica chiedeva a quelli già entrati nel Progetto Manhattan di pentirsi e di lasciare l'attività scientifica di tipo militare. Almeno alcuni lo hanno fatto: Rotblat ha lasciato il Progetto Manhattan quando ha visto che la bomba non era più necessaria per sconfiggere Hitler (Rotblat 1985); e Oppenheimer si è pentito. Sul comportamento degli altri scienziati quelli che si rifacevano alla etica di convinzione sembrano aver condiviso i seguenti pareri (ottenuti parafrasando le frasi di Rasetti e di Oppenheimer): «I fisici del Progetto Manhattan hanno venduto la Fisica allo Stato militare»; «La comunità dei fisici ha conosciuto il peccato delle uccisioni di massa». D'altra parte, l'obiezione di coscienza al lavoro scientifico militare è stata considerata dai più come un atto individualista, forse giustificabile a livello personale, ma senza influenza sulla risoluzione dell'enorme problema sociale in questione. Ad esempio la citazione precedente del segretario nazionale dell'USPID continua con le seguenti parole:

... o si riesce a invertire complessivamente questa macchina [militare], oppure non è pensabile che, finché la sicurezza [nazionale ed internazionale] è legata alla forza, sia possibile arrestare questo volano dell'ammodernamento e dell'arricchimento degli arsenali nucleari (Lenci 2004, p. 10).<sup>13</sup>

Di fatto, il numero di obiezioni è stato molto piccolo e non ha ricevuto sostegno.

Una seconda strategia è stata quella di diffondere informazioni. Dopo aver sofferto il segreto militare, per alcuni scienziati del Progetto Manhattan le dichiarazioni pubbliche hanno rappresentato atti di indipendenza e di autonomia politica da militari e governi. Ma queste dichiarazioni hanno dimostrato che essi non avevano una gran capacità di diffondere informazioni, né di influire granché sull'opinione pubblica. Di conseguenza, questa strategia è stata rapidamente abbandonata, o lasciata a iniziative specifiche condotte da persone che ne hanno fatto un'attività professionale (ad esempio il «Bulletin»).

La terza strategia è stata quella di rispondere all'etica della responsabilità ora riferita alla società civile; hanno chiamato l'opinione pubblica ad influire democraticamente sulle decisioni dei rappresentanti politici. Questa strategia merita attenzione perché è stata scelta dagli scienziati più rappresentativi.

L'esempio più famoso è quello dell'ERM, firmato da un grande filosofo-matematico e da alcuni scienziati che erano considerati le menti superiori di quel tempo. Proprio perché erano scienziati famosi. Essi hanno voluto presentarsi come la coscienza razionale dell'umanità, cioè (in termini mertoniani) come i migliori e i più disinteressati consiglieri e promotori sia della razionalità sia del benessere del genere umano. Il loro appello voleva esprimere una visione razionale del mondo: volevano informare l'opinione pubblica su “un pericolo”, in realtà, si trattava della più grande distruzione si potesse immaginare (di cui non si assumevano la responsabilità di aver creato, né confessavano la loro crisi etica, a parte lanciare l'appello anche «in quanto esseri umani»); questa autopresentazione può forse essere interpretata come un abbandono

---

<sup>13</sup> È la stessa valutazione di (Calogero 1983), scritta al momento del dispiegamento dei missili Cruise a Comiso (Sicilia). L'autore è stato a lungo il segretario internazionale del gruppo Pugwash.

della loro etica della responsabilità per mettere in gioco almeno un po' la loro etica di convinzione?). Piuttosto, gli scienziati dell'ERM hanno voluto promuovere l'etica della convinzione degli altri, cioè nella società civile e nei politici, affinché questi prendessero le decisioni storiche per tutti.

Queste ambiguità dell'ERM hanno impedito un rapporto franco, non mitico, tra gli scienziati e l'opinione pubblica. Inoltre di fronte al grande pericolo per l'umanità la loro richiesta politica era minimale: ottenere «un riconoscimento pubblico» che «l'obiettivo [delle super-potenze di risolvere il loro conflitto] non poteva più essere perseguito con una guerra mondiale».

Invece la contemporanea dichiarazione di Mainau (1955) presentava una valutazione drasticamente negativa sulla nascita di una potente scienza militare («vediamo con orrore che proprio la scienza sta dando all'umanità i mezzi per distruggere se stessa»). Inoltre, questa dichiarazione è stata indirizzata direttamente ai governi, per influenzare le loro decisioni; cioè, questi scienziati si sono rifiutati di sottoporre la loro etica della responsabilità alla istituzione militare e alla politica nucleare dei governi, in particolare alla loro politica di deterrenza nucleare; e hanno cercato di convincerli razionalmente ad abbandonarla.

Una quarta strategia è stata quella della educazione della opinione pubblica e degli scienziati stessi. È stato temporaneamente seguita dall' ECAS (un'associazione di scienziati fondata da Einstein; è sopravvissuta alcuni anni) e dall'iniziativa permanente del «Bulletin». Sicuramente, questa seconda iniziativa è stata molto produttiva. Ha diffuso informazioni, ha aperto uno spazio per dibattere temi controversi, ha dato voce al dissenso dalle opinioni dominanti, ha sostenuto gli appelli degli scienziati ai governi. Insomma, ha compiuto una grande opera pedagogica e anche politica, rappresentativa del pluralismo di opinioni ormai vigente tra scienziati. È auspicabile che presto vengano compiuti studi dettagliati sulla strategia del «Bulletin».

Un'ulteriore strategia era quella di (promuovere o almeno) partecipare a un movimento sociale popolare che voleva influire sulle decisioni dei rappresentanti politici sulle armi nucleari. Alcuni scienziati lo hanno fatto.<sup>14</sup> Questi sono riusciti, almeno in alcune occasioni cruciali (Russell contro le armi nucleari inglesi, Linus Pauling contro i test nucleari nell'atmosfera), a influenzare sia l'opinione pubblica che, in parte, la politica dei governi. Dal 1967, la nascita dell'UCS e di altre associazioni (ad esempio la «British Society for Social Responsibility in Science») ha reso costante e regolare questa strategia.

## 7. Gli scienziati istituzionalizzati: le loro due strategie

Una sesta strategia è stata quella di accettare le consulenze governative. Vari autorevoli scienziati sono stati chiamati dai governi per ricavarne informazioni strategiche sugli

<sup>14</sup> Anche Russell e Rotblat, dopo aver redatto l'ERM, che non aveva obiettivi politici molto impegnativi, hanno partecipato alla fondazione e alle azioni molto incisive della Campagna per il Disarmo Nucleare, NDC.

aspetti scientifici degli accordi (e disaccordi) politici internazionali sulle armi nucleari.<sup>15</sup> Questi inviti governativi hanno generato anche risposte collettive. Per esempio, il segretario nazionale del suddetto USPID, ha dichiarato:

Noi, come Scienziati per il Disarmo, volevamo fare anche una cosa che in Italia non era mai stata fatta: volevamo essere un interlocutore credibile per le Istituzioni. Ai tempi delle Iniziative di difesa strategica avemmo degli incontri con le Commissioni Difesa della Camera e del Senato, proprio perché volevamo essere uno strumento che permettesse al governante, all'uomo politico, di meglio capire i dati delle diverse circostanze, delle diverse situazioni (Lenci 2004, pp. 10-11).

Questa strategia è stata presentata anche come un impegno per la promozione della pace internazionale. Ma in questi scienziati l'etica della responsabilità doveva riferirsi alla grande scienza, quella che era dipendente dai grandi finanziamenti del governo; cosicché il riferimento finale della loro etica della responsabilità era l'istituzione governo politico. Come dato di fatto, tra le due parti è avvenuto uno scambio: il governo ha dato finanziamenti generosi alla ricerca scientifica e in cambio questi scienziati gli hanno assicurato due funzioni sociali di cruciale importanza: lavorare come i più qualificati tecnici sulle questioni nucleari di politica internazionale e lavorare su questi argomenti scientifici come i migliori raccoglitori del consenso pubblico alla politica del governo.<sup>16</sup>

Una strategia particolare è stata quella del gruppo internazionale Pugwash (Nickerson 2013). Nel nome dell'autorità di una scienza neutrale rispetto a tutte le divisioni politiche nel mondo, è riuscito ad includere anche scienziati dell'URSS ed ha cercato di essere riconosciuti come mediatori indipendenti nelle controversie internazionale sui problemi nucleari. Naturalmente la loro azione, per farsi riconoscere come consulenti, era rivolta ai governi; di conseguenza, questa attività poteva essere compiuta solamente da scienziati autorevoli e rinomati. Perciò il gruppo Pugwash si è costituito come organizzazione di élitaria di vertice e ad ingresso solo per cooptazione. Questo gruppo è riuscito ad aprire alcuni canali di comunicazione tra Est e Ovest durante la Guerra Fredda.

---

<sup>15</sup> Un gran numero di scienziati (prima di tutti, Russell) hanno considerato i negoziati per il disarmo come un semplice strumento di propaganda delle superpotenze. Vedi anche (Panofsky 1981, p. 33).

<sup>16</sup> Il loro modo di presentarsi al pubblico come se fossero dei luminari ha suggerito ad (Alfvén 1981, p. 4) che essi si credevano dotati di un QI più alto del QI comune tra gli scienziati.

## 8. La complessità della situazione etica e strategica degli scienziati dopo il progetto Manhattan

Quale rapporto tra le suddette sette strategie degli scienziati con i loro quattro atteggiamenti etici illustrati nel paragrafo 5? La seguente tabella rappresenta una varietà di queste relazioni che non è immediato interpretare (tra parentesi il caso parziale).

	Neutralità della scienza	No al militare	No anche al nucleare civile	Etica sulla scienza
Informazione pubblica	x	x		
Educazione pubblica	x	x	(x)	(x)
Obiezione di coscienza		x	x	x
Appelli alla opinione pubblica e ai governi	x	(x)		
Movimenti sociali		x	(x)	(x)
Consulenti dei governi	x	(x)		
Consulenti nelle relazioni internazionali	x	(x)		

## 9. Tentativo di bilancio a consuntivo

Dopo il Progetto Manhattan l'immagine degli scienziati è cambiata in una pluralità di immagini, che varia da quella di uno scienziato obiettore di coscienza a quella di un scienziato pienamente coinvolto negli affari militari e politici; in più, persiste la tradizionale immagine dello scienziato mertoniano, tipico della scienza neutrale rispetto a tutta la vita sociale. Questa estrema varietà di immagini ha generato nel pubblico l'impressione di una ambiguità.<sup>17</sup>

Comunque un piccolo gruppo di scienziati si è impegnato in vari tipi di azioni pubbliche.

Coloro che hanno obiettato sono stati emarginati dalla stragrande maggioranza, ormai inquadrata nella grande scienza finanziata dai governi, ma anche da quegli scienziati che in qualche modo si sono impegnati.

Infatti le più famose azioni pubbliche sono state considerate le dichiarazioni-appelli. Con esse gli scienziati speravano che, quando la gente fosse venuta a conoscenza del pericolo estremo causato dalle armi nucleari, questo fatto da solo l'avrebbe portata a costringere i governi a prendere rapidamente accordi contro le armi nucleari. Ma questa visione è risultata ingenua, perché non teneva conto che nella società moderna, tra opinione pubblica e governo ci sono le istituzioni sociali intermedie (partiti, indu-

<sup>17</sup> Anche il sociologo che in precedenza aveva raffigurato molto diversamente gli scienziati, poi ha sottolineato la ambivalenza degli scienziati dentro le istituzioni (Merton 1973, pp. 33-55).



strie, amministrazioni, associazioni, ecc.); le quali non venivano coinvolte direttamente dagli appelli nella soluzione del problema.

Di fatto, nel periodo qui considerato (1945-1967) nessuna di quelle dichiarazioni ha indotto cambiamenti nelle decisioni dei governi, né ha cambiato il destino che il Progetto Manhattan aveva imposto alla scienza – trasformata nella “grande scienza”, che è anche uno strumento del potere politico e militare –, né ha cambiato la corsa alle armi nucleari che minacciavano la sopravvivenza del genere umano.

Di questo periodo quello che si ricorda di più è l’ERM; che però non è stato l’appello più chiaro, né il più forte (di fatto, esso fu scritto da un filosofo-matematico che espresse una sua idealizzata razionalità).

Per di più queste dichiarazioni non hanno espresso la più chiara coscienza dei nuovi tempi storici, perché è stato il rapporto Frank (Franck Report 1945), scritto ancor prima che fosse tolto il segreto militare e desegretato nel 1946), il documento migliore della coscienza degli scienziati. Il suo “Preambolo” è sicuramente il documento più rilevante sulla politica etica, strategica e internazionale in materia di armi nucleari. Purtroppo, è stato diffuso nella società civile per solo un breve periodo (pochi anni dopo la sua de segretazione) e non è stato mai citato dalle dichiarazioni successive.

Tra quelli che hanno scelto l’azione pubblica, sono altamente meritori quelli che hanno condotto il lavoro professionale del «Bulletin», sia per aver mantenuto alta, in mezzo ad una massa di scienziati poco preoccupati, la bandiera di coloro che invece si preoccupavano; sia per aver ben rappresentato la coscienza di questi scienziati, per quanto essi sono stati capaci di fare e di dibattere in pubblico.<sup>18</sup>

Col senno di poi, i consulenti scientifici dei governi non possono vantare qualche merito nell’aver promosso la pace influenzando sulle decisioni politiche. La folle crescita dell’arsenale nucleare (arrivata alla capacità di distruggere un centinaio di volte il genere umano), non è stata contrastata dai loro consigli; che non sono riusciti mai a dare un nuovo indirizzo alla politica governativa. Piuttosto è vero che essi hanno lavorato come tecnici, benché la loro responsabilità etica (in definitiva) verso i governi sia stata – in modo sistematico e senza pietà – smentita dagli eventi storici. 1) Durante la guerra, le democrazie non sono state sotto un attacco nucleare, perché Hitler non ha ottenuto la bomba. 2) Il governo degli Stati Uniti ha ingannato gli scienziati sulle reali motivazioni per bombardare Hiroshima e Nagasaki. Oltre quella ufficiale (porre fine alla guerra col Giappone; ma era falsa, perché oggi si sa con certezza che l’imperatore aveva già chiesto una resa onorevole), ci sono state altre due motivazioni importanti: ottenere un ritorno politico dal gigantesco finanziamento attribuito al Progetto Manhattan e sovrastare la rivale URSS nella regione del Pacifico. 3) Comunque, secondo l’allora vigente diritto bellico internazionale, che esclude attacchi alle popolazioni civili, i bombardamenti delle due città giapponesi sono da considerare un uso illegale delle armi e quindi crimini di guerra; dei quali anche gli scienziati collaboratori possono essere considerati responsabili. 4) Nel successivo dibattito sulla costruzione della bomba H, gli scienziati

---

<sup>18</sup> Purtroppo non tutti i dipartimenti italiani di Fisica (ad esempio quello di Pisa) sono abbonati a questa rivista, benché il costo sia minimo.

hanno dovuto capire che il governo, contrariamente alle loro speranze, non voleva la pace, ma la supremazia mondiale mediante le armi nucleari da loro prodotte. 5) Poi, una gran parte degli scienziati è stata inclusa nel lavoro professionale allo scopo di accelerare la corsa alle armi nucleari, piuttosto che per frenarla. 6) Gli scienziati sono entrati in un grande e complessa istituzione scientifica, la grande scienza, che è cresciuta secondo quanto il governo si proponeva, non sulla base delle loro decisioni indipendenti.

In totale, le azioni degli scienziati che si sono sentiti in qualche modo responsabili hanno ottenuto pochi e limitati successi nell'influenzare gli altri scienziati e l'opinione pubblica, ancor meno i leader politici e tanto meno i capi militari.

È anche deludente che gli scienziati di maggior successo sull'opinione pubblica e sui governi non siano stati quelli più direttamente coinvolti, vale a dire dei fisici,<sup>19</sup> ma un filosofo-matematico, Russell, e un chimico, Pauling (ha ricevuto il premio Nobel per la Pace, dopo aver ricevuto il premio Nobel per la Chimica); a quest'ultimo va il merito di aver guidato le manifestazioni popolari contro gli enormi inquinamenti dei test nucleari effettuati nell'atmosfera; che poi furono aboliti dal 1963; forse questo è stato il più grande successo ottenuto da scienziati. È dal 1967 che gli scienziati si sono riuniti in collettivi per compiere regolari attività di questo tipo.

Guardando oggi questo lungo periodo trascorso dopo il Progetto Manhattan, si nota che la immediata minaccia nucleare, da giorno del giudizio universale, è stata allontanata in maniera decisiva non da scienziati, ma dalle rivoluzioni non violente dei popoli dell'Est nel 1989. Questo fatto suggerisce che durante la guerra fredda la strategia migliore che gli scienziati potevano scegliere era quella di sostenere i movimenti di popolo, piuttosto che i governi. Questa strategia richiedeva che ci si rifacesse ad un'etica della responsabilità messa in relazione non al miglioramento della politica dei governi o delle relazioni internazionali, ma alla sopravvivenza del genere umano. Di fatto, a questa migliore etica sono stati più vicini gli scienziati che hanno seguito l'etica di convinzione che gli scienziati che hanno seguito l'etica della responsabilità, che in quel periodo scivolava ambiguamente nel riferirsi a tre istituzioni diverse per scopi e programmi politici: la istituzione ricerca, la istituzione militare e la istituzione governativa.

## Bibliografia

- Addobbati A. (2001). "Franco l'apostata". *Athenet*, 5 (dicembre), pp. 8-11.
- Alfven H. (1981). "Human IQ versus Nuclear IQ", *Bulletin of Atomic Scientists*, 37 (January), pp. 4-5.
- Badash J. (1955). *Scientists and the Development of Nuclear Weapons from Fission to Limited Test Ban Treaty, 1939-1963*. Atlantic Highlands (NJ): Humanities Press.
- Ben-David J. (1971). *The Scientists' Role in Society*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Buzzati Traverso A. (1982). *Morte Nucleare in Italia*, Bari: Laterza.

<sup>19</sup> Einstein è stato molto influente in entrambe le direzioni, cioè nello spingere per ottenere l'arma nucleare e nel consigliare l'opinione pubblica sul pericolo delle armi nucleari.

- Calogero F. (1983). “Scienziati e armi nucleari”. *Sapere*, 49 (luglio), pp. 37-39.
- Drago A. (1985). *Scienza e Guerra. La responsabilità degli scienziati*. Napoli: CUEN.
- Drago A. (1996). *Scienza*, in Lorenzetti L. (a cura di), *Dizionario di Teologia della Pace*. Bologna: EDB.
- Drago A. (2010). “Un’etica biblica da età matura del mondo”. *Rivista di Teologia Morale*, 165, pp. 71-84.
- Drago A., Salio G. (1983). *Scienza e Guerra. I fisici contro la guerra nucleare*. Torino: EGA.
- Einstein-Russell Manifesto (1955) [online]. URL: <[https://it.wikipedia.org/wiki/Manifesto\\_Russell-Einstein](https://it.wikipedia.org/wiki/Manifesto_Russell-Einstein)>. Traduzione italiana in <[http://www.greenreport.it/wp-content/uploads/2015/07/Manifesto\\_Russell\\_Einstein\\_Unipi.pdf](http://www.greenreport.it/wp-content/uploads/2015/07/Manifesto_Russell_Einstein_Unipi.pdf)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Feld B.T. (1982). “The year of appeals”. *Bulletin of Atomic Scientists*, 38 (December), pp. 6-9.
- Frank Report (1945) [online]. URL: <<http://blog.nuclearsecrecy.com/2012/01/11/weekly-document-9-the-uncensored-frank-report-1945-1946/>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Ionno Butcher S. (2005). “The Origins of the Russell-Einstein Manifesto” [online]. URL: <[https://pugwashconferences.files.wordpress.com/2014/02/2005\\_history\\_origins\\_of\\_manifesto3.pdf](https://pugwashconferences.files.wordpress.com/2014/02/2005_history_origins_of_manifesto3.pdf)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Jonas H. (1985). *The Principle of Responsibility*. Chicago: University of Chicago Press.
- Jungk R. (1958). *Brighter than a Thousand Suns: A Personal History of the Atomic Scientists*. New York: Harcourt Brace.
- Kendall H.W. (2000). *A distant light: Scientists and Public Policy*. Berlin: Springer.
- Lenci F. (2004). “Responsabilità della scienza nei confronti della pace e della guerra” [online]. URL: <<http://www.parcchiadipaterno.it/PDF/Pace%20-%20Lenci.pdf>>.
- Mainau declaration (1955) [online]. URL: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Mainau\\_Declaration](https://en.wikipedia.org/wiki/Mainau_Declaration)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Manifesto of the Ninety Three (1914) [online]. URL: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Manifesto\\_of\\_the\\_Ninety-Three](https://en.wikipedia.org/wiki/Manifesto_of_the_Ninety-Three)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Merton R.K. (1938). “Science, Technology and Society in Seventeenth Century England”. *Osiris*, 4, pp. 360-632.
- Merton R.K. (1973). *The Sociology of Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Nickerson S. (2013). “Taking a Stand: Exploring the Role of the Scientists prior to the First Pugwash Conference on Science and World Affairs, 1957”. *Scientia Canadensis*, 36 (2), pp. 63-87.
- Oppenheimer J.R. (1948). “Physics in the Contemporary World”. *Bulletin of Atomic Scientists*, 4 (3), pp. 66-68, 85-86.
- Oullet D., Buret R. (2000). *Franco Rasetti, physicien et naturaliste (Il a dit non à la bombe)*. Montréal: Guerin.
- Panofsky W.K.H. (1981). “Science, Technology and the Arms Race”. *Physics Today*, 33 (June), pp. 32-41.
- Rhodes R. (1986). *The Making of Atom Bomb*. New York: Schuster.

- Rotblat J. (1985). "Leaving the Bomb Project". *Bulletin of Atomic Scientists*, 44 (August), pp. 16-19.
- Russell B. (2003). *Man's Peril*. Rutledge: London.
- Szilard's Petition (1945) [online]. URL: <<http://www.dannen.com/decision/45-07-17.html>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Teller E. (1945). "Letter to Szilard, July 4<sup>th</sup>" [online]. URL: <<http://www.atomicarchive.com/Docs/ManhattanProject/SzilardTeller2.shtml>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Vadacchino M. (2002). "La morale degli scienziati e la bomba atomica" [online]. URL: <<http://cisp.unipmn.it/files/pubblicazioni/08-Vadacchino-Morale-e-scientiati.pdf>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Ventura T. (2005). *Einstein's Antigravity* [online]. URL: <[http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia\\_antigravity01.htm](http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_antigravity01.htm)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Weber M. (1958). *Science as a Vocation*, in Gerth H.H., Wright Mills C. (eds.). *From Max Weber: Essays in Sociology*. Oxford: Oxford University Press, pp. 129-156.
- Weber M. (1930). *The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism*. New York: Routledge.
- Weisskopf V.F. (1983). "Los Alamos anniversary: 'We meant so well'". *Bulletin of Atomic Scientists*, 39 (August-September), pp. 24-26.

## PHYSICS AND SCIENCE IN THE ANTIQUITY



# Epistemology of harmonics

Danilo Capecchi - Sapienza Università di Roma - danilo.capecchi@uniroma1.it

*Abstract:* Ancient harmonics is the theory of organization of notes with respect to highness or lowness of their pitches. It was a mathematical science, whose deep knowledge was not necessary for a professional musician and thus was cultivated essentially by mathematicians and philosophers. They considered harmonics as a mixed mathematics, where the mixing was between experimental assertions derived from hearing and propositions derived from reason, that is mathematics. This classification was maintained through Classic and Hellenistic Greece, Middle Ages and Renaissance. Notwithstanding the important role played by harmonics in ancient science, historians have given little consideration to it. In this paper it is shown as harmonics merits a careful study and that its methods are the same of other sciences. Attention is devoted both to Ptolemy conceptions who used for harmonics the same approach employed in his astronomy, astrology, and geography and Renaissance harmonics that was a crucial role in the epistemology of the new science.

*Keywords:* Harmonics, Epistemology, History of science

## 1. The science of harmonics in ancient Greece

The theory of organization of notes with respect to the highness or lowness of their pitches was named harmonics by Greeks. Harmonics was a mathematical science, thorough knowledge of which was not necessary for a professional musician and was thus cultivated essentially by mathematicians and philosophers. There were two main traditions, usually referred to as Pythagorean and Aristoxenian. The former assumed that pitches of notes could be represented by integers and their relations by ratios (usually simple ratios; this was the dominant position of music theorists, namely Philolao, Archytas of Tarentum, Plato, Euclid, Theon, Nicomachus, Ptolemy). The latter denied the fundamentality of the mathematical representation of the pitches and developed an essentially empirical approach, albeit quantitative and for this reason still flanked by mathematics.

Greek mathematicians and philosophers considered harmonics as a mixed mathematics (Renaissance terminology), the mix being between experimental assertions, derived from hearing, and propositions, derived from reason, that is mathematics. This classification was maintained throughout the Middle Ages, where harmonics was part of the quadrivium (arithmetic, geometry, music and astronomy), and the Renaissance

(Palisca 1985). In any scientific discussion of the 17th century, harmonics was involved. Despite the important role of harmonics in ancient science, historians of science have given little consideration to it.

Greeks did not use the concept of an absolute value for the pitch of a note; they only could say that one pitch was higher than another (today we know that pitches are associated with the frequencies of vibration of air, a physical magnitude measured in Hz – cycles per second. A note corresponds to a given frequency; for instance we associate 440 Hz with the note La). In a Greek context a note alone had no sense, it was “irrational” (Ptolemy 2000, p.15). A note thus should be associated with other different notes. They are termed *concordant* if create a homogeneous impression on the hearing, *discordant* if do not (Ptolemy 2000, p. 17). Instead of the actual musical instruments, for their experimental analysis the scholars of harmonics made use of the monochord, which was simply a vibrating string whose length could be varied. The number expressing the length of the monochord was associated to the note it produced. The ratios of length defined the intervals among notes. Typical ratios of concordant notes were 2:1 (octave), 4:3 (fourth), 3:2 (fifth).

## 2. Ptolemy’s *Harmonica*

Claudio Ptolemy (c.100 AD - c.175 AD) in his treatise *Harmonica* (Ptolemy 2000) resumed the positions of his predecessors. Though he could be classified as a Euclidean, he gave to experience a very high role.

*Harmonica* is composed of three books each divided into sixteen chapters. References concerning epistemology are scattered throughout the treatise. From the very first pages, it is quite clear that Ptolemy’s efforts indicate that his epistemology is not only about music but about all of the science. However, in the *Harmonica* the epistemological positions – surprising for us today – are fully explicit, more than they were for example in the *Almagestum*, which could appear to be a much more scientific text. Ptolemy sought an agreement between a mathematical theory, made explicit by a number of assumptions on numerical relationships, and experience, which concerns the consent of the human ear to sounds, in the sense that it finds them somehow melodious. Ptolemy was convinced that this agreement should exist because nature itself has an intrinsic harmony. It is man’s purpose to recognize this through the use of reason and senses.

The roles of reasons and hearing are distinct: «hearing is criterion for matter and condition, while reason is the criterion for form and causes» (Ptolemy 2000, p. 3) Ptolemy specified that the role of hearing is «discovering what is approximate and accepting what is exact», while the role of reason is «accepting what is approximate and discovering what is exact». That is, given two or more sounds, the role of hearing is to discover the approximate ratio of their pitches for which the sounds appear concordant. Then reason examines the ratios and corrects them if they appear irrational, that is contrasting with the hypothesis of harmonics. Subsequently these rationally modified ratios and mathematical inference from them are subject to hearing that could/should give its



assent. Ptolemy specified that sense perception is characterized by incertitude. In any case there is a limit to human perception. But a repeated hearing can help perceive even very small differences.

### **2.1. Ptolemy's musical hypotheses**

Ptolemy defined his musical hypotheses stating how they differed for those of the Pythagoreans and Aristoxenians. Those regarding Pythagoreans are of greater interest and only these will be remarked on.

Ptolemy said that their rational criteria were quite satisfactory, but they failed in some aspects; in particular they were not able to furnish rational criteria for all concords; for instance they could not justify the concord. Thus he suggested his own criterion, which actually was not very different from the Pythagoreans'. To the fully rational criteria Ptolemy added another of an empiricist nature.

Ptolemy was not troubled about mixing rational and empiricist principles; his epistemology permitted this, organized as it was in two distinct phases. The first inductive phase forwards the hypotheses. Here Ptolemy is completely free in his choice, which could even be made by chance – though this would be quite a modern approach. So any source could be assumed for the hypotheses made. In the second deductive phase theorems are derived from the hypotheses, assumed as principles of a *more geometric* argument. Theorems consist in propositions to be verified by hearing. If consent is gained the hypotheses are validated independently of how they were obtained.

## **3. Renaissance harmonics and acoustics**

It is a matter of fact that in the 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> centuries there was a great involvement of mathematicians on problems of music or better harmonics: René Descartes, Marin Mersenne, Johannes Kepler, Christiaan Huygens, Athanasius Kirker, John Wallis. Galileo Galilei considered several fundamental musical questions in his scientific writings and was not only a lutenist himself, but a son, brother, and father of musicians, in short, a member of a musical dynasty (Palisca 1961, p. 92). All of them rejected the old numerical concepts of Pythagorean origin, and looked for new solutions to the age-old riddle of consonances. All of them adhered to the Copernican theory.

### **3.1. Physical approach**

In the past – Ptolemy *docet* – harmonics was a mixed mathematics based on pure mathematical (both geometrical and arithmetical) basis, but neglecting many aspects that could be classified as physical, that is demanding causal explanations about generation and perception of sounds. While in the 16<sup>th</sup> century the main problem still concerned how to solve the problem of consonances, tuning and temperament, in the 17<sup>th</sup>

century, with the emergence of instrumental music, attention was focused on problems associated to new instruments, and studies on pipes also assumed relevance.

There were questions whose answers were not considered satisfactory by all. Why concordance shall be expressed as simple relations between numbers and why exactly by those numbers? How is man able to perceive a harmony in what might be only noise? To answer these questions, harmonics had to abandon the purely mathematical interpretation of phenomena and begin to explore the field of acoustics, a discipline that still belonged to the natural philosophy.

The study of acoustic led to a recognition of the laws for predicting pitches of vibrating strings, a quantitative theory of sound in air, a certain comprehension of the overtones and their superposition, the comprehension of the phenomenon of beats. Following the trend emerging in other mathematical-physical disciplines, acoustics was studied by mathematicians taking into account both causal explanations – characteristics of natural philosophy, particularly mechanistic – and experimentations. Experimentation, however, in many cases, did not assume for mathematicians the role that had in Ptolemy's harmonics – testing of a hypothesis –, but rather highlight new phenomena.

Vincenzo Galilei (c.1520-1591), Galileo's father, pursued a severe criticism to the Euclidean approach. He was a professional theoretical musician, whose fame rests on his pioneer working in the Florentine Camerata, a group of musicians who provided the beginning of Baroque music. In his *Dialogo della musica antica et moderna* (Galilei 1581) he launched a fierce attack to his master Zarlino. What is interesting from our point of view is that Galilei rejected the pure mathematical rationalist approach and asserted that there were no reasons to consider as natural those consonances that are in simple ratio. He was not convinced by an explanation based on numerology and that the series of simple numbers 1, 2, 3, ... it not the only one which could explain concordances. Everything depends on the quantities that are measured. In the case of the monochord the natural sequence 1, 2, 3, ... is the one associated to the lengths of the strings. But if one considers strings of the same length but subject to different force of tension, for example due to different weights, tone registers concordances for weights represented by the sequence  $1^2, 2^2, 3^2, \dots$

### 3.1.1. Giovanni Battista Benedetti

Giovanni Battista Benedetti (1530-1590), in two letters written around 1563 to the musician Cipriano de Rore (c.1515-1565), afforded the problem of consonances on physical basis. The letters were published in the *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* of 1585 (Benedetti 1585, pp. 277-283).

Benedetti drew his conclusions on the basis of various elements, meanwhile from empirical observation, then by his vocation toward mixed mathematical descriptions and then taking into account his knowledge of the natural philosophy of the time; in particular the conceptions of sound propagation. They were not very clear and probably not very original; essentially he believed that the vibration of a string transmitted their

motion to the air, with a succession of phases of maximum movement and stillness, which were perceived by the ear. The different vibration frequency characterizes a note.

Benedetti's main contribution involved the formulation of the mathematical law according to which the frequency of vibration of a string is inversely proportional to its length. His argument was however not based on a true demonstration. Benedetti also succinctly wrote something that explains, or at least that can be interpreted as an explanation of, the phenomenon of consonance referring to frequency vibration. Addressing in particular to the eighth, he pointed out that in every two vibrations of the shorter string, the longer one is in concordance with it: «will concur or percuss.» The reasoning is repeated for the fifth; so the phenomenon of consonance is explained by the concurrence of maxima for the vibration of air of the two strings. The circumstance that the consonance is explained with the periodic correspondence of vibrations is known as the *correspondence law*.

### 3.1.2. Isaac Beeckman

There are doubts that Benedetti's writings arrived to the ears of Vincenzo Galilei, but they for sure came to those of Beeckman who read *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* in 1633. He commented with appreciation on many sections, but Benedetti's two letters to de Rore were not among the passages quoted. He resumed the coincidence theory for the concordance, proving also what for Benedetti was a hypothesis, that is the inverse proportionality between length and frequency of vibration.

Beeckman's theory of sound is not simple also because it changed in time. Essentially Beeckman conceived sound as due to corpuscles (atoms?). Any vibrating source cuts the surrounding air into little (spherical) corpuscles that are sent away in any direction. When the corpuscles reach the sense of hearing they give raise to the heard sounds: «Sound [in the ear] is the way air was in the mouth of the speaker» (Beeckman 1939, vol. 1, p. 92).

In a first phase the different characteristics of notes, pitch, loudness, were explained by Beeckman respectively by the frequency of vibration – defined by the size of globes – and the quantity of air struck. Colour of tones was instead unexplained. Later on he explained pitches with speed and tone colour with the size of globes. In the first assumption the ratio of pitches corresponding to consonances is justified by the ratio of the size of globes. For instance the diameter of globes in an octave is 2:1. When assuming the second kind of explanation of the pitches, the consonance is associated to the contemporary presence in the vibrating air of an instant of rest, an explanation similar to that of Benedetti. For Beeckman the only pure consonance is the unison, all other consonances consist of a mixture of unison, when the speed of air is zero for both sounds, and dissonance, when the speed is zero in one case and maximum in the other.

### 3.2. Mersenne law for frequencies of vibrating strings

The quantitative dependence of the frequency of vibrating strings as function of the string characteristics, length, size, force of tension, is commonly named *Mersenne law*. Indeed although it was already known by others scholars, it was Mersenne that verified it through detailed experiments and diffused it. Mersenne referred to his founding in his studies of musical arguments that were collected mainly in two impressive texts, the *Harmonie universelle* of 1636-1637 with a total of about 1500 dense pages (Mersenne 1636), and the *Harmonicorum liber* of 1635-1636 of about 400 pages. By the end of the 16th century there was a great variety of musical instruments like the organ, the lute, the viola, the spinet, etc. which arose great interest in mathematicians and in Mersenne in particular.

Mersenne law was largely experimental; exception is for the dependence on the length that is ‘proved’ analytically. Mersenne resumed and perfected Beeckman’s reasoning, without mentioning it explicitly. Unlike Galilei, Mersenne believed to be important the determination of the actual value of the frequency, in cycles per second, and carried out direct measurements of frequency – counting the oscillations – in the case of a very long rope.

### 3.3. Overtones and harmonics

Another interesting phenomenon known at Mersenne’s time was the presence, empirically verified, of more notes in the sounds emitted by the various instruments including string instruments (presence of overtones) and the possibility of the presence of only notes higher than usual one (harmonic notes), which will be referred to as the fundamental note. Mersenne took care only of the first aspect that was well known since ancient times. The problem appeared difficult to explain because once the pitches were associated to the frequencies, the presence of multiple pitches simultaneously seemed to require that a body (a string) could vibrate simultaneously with multiple frequencies, and this was at least strange.

The possibility to hear only pitches higher than the fundamental ones is a much more complex phenomenon to explain. It was known in the late 17th century by some musicians and became the object of study by mathematicians. Experimental and theoretical analysis showed that the shape of a vibrating string could be in general much more complex than the ‘parabolic’ one commonly admitted. In particular there might be intermediate points of the string that are at rest. The possibility that there were intermediate fixed points, reported since the 18th century as *nodes*, was brought out first, experimentally, by John Wallis in 1677 (Truesdell 1960, pp. 118-120); but the author who first made a serious analysis of the harmonics was Joseph Sauveur (1653-1716) at the end of the 17th century. He introduced the terms *harmonic sounds* (or *harmonics*) among other things, for frequencies multiple of the fundamental one, and *ventres* (antinodes) and *nodes*, respectively for points of maximum and zero amplitude. He also con-

tributed to spread the term *acoustics* to indicate the science of sounds in general (Sauveur 1701, p. 299).

#### 4. Conclusions

Harmonics had been an important mixed mathematical science from Classical and Hellenistic Greece, throughout the Middle Ages and Renaissance. Despite this, however, it has been largely ignored by historians. This paper shows that harmonics merits a careful study and that its methods are the same as that of other sciences, such as astronomy or mechanics, to name but a few. Harmonics, perhaps, was the only scientific discipline where experience consisted of real experiments, very similar to those carried out in modern laboratories. Traditional harmonics provided an interesting rationalization key of musical compositions. But there were questions whose answers were not considered satisfactory by everyone. To answer these questions, harmonics had to abandon the purely mathematical interpretation of phenomena and begin to explore the field of acoustics, a discipline that until the 17th century belonged to the natural philosophy.

#### References

- Beeckman I. (1939). *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634*. The Hague: Nijhoff.
- Benedetti G.B. (1585). *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*. Turin: Nicolai-Bevilacqua.
- Galilei V. (1589). *Discorso di Vincentio Galileo nobile fiorentino intorno all'opere di messer Gioseffo Zarlino da Chioggia*. Florence: Marescotti.
- Mersenne M. (1636-1637). *Harmonie universelle, contenant la theorie et la pratique de la musique*. Paris: Ballard.
- Palisca C.V. (1985). *Humanism in Italian Renaissance. Musical thought*. New Haven: Yale University Press.
- Ptolemy C. (2000). *Ptolemy Harmonics*. Translated by Solomon J. Leiden: Brill.
- Sauveur M. (1743). "Système général des intervalles des sons, et son application à tous les systèmes et à tout les instruments de musique". *Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris*, pp 299-366.
- Truesdell C.A. (1960). *The rational mechanics of flexible or elastic bodies. Leonhardi Euleri Opera omnia*. Series 2, vol. 11, part 2. Basel: Birkhäuser.



# The ancient atomism and peculiar consequences

Francesco Castaldi - Unione Astrofili Italiani - francesco.castaldi@gmail.com

*Abstract:* This study is designed to provide evidence of the numerous consequences inherent to the atomic composition of matter, beginning with vacuum space. Atoms and void are two topics that are tied both one to another and to Greek authors Leucippus and Democritus, who presented information about them. In our time, with the benefit of numerous discoveries in Physics achieved over centuries, these ideas seem obvious. However, from its first proposition in the V century B.C., the atomic theory of matter – the idea that matter is composed of tiny particles not discernible to our senses – was rejected by philosophers, most of them supporting the elemental theory, i.e. that fundamentally matter is made of few elements: fire, water, air, and earth. For many centuries, it seemed that every book concerning atomic theory had been lost. However, at the beginning of the XV century Poggio Bracciolini – a Florentine involved in Renaissance culture – discovered a medieval codex of Lucretius' *De Rerum Natura*, a complete treatise of Epicurean philosophy. Lucretius' scientific poem contained the only surviving text about the ancient atomic theory. Of course in this present work the religious and moral implications of Epicurean philosophy are not considered – its purpose is to explore possible links with the modern physical sciences.

*Keywords:* Titus Lucretius Caro, ancient atomism

## 1. Introduction

Some experimental conquests derived from antiquity are valid today: in the astronomical field the discovery of equinoxes precession was the most important. At the same level of importance, the solar orbit's eccentricity reckoned on the unequal length of seasons.

On the contrary, as a mere speculation an idea emerged and was discussed starting from its proposal: matter's corpuscular composition made of various particles out of our sensibility. In the hands of defamers, it became a theory of matter and void (space completely vacant of particles).

## 2. Something out of reach of our senses

Atomism could be an idea similar to others Greek philosophers in search, among the physical displays of matter, of the essential components for all things; but many of

them rejected basic opinions and four elements emerged: macroscopic, acceptable, practical issues on which discussions and imaginations can develop.

In Lucretius's *De rerum natura*, I century B.C., we find the first critical opinion against idealistic philosophers [I, 711]:<sup>1</sup> «extremely far from the truth». So that he defines them [I, 714-716] «who think that from these four things, from fire, earth, air and moisture, all bodies may proceed. Among the chief of whom is Empedocles of Agrigentum». On the contrary, the atoms not visible and ignored by our senses developed a series of opinions able to make them realistic, through their agglomeration.

Among the promoters, Leucippus and Democritus, V century B.C., we've got fragments and abstracts only, written sometimes after several centuries. From the ancient philosophers we have no complete books at our disposal, but only a collection, *The Presocrats*, by the philologist Herman Diels (1990). This work was enriched for several years since the beginning of the XX century. It was a timely work, but at the same time it brings to note what we lose about the original classical trends of thought, and for always. Nevertheless, vestiges always existed and Dante shows a never forgotten tradition: «Democritus who puts the world on chance» [Inferno, Canto IV, triplet 46]. Like us he knew indirect news old of centuries, but neither Dante nor others referred to Lucretius's *De rerum natura*, while he sentences to damnation as heretics «with Epicurus all his followers / who with the body mortal make the soul» [Inferno, Canto X, triplet 5].

### 3. Rediscovery and notes

A great jump happened when the full codex of atomistic canons reappeared in the middle of humanistic culture, the first decennials of XV century: never such an event happened in the right moment. The manuscript discovered by Poggio Bracciolini, had been written about the VII century, but it could be interesting to know in which context this happened and why. However, this one was not the unique codex saved, because there are two other tracked down about the IX century; so that we make the same questions.

To be clear, from Arabic civilisation a revival of interests arrived in Europe concerning a part of that Greek culture flowered along the Mediterranean Sea, so that it's not meaningless if philosophers as Plato and Aristotle were largely followed and studied. While the atomistic theories, representative of an important aspect of ancient culture, were despised and forgotten, *De rerum natura* survived here and there exclusively in the European Middle Ages. From the new copy ordered by Bracciolini, the diffusion of this book started, accelerated in a second time by the printed editions.

Ferrando da Brescia produced the *editio princeps* in 1473, followed by three others in the Veneto region before the end of XV century. On 1511 a professor of Bologna University, G.B. Pio, went on with an edition (Pio 1511) granting that “the Lucretian codex is accurately correct, free of all knots and difficulties; many laws, hushed up or ignored by the passed ages, are treated with peculiarity and following different Latin or

<sup>1</sup> From here on, we draw some inspirations from the English translation in (Lucretius 1870). As to the references, for example the verse 54 of Book II becomes [II, 54].



Greek authors”. The introduction of Pio refers to atoms and void space deducing: “from here on, as Democritus does, the generated worlds of which it’s supposed an endless number and which are perishable and with some parts evolving”.

Other Latin editions were printed in Europe. In 1570 D. Lambin (1570) published one very accurate edition with the permit to print of king Charles IX of France. From Lambin’s presentation, we check [p. 49] that the most famous ancient scholars were divided into two categories: followers of atomism, as Leucippus, Democritus, Metrodorus, Epicurus; and opponents to it as Empedocles, Plato, Aristotle, the Stoics. The first translation with comments in a vulgar language was printed in Lyon by Decouture (1685) with the *privilège du Roi* Louis XIV. Also Copernicus in his manuscript of *De revolutionibus* made an unequivocal reference to atoms, censored by his editor and never printed from the *editio princeps* on; it is however preserved in the handwritten original.<sup>2</sup>

#### 4. Inside Lucretius’s poem: terminology and atoms

Lucretius well knew even the linguistic difficulties for this new theory [I, 136-139]: «Nor does it escape my consideration, that it is difficult to explain in Latin verse the profound discoveries of the Greeks, especially since we must treat of much in novel words, on account of the poverty of our language, and the novelty of the subjects». Lambin’s opinion was that the Latin is not poor of words, but doesn’t adapt to this science.

With reference to Lucretius, he never used the word “atom”; instead of it, he employed *corpora prima*, *primordia* and others, as we’ll see below. We appreciate *exordia rerum* [II, 333] as “elements” because this is valuable for us too, but the majority of translators explains *semina* [II, 284] and *principia* [II, 293] only by the term atom. On the opposite, the simple *corpora* may mean “atoms agglomeration” able to produce a body, but not always this is clarified for what we intend as to different ideas. Sometimes, without specification, Lucretius inserts his fundamental opinion: the phenomenon, he writes about, is referred to single particles or their associations, homogeneous or heterogeneous, without distinctions. Also, in the first Italian translation (Lucretius 1717) the word “atomo” never appears; the term body, if not specified, is not a problem: it’s matter in any case.

##### 4.1. The fundamentals: body and space

Lucretius’s definition [I, 418-421]: «As it is, therefore, all nature of itself consists of two parts; for there are bodily substances and vacant space, in which these substances

<sup>2</sup> The editor, the Lutheran theologian A. Osiander, erased the phrase in his handwritten copy to print in Nurnberg, 1543. This copy disappeared, while – incredibly – the original is now preserved in Cracow, from which the anastatic printing is available (Copernicus 1973).

are situate, and in which they are moved in different directions». Lambin's explanation: [p.49]

As a matter of fact, the void does not and cannot get anything; only it let to bodies the movement way, the space and the possibility. So that Epicurus defines it, place and space. On the contrary Empedocles and Plato and others before Plato denied the void into things. Aristotle [...] admits the void beyond our world [...]. Stoics say inside the world nothing is empty, while beyond it there is the endlessness.

Philosophers with a disease called *horror vacui* triumphed for two millenniums. In the meantime Lucretius defined "primary bodies" as [I, 539]: «solid and without void, they must of necessity be eternal». Moreover [I, 574; 609]: «closely compacted and of powerful strength» in order to overcome for the eternity the renovation cycles of the bodies that they constitute. With the common idea that [I, 544]: «nothing can be produced from nothing and that which has been produced cannot be resolved into nothing», almost all are consentient, Aristotle too: «*nihil ex nihilo fieri posse*».«»

Let's go on now, where Lucretius adapts an atomic bond to the comprehension of people of his times [II, 333]: «learn now, in the next place, of what nature the primordial elements of things are, and how they are very different in their forms; how they are varied by manifold shapes». And he confirms [II, 479]: «the primary atoms of things vary in figure, but only with a limited number of shapes». From this diversity a "mechanical" predisposition to bound together comes out: to our about 100 chemical elements, Lucretius set against his *primordia rerum* in a scarce number of shapes and with selective capacity to bound to each other. Consequently, it's impossible to have infinite shapes and variety without thinking to enormous atoms, because [II, 483]: «within the same individual minute frame of any seminal principle, the figures or arrangements of its parts cannot vary much among themselves». It is clear that every atomic shape has an infinite number of atoms [II, 525-528]: «for, since the diversity of their forms is finite, it necessarily follows that those which are alike are infinite, or it would appear that the sum of matter must be finite». A deduction declared unacceptable a little above.

The agglomeration of simple particles induces to think to molecules and their formation due to some characteristics of the components [II, 682]: «These things must therefore consist of various conformations of atoms». And: [II, 686-687] «Dissimilar forms of atoms, therefore, combine in one mass, and things consist of mixed seminal principles». From here he starts the comparison with the words made of various combinations of the restricted number of alphabet letters: [II, 695-698] «Likewise in other matters, many common elements, as they are the primary principles of many things, may yet exist in dissimilar combinations among themselves; so that the human race and the fruits and the rich groves, may justly be considered to consist each of distinct original particles». But Lucretius anticipates critics [II, 700]: «nor yet it is to be thought that all particles can be combined in all ways». And, figuring the resulting monsters that would occur, he adds that all bodies retain what was imprinted in their origin [II, 710]: «And it is plain that this must necessarily be the case according to strict method and laws». Here we see that the words of Dante about Democritus are not valid for Lu-

cretius, because the matter follows its own rules, as we studied in chemistry for the molecular processes.

It's time to speak about space, which intervenes in order to permit the formation of compositions starting from collisions among particles and to introduce what governs body's formation. The suggestion of vacuum space doesn't spring in the brain of atomistic philosophers as a self sustaining statement, but as a consequence of the union of elementary particles in order to produce matter, because from movement derives everything [I, 329; 336]: «nor, however, all things held enclosed by corporeal substance; for there is a void in things; [...] If this were not the case, things could by no means be moved». Some passages are exemplar [II, 225-229; 235-236]:

But if, per chance, any one believes that the heavier bodies, as being borne, more swiftly straight through the void, might fall from above on the lighter ones and thus produce concussions, which might give rise to generative movements, he departs far from just reasoning. [...] But, on the contrary, a pure vacuum can afford no resistance to anything in any space, or at any time, but must constantly allow it the free passage which its nature requires.

In void the equal fall velocity of bodies, different in weight and form, went on to generate discussions for centuries while to the atomists it was obvious. Therefore, we ask how the primitive collision happens between particles.

#### 4.2. *The clinamen*

In order to realize the formation of bodies, let us see an opening phrase [II, 84-86; 95-104], followed by the conclusion [II, 238-250] after examples here omitted:

Since the primary particles of things wander through the space, they must necessarily be carried forwards by their own gravity or by chance by a strike with another one. For when they have struck against one another it happens that they start asunder in different directions. [...] No rest is allowed to the primary bodies passing through the void profound, but rather, driven by perpetual and constant motion, part when struck by another one, rebound to a great distance, and part almost are not rebounded. Whatsoever particles being brought together in a more close congeries, rebound only to small distances, as being involved by their own entangling shapes, and form the strong substance of rock and the rigid consistence of iron and a few other things of their kind.

All bodies, when put into motion, must be equally borne onwards, though not of equal weights, through the unresisting void. The heavier ones will therefore never be able to fall from above on the lighter, nor of themselves produce concussions, which may vary the motions by which nature performs her operations. For which cause it must again and again be acknowledged that bodies decline a little, but the least possible space: lest we should seem to imagine oblique motions, and truth should refute that supposition. For this we see to be obvious and manifest that heavy bodies, as far

as on themselves, cannot, when they fall from above, advance obliquely; a fact that you may yourself see. But who is there that can check that nothing at all turns aside from the straight direction of its course?

This “clinamen”, or imperceptible deflection, should insinuate if we are able or not to perceive a deviation from the vertical fall of a whatsoever body. Lucretius justifies this obvious statement to our free will when we do not trust luck or destiny of our actions [II, 255-293]. Obviously it’s not the case to follow him in a similar discussion; nevertheless, from here he arrives to the important consideration around the agitation of atoms that is at the origin of formation and disintegration of matter as we know it.

### 4.3. *The perennial agitation of particles*

We finally arrived to the breach of this irrational construction based on hypothesis with no verifications. Yet, other imaginations of philosopher of the same age of atomists were for two millenniums accepted and adopted by civilisations that were, at a first sight, without relations or almost opposite to the Greek one.

All finished when more and more scholars made a rebellion in the name of atoms, because they let to perceive new points of view on the physical world. Since the beginning of his work, Lucretius promises to explain the consequences, in case we accept atomism [II, 62-65]: «I will explain by what motions the generative bodies of matter produce various things and resolve them when produced; by what force they are thus compelled to act and what activity has been communicated to them for passing through the space».

Matter is never compact because its particles are in a continuous agitation, as we notice looking at the powder across a Sun ray in a dark room [II, 132-141]:

Doubtless this errant motion proceeds from the primary elements. For the first primordial atoms are moved of themselves, then those bodies which are of light texture and are nearest to the nature of the primary elements [molecules] [...]. Thus motion ascends from the first principles [atoms] and spread forth by degrees to our senses and to those particles which we see in the light of the sun. Though it is not clearly evident by what means it happens.

Science calls them the Brownian motions of molecules tested in fluids and studied in the middle of XIX century. But Lucretius is happy to infer [II, 312-314]: «For the nature of original principles lies far removed from our senses; for which cause, while you cannot see the thing itself, it must hide its motion too».

## 5. The fire

To Anaxagoras’ *homeomeris* (*all already in all*), Lucretius set against – as an example – the spontaneous flames in woods stirred by winds [I, 901-903]: «And yet, the fire is not

inherent in the wood but there are in it many flammable particles which, when confluent by friction, produce a conflagration in the forests». It seems that combustible and oxygen are together in the wood, so that the heating due to friction produces fire. This idea of fire yet in flammable materials returned with the pure fire, the *phlogistus* of G.E. Stahl. Lavoisier reached the solution thank to the new discovery of oxygen (Zingales 2006).

## 6. Colour of the elementary particles

Another important step forward [II, 737]: «in the elementary atoms of matter there is no colour at all». This one depends on the position in which a certain body is fitted when lighted [II, 800]. As a consequence, [II, 832-833]: «So that you may from this infer that the small parts of bodies throw off all colours, before they are reduced to their ultimate atoms», which are no more visible. Besides, all particles cannot be distinguished [II, 842-864] in relation to temperature, sound, taste and odour.

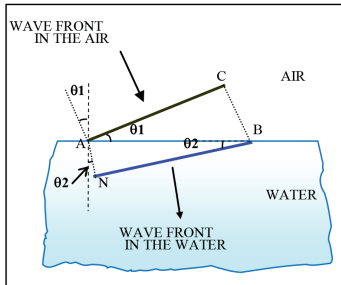
## 7. Astronomy and cosmology

Also in relation to their contemporaries, the atomists had not profound knowledge of astronomy as we read in Book V, and exemplar is the discussion against “antipodes” people, as well as the impossibility to explain seasons [V, 1436].

On the contrary Lucretius had a modern point of view toward valid cosmological questions due to the infinity of atoms. The consequences emerged in a lot of opinions [II, 1048-1076]: «the first point is that in every direction around us, on all sides, above and below, there is no limit through to the whole of space [...]. By no means can it be thought probable [...] that this one globe of the earth and this one heaven have been alone produced and those innumerable particles of matter do nothing beyond [...]. For which reason it is irresistibly incumbent to admit that there are other combination of matter in other place such as in this world. [...] You must necessarily suppose that there are other orbs of earth in other regions of the space and various races of men and generation of beasts». All that is for the joy of fans and explorers of exoplanets and aliens.

## 8. A short jump in the Year of Light 2015

To the instantaneous propagation of light the atomists oppose its transportation by means of tiny atoms, with consequent maximum speed in void. But still on 1604 Kepler wrote: «There is not a material means that oppose resistance to light because it has no matter, so that its speed is infinite» (Kepler 1604, chapter I, proposition V). On the contrary, in 1638 Galileo expressed some doubts, but failed in proposing the right experiments; only O. Römer (1676) ascertained a finite value of light speed, so that aroused the problem in which medium it could be greater (Gettys 1989, p. 799).



**Fig. 1.** Picture of Snell equation

Figure 1, according to the wave theory of Huygens, explains that the speed in water is lower than in air, according to Snell refraction law:  $\sin\theta_1/\sin\theta_2 = \text{constant}$ . On the contrary, Newton, setting a corpuscular theory, wrote (Newton 1730, p. 245): «If light be swifter in bodies than in vacuo in the proportion of the sine which measure the refraction of the bodies, the forces of the bodies to reflect and refract light, are very nearly proportional to the densities of the same bodies». Though with an “if”, Newton’s proposal was: speed  $v_2$  in water greater than  $v_1$  in void according to the proportion:  $v_2 = (\sin\theta_1/\sin\theta_2) \cdot v_1$ ; i.e.  $\sin\theta_1/\sin\theta_2 = v_2/v_1 = \text{constant}$ . But this inverse of speeds was mistaken as experimentally demonstrated by Foucault in 1850. As to the speed, it’s in agreement with the ancient atomists.

## References

- Copernicus N. (1973). *Fac-similé du manuscrit du De Revolutionibus*. Paris-Warsaw-Cracow: Academie Polonaise des Sciences et Centre National de la Recherche Scientifique.
- Decouture B. (1685). *De la nature des choses*. Lyon: Molin.
- Diels H. (1990). *I presocratici*. Roma-Bari: Laterza.
- Gettys W.E., Kellow F.J., Skove M.J. (1989), *Physics*. New York: McGraw-Hill, p. 799.
- Kepler J. (1604). *Astronomiae pars optica*. Frankfurt: Marnium.
- Lambin D. (1570). *De Rerum Natura*. Paris: Benenatum.
- Lucretius T. (1717). *Della Natura delle Cose*. Italian translation by Marchetti A.. London: Pickard.
- Lucretius T. (1870). *The nature of things*. English translation by Watson J.S.. London: Bell & Daldy.
- Newton I. (1730). *Optics*. Fourth Edition. London: Innys.
- Pio G.B. (1511). *In Carum Lucretium poetam commentarii*. Bologna: de Benedictis.
- Zingales R. (2006). “La scoperta dell’ossigeno” [online]. URL: <[http://math.unipa.it/~grim/dott\\_HD\\_MphCh/scoperta\\_ossigeno\\_zingales\\_06.doc](http://math.unipa.it/~grim/dott_HD_MphCh/scoperta_ossigeno_zingales_06.doc)> [access date: 01/04/2016].

# Il paradigma euclideo e la sua eclissi

Renato Migliorato - Università di Messina - renato.migliorato@gmail.com

*Abstract:* In several previous publications, the author outlined the fundamental characters of a scientific paradigm used in the third century b.C. that he calls *Euclidean paradigm*. Such paradigm was autonomous from any metaphysical speculation, as already observed by various authors starting from Neugebauer and Knorr. The lack of primary sources makes its origin and its previous evolution very difficult and controversial. Here we investigate on the reasons, the times and the forms of its eclipse.

*Keywords:* History of Ancient Science

## 1. Introduzione

Nel mio volume *La ragione e il fenomeno* (Migliorato 2012, p. 114) richiamavo un breve passo di Wilbur Knorr (1978) in cui si esprimeva la convinzione che i matematici dell'antichità greca operassero secondo una tradizione di *problem solving*, senza lasciarsi coinvolgere o influenzare dalle opinioni dei filosofi. D'altra parte anche Neugebauer aveva decisamente negato l'influenza di Platone e del suo pensiero sulla matematica greca (Neugebauer 1972; Migliorato 2012, p. 110).

Nei precedenti lavori sull'argomento,<sup>1</sup> alcuni dei quali in collaborazione con G. Gentile, l'autore sviluppava un'ipotesi interpretativa secondo cui la produzione scientifica nel III sec. a.C. si sarebbe svolta sulla base di un ben preciso e autonomo paradigma, che per comodità chiamava *paradigma euclideo*, sulle cui origini, però, si lasciava sostanzialmente aperto il problema, data soprattutto l'assenza di testi originali precedenti agli *Elementi* di Euclide.

Nasce tuttavia un problema di non facile soluzione. Ci si può chiedere, infatti, perché nei secoli successivi non vi sia traccia, né diretta né testimoniale, dei principi su cui tale paradigma sembra procedere, ed anzi, a partire dal primo secolo d.C., l'abbondante materiale critico che si costituisce nella tradizione dei *Commenti*, sembri avvalorare l'idea di una scienza profondamente radicata nella tradizione platonico-aristotelica.

Le ipotesi di spiegazione che in vari momenti ho cercato di sviluppare, sebbene più complesse e articolate, si presentano indubbiamente parziali e non prive di problemati-

---

<sup>1</sup> Tutti di volta in volta citati nel testo o in nota, oltre che nella bibliografia. Va precisato che rispetto alle prime formulazioni, contenute soprattutto nei lavori del 2005, l'autore ha maturato qualche parziale ripensamento che lo induce, oggi, a non dare per scontata quella svolta radicale già qualificata come "rivoluzione euclidea". Ciò non mette in discussione l'esistenza di un ben definito paradigma scientifico, testimoniato per la prima volta dagli *Elementi*, ma lascia aperta la questione del quando e come quel paradigma si sia costituito con i caratteri rilevati.

cià. Lungi, inoltre, dall'aver pretese di esaustività, esse si pongono come punto di avvio di ulteriori e più puntuali approfondimenti. Da qui il presente lavoro che si propone un ulteriore passo in questa direzione, assieme, com'è ovvio, ai necessari, se pur sintetici, richiami di quanto già detto in precedenti pubblicazioni.

## 2. Il problema

Un'opera che appare significativa per la nostra analisi è costituita dalle *definitiones*, una raccolta di definizioni di termini tecnici, attribuita quasi unanimemente a Erone, e destinata, per esplicita dichiarazione dell'autore, a rendere agevole la comprensione dei testi matematici a chi si accinge ad affrontarli per la prima volta. Sebbene l'attribuzione ad Erone sia stata messa qualche volta in discussione, non ritengo di soffermarmi su questo punto perché non credo che una diversa attribuzione possa portare a sostanziali differenze in ciò che sto per dire, né mi pare che la datazione possa essere discostata di molto da quella attualmente presunta (I sec. d.C.). Oltre che al testo originale nell'edizione di Heiberg (1912), qui si farà riferimento all'edizione curata da G. Giardina (2005) con traduzione italiana e commento.

La spiegazione data dall'autore nella dedica sulle ragioni dell'opera<sup>2</sup> appare di per sé plausibile. Nessun testo scientifico, e men che mai un'opera altamente deduttiva e astratta come gli *Elementi* di Euclide, può risultare comprensibile se non si possiede un'adeguata spiegazione dei termini tecnici. Da qui scaturisce la vera domanda: perché solo allora? Perché nei secoli precedenti non se ne è sentita la necessità? Perché le spiegazioni erano assenti negli stessi testi scientifici?

Proviamo allora a chiederci in che modo sia possibile il primo accostamento da parte di un profano a una disciplina scientifica altamente astratta e formalizzata, come la matematica, e di cui si vuole intraprendere per la prima volta lo studio.

Perché ciò avvenga direttamente affrontando il testo scritto senza una precedente preparazione, è necessario che all'inizio del testo, o accanto ad esso, siano disponibili le adeguate spiegazioni che chiariscano il senso dei termini fondamentali non definiti (e non definibili). Ma il primo incontro con il testo può avvenire, più proficuamente, attraverso la mediazione di un maestro che abbia già una più o meno lunga e approfondita consuetudine con la disciplina. In questo caso è sufficiente che il testo presenti solo gli aspetti rigorosamente formali e codificati: sarà il maestro a guidare l'allievo per consentirgli di rivestirli di senso e significato.

Proviamo a immaginare, ora, una felice stagione per la ricerca scientifica, durante la quale un ben strutturato paradigma si tramandi e si riproduca attraverso un sistema di interrelazioni dirette tra scienziati e di attività d'insegnamento, intese come percorso di

---

<sup>2</sup> «Anche nel descrivere e tracciare per te, oh illustrissimo Dionisio, nella forma quanto più possibile concisa, i termini tecnici che stanno all'inizio degli *Elementi* di Geometria, prenderò inizio e costruirò l'intera trattazione seguendo l'insegnamento della dottrina geometrica da parte di Euclide, l'autore degli *Elementi*; ritengo infatti che in tal modo non solo avrai una chiara visione d'insieme del suo trattato ma anche della maggior parte degli altri di coloro che si sono applicati alla geometria» (Giardina 2005, pp. 173-175).



iniziazione.<sup>3</sup> Immaginiamo poi che per qualche motivo (guerre, invasioni, sconvolgimenti politici, o altri eventi di portata epocale), le attività di formazione dei giovani subiscano un arresto per un arco di tempo sufficiente a creare un vuoto generazionale. Quale potrebbe essere l'esito? Certo i testi scientifici continuerebbero a esistere nelle biblioteche; ma chi sarebbe in grado di interpretarli e di dar loro un seguito?

Nell'impossibilità di comprendere i termini tecnici non definiti e non spiegati, qualunque persona altrimenti colta potrebbe tentare di comprenderli ricercando l'interpretazione che di essi veniva data dai filosofi di ogni tempo e di ogni scuola di pensiero. I testi divengono, così, comprensibili nella loro struttura formale, e, a partire da essi, la ricerca è nuovamente possibile, ma il paradigma entro cui sono stati originati verrebbe irrimediabilmente perduto e se una filosofia dogmatica dovesse affermarsi sulle altre, nessuna nuova concettualizzazione scientifica potrebbe emergere. Il pensiero scientifico potrebbe allora avviarsi ad una più o meno lenta, ma inesorabile, decadenza.

È forse questo che è avvenuto, a partire dal II sec. a.C. e per i secoli successivi?

### 3. Alla ricerca di un paradigma perduto

Nell'impossibilità di esporre per esteso le necessarie argomentazioni entro i limiti di spazio qui consentiti, mi limiterò a riassumerne, per punti, i termini essenziali, rinviando, per una trattazione più estesa, a un testo con lo stesso titolo, ma provvisorio e più esteso, disponibile in un sito dell'Università di Messina e di Academia (Migliorato 2015), oltre che ad altre pubblicazioni dell'autore.

1. In nessuno dei brevi testi con cui Archimede presenta i suoi lavori inviati ad Alessandria, si fa ricorso ad affermazioni che implicino giudizi sulla *verità* e sull'*essere* né vi sono affermazioni concernenti l'*effettività* della conoscenza. Gli argomenti richiamati a sostegno di un'ipotesi teorica, sia essa un semplice postulato geometrico o un nuovo apparato concettuale, non invocano mai ragioni di *verità* fondate su presunte evidenze di alcun genere o connesse all'*essenza* comunque conoscibile delle cose. Allo stesso tempo nessuna affermazione è reperibile, che sia volta a negare o ad avanzare dubbi sulla effettiva conoscibilità di qualcosa. Tutte le argomentazioni svolte sono invece fondate sulla fiducia che *in atto e nel passato*, è stata, è, o potrà ragionevolmente essere, anche in futuro, accordata, da parte degli esperti in materia, ai risultati otte-

---

<sup>3</sup> Per il termine *paradigma*, pur facendo riferimento, almeno in senso genetico, a Kuhn (1999), l'autore, come già precisato nei precedenti lavori citati, ne fa un uso generalmente più libero e meno rigidamente legato alla teoria kuhniana delle rivoluzioni scientifiche. Per *paradigma* è qui, perciò, da intendere un sistema autoreferenziale e condiviso da una comunità di esperti, riconosciuti come tali, entro cui si possa giudicare la validità di termini, ipotesi, metodi e risultati. Esso presuppone, dunque, l'esistenza di una comunità di riferimento ben definita (coloro che sono esperti di... geometria, meccanica, astronomia, teoria musicale, ecc.) a cui si accede mediante un percorso di iniziazione sotto la guida diretta di uno o più maestri. Questo carattere è riscontrabile tutt'oggi nei percorsi formativi dei nuovi ricercatori (dottorato di ricerca, tirocinio, ecc.), ma più genericamente nella formazione scolastica e in tutti quei percorsi in cui si richiede l'assistenza di un tutor.

- nuti sulla base di quelle ipotesi e di quei sistemi concettuali (Migliorato 2013b; Gentile, Migliorato 2008; 2013).
2. Tutti i testi scientifici disponibili del terzo secolo a.C., e in modo particolare quelli di Euclide, consentono di confermare le conclusioni di cui al punto precedente (Migliorato, Gentile 2005; Migliorato 2005; 2013a).
  3. È presumibile che, indipendentemente dalle proprie convinzioni personali, gli scienziati fossero essenzialmente protesi a salvaguardare i propri risultati da ogni possibile attacco, qualunque ne fosse il segno all'interno delle dispute filosofiche. In particolare è da tenere presente che nel III sec. a.C. gli attacchi più prevedibili sarebbero stati quelli provenienti dalle scuole allora dominanti (la scuola scettica dell'Accademia di Arcesilao, la Stoa rappresentata primariamente da Crisippo, l'Epicureismo) e certamente meno dalle filosofie platoniche e aristoteliche. L'assenza, nei testi scientifici di ogni asserzione sull'essere, sulla verità e sull'effettività della conoscenza, consentiva di salvaguardare la validità dei risultati scientifici, tanto nell'ambito di una visione scettica quanto in quello di una visione dogmatica.
  4. Questo avrebbe favorito il consolidarsi di un paradigma scientifico, sicuramente rilevabile nel III sec. a.C., i cui modi, termini e contenuti venivano tramandati attraverso il rapporto diretto maestro-allievo in un percorso di iniziazione.<sup>4</sup> L'interruzione di una tradizione siffatta rendeva quel paradigma irrecuperabile. I testi ora potevano essere letti solo alla luce di un'interpretazione desumibile dalle filosofie prevalenti. Su ciò si fonderebbe l'intera tradizione interpretativa, iniziata nel primo secolo d.C. e pervenuta fino ai nostri giorni.
  5. Le *definitiones* di Erone si presentano come una risposta all'esigenza di cui al punto 4. Non esistono fondati motivi per ritenere che esse si pongano come semplice commento ed esplicitazione di *definizioni* che si presumono già formulate da Euclide, come ipotizzato da G. Giardina (2005). L'autore ritiene invece fondata la tesi già formulata da L. Russo, almeno per la parte che ipotizza essere le prime sette definizioni del primo libro degli *Elementi* aggiunte postume. Ritiene anzi che analoga ipotesi possa essere avanzata anche per le definizioni 8 e 9 della stessa opera.

#### 4. Conclusioni

Non è difficile immaginare che, ove si sia smarrito il fondamentale carattere di autoreferenzialità di un paradigma scientifico, i suoi contenuti teorici, così come essi sono formulati nel testo scritto, possono ancora essere utilizzati e accresciuti all'interno del dato sistema linguistico e concettuale. I limiti si presentano quando il problema a cui si vuol dare risposta non trova una soluzione soddisfacente all'interno del sistema linguistico-concettuale già consolidato e accettato. In questo caso, infatti, bisogna introdurre

---

<sup>4</sup> Cfr. nota precedente.

nuovi termini e/o ampliare/modificare l'universo semantico a cui essi fanno riferimento. Ma, se questo è sempre inevitabile nella fase euristica e creativa, d'altra parte nessun nuovo apparato può assumere quei caratteri di stabilità e oggettività che sono propri della scienza, se non è tradotto e assunto all'interno di un paradigma autoreferenziale condiviso da una comunità scientifica. In assenza di una prassi autoreferenziale, la validità di ogni nuova ipotesi o di un nuovo sistema teorico-concettuale, non può trovare altro supporto, per la propria validità, se non quello dell'asserita *verità* all'interno di una visione filosofica, metafisica o teologica. In presenza di visioni filosoficamente divergenti e tra loro in opposizione dialettica, ne deriva poi l'impossibilità che una qualunque nuova ipotesi scientifica o qualunque nuovo apparato teorico divenga patrimonio condiviso e stabile. Se così stanno le cose e si accetta l'idea di un'interruzione dei paradigmi scientifici riscontrabili in età alessandrina, non può sorprendere che a partire dal tardo ellenismo e in età imperiale, pur in presenza di un'intensa e diffusa attività di ricerca da parte di scienziati di sicura e altissima levatura, non si siano più verificati progressi sul piano della creatività e della produzione di nuovi sistemi concettuali, fino al definitivo declino e all'oblio della scienza.

Di più, nelle condizioni ipotizzate, può avvenire che principi già ampiamente accettati, o in via di affermazione paradigmatica, vengano rimessi in discussione perché non se ne ravvisa il supporto filosofico o teologico, o si ritengono in contrasto con una particolare visione metafisica.

È, verosimilmente, il caso del quinto postulato di Euclide, messo in discussione a partire dal primo secolo a.C., non già rispetto al suo contenuto specifico, ma al suo ruolo nella struttura cognitiva del corpus geometrico.<sup>5</sup> Potrebbe essere, e stavolta in modo più radicale, il caso del sistema cosmologico di Aristarco, mai respinto da Archimede, che se ne serviva, anzi, tutte le volte che lo riteneva comodo e opportuno<sup>6</sup>. Nel sistema di Tolomeo, invece, l'ipotesi eliocentrica è respinta non già sulla base di evidenze contrarie fenomenicamente riscontrabili, ma in nome di presunte e incontrovertibili verità, anche quando ciò comportava un'accresciuta e artificiosa complessità nella spiegazione dei fenomeni. Bisognerà attendere Copernico, infatti, perché il criterio della semplificazione del sistema descrittivo, prescindendo da ogni dichiarazione di verità, venga assunto a supporto di un apparato teorico in ambito cosmologico, ponendo così le basi di una rinnovata costruzione di paradigmi scientifici autonomi e autoreferenziali.

---

<sup>5</sup> Secondo la testimonianza di Proclo, sarebbe a partire da Posidonio che si è tentato di dimostrare il contenuto del quinto postulato di Euclide, non perché non se ne condividesse la validità, ma perché non se ne ravvisavano i caratteri di evidenza e indimostrabilità come richiesto negli Analitici Secondi di Aristotele (Migliorato 2005; 2013a).

<sup>6</sup> È ciò che avviene in modo esplicito nell'*Arenario* dove, tuttavia, le motivazioni della scelta sono riferite non a ragioni di natura cosmologica ma di convenienza esplicativa. Vi sono, però, buoni indizi per ritenere che lo scienziato siracusano abbia adottato il sistema di Aristarco nella progettazione del planetario di cui si trova testimonianza in Cicerone. Questi, nel riferire le spiegazioni di Sulpicio Gallo, esprime la convinzione che nessuna mente umana avrebbe potuto riprodurre, in un dispositivo meccanico, gli effetti (eclissi, allineamenti, opposizioni) riscontrabili in quella macchina, se non per ispirazione divina (Cicero, *De Repubblica*, 1,14). La conferma viene, però, da Neugebauer, avendo questi dimostrato l'effettiva impossibilità di ottenere quegli effetti, con un dispositivo del tipo descritto, se fondato su un sistema geocentrico (Migliorato 2013b, capitoli 3 e 14).

## Bibliografia

- Acerbi F. (2007). *Euclide. Tutte le opere*. Milano: Bompiani.
- Cambiano G. (1989). *Scoperta e dimostrazione in Archimede*, in Dollo C. (a cura di), *Atti del convegno "Archimede. Mito, tradizione, scienza"* (Siracusa-Catania 9-12 Ottobre 1989). Firenze: Olschki, pp. 21-41.
- Duhem P. (1908). "σώζειν τὰ φαινόμενα". *Annales de Philosophie Chrétienne*, VI, pp.113-139, 277-302, 352-377, 482-514, 561-592. Edizione italiana in Duhem P. (1986). *Salvare i fenomeni: saggio sulla nozione di teoria fisica da Platone a Galileo*. Roma: Boria.
- Gentile G., Migliorato R. (2008). "Archimede platonico o aristotelico: "Tertium non datur"?" *Atti dell'Accademia Peloritana dei Pericolanti, Classe di Scienze Fisiche Matematiche e Naturali*, 86 (2, p. CIA0802009.
- Gentile G., Migliorato R. (2013). *Archimede fra tradizione e rinnovamento*, in Fregonese L., *Atti del XXXIII Convegno Nazionale della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia* (Acireale, 4-7 settembre 2013) (in corso di pubblicazione).
- Giardina G. (2005). *Erone di Alessandria. Le radici filosofico matematiche della tecnologia applicata: definitions*. Catania: CeCUM.
- Heiberg J.L. (1883-88). *Euclidis Opera Omnia*. Lipsia: Aedibus Teubneri.
- Heiberg J.L. (1910-15). *Archimedis opera omnia cum commentariis Eutocii*. Voll. I-III. Lipsia: Aedibus Teubneri.
- Heiberg J.L. (1912). *Eronis Opera, IV: Definitiones cum variis collectionibus*. Lipsia: Aedibus Teubneri.
- Isnardi Parente M. (1992). *Plutarco e la matematica platonica*, in Gallo I. (a cura di), *Plutarco e le scienze*. Genova: Sagep, pp.121-145.
- Knorr W.R. (1978). "Archimedes and the Elements". *Archives for the History of Exact Sciences*, 19 (3), pp. 211-290.
- Knorr W.R. (1991). "On the Principle of Linear Perspective in Euclid's Optics". *Centaurus*, 34 (3), pp. 193-210.
- Kuhn T. (1999). *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Torino: Einaudi.
- Lakoff G., Núñez R.E. (2001). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books.
- Lloyd G.E.R. (1993). *Metodi e problemi della scienza greca*. Roma: Laterza.
- Marcacci F. (2008). *Alle origini dell'assiomatica: Gli Eleati, Aristotele, Euclide*. Roma: Aracne.
- Migliorato R. (2005). "La rivoluzione euclidea e i paradigmi scientifici nei Regni Ellemistici". *Incontri Mediterranei*, 11, pp. 3-24.
- Migliorato R. (2013a). *La ragione e il fenomeno. Itinerari epistemologici tra matematica e scienze empiriche*. Roma: Aracne.
- Migliorato R. (2013b). *Archimede. Alle radici della modernità tra storia scienza e mito*. Messina: Dipartimento di Matematica dell'Università di Messina. Free ebook ISBN: 9788896518694 [online]. URL: <<http://ww2.unime.it/alefzero/Archimede>> [data di accesso: 01/04/2016].

- Migliorato R. (2015). “Il paradigma euclideo e la sua eclissi” [online]. URL: <<http://ww2.unime.it/alefzero>>; <<https://unime.academia.edu/RenatoMigliorato>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Migliorato R., Gentile G. (2005). “Euclid and the scientific thought in the third century B.C.”. *Ratio Mathematica*, 15, pp. 37-64.
- Netz R. (1999). *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Neugebauer O. (1969). *The exact sciences in antiquity*. New York: Dover.
- Russo L. (1998). “The Definitions of Fundamental Geometric Entities Contained in Book I of Euclid's Elements”. *Archive for the History of Exact Sciences*, 52 (3), pp. 195-219.
- Sato T. (1981). “Archimedes' Lost Works on the Centers of Gravity of Solids, Plane Figures and Magnitudes”. *International Journal of the History of Science Society of Japan*, 20, pp. 1-40.
- Timpanaro Cardini M. (1978). *Proclo: Commento al I libro degli Elementi*. Pisa: Giardini.



PHYSICS AND SCIENCE BETWEEN THE 17<sup>TH</sup> AND THE 19<sup>TH</sup> CENTURIES





# **Thomas Young: una stima delle dimensioni atomiche nel primo '800**

Giuseppe Fera - Unità di Ricerca in Didattica della Fisica,  
Università di Udine - giuseppe.fera@uniud.it

*Abstract:* Today we share the atomic hypothesis that Feynman (1963, p. 4) states as follows: all things are made of atoms – little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another. Two different interpretations of atomism crossed Western culture over the centuries: 1) the hypothesis that matter is made of real particles in perpetual motion, 2) more sophisticated conception that “atom” is just an abstract entity that we should use to simplify the description of the phenomena. The first conception dates to the ancient Greece philosophers Leucippus, Democritus and Epicurus. The second originates perhaps from Ockham, which from the perspective of a radical empiricism claims that everything that goes beyond the limits of experience cannot be known nor demonstrated. It is supported by countless subsequent thinkers including Ernst Mach, who regarded the atoms as mental artifices (Whyte 1961a). Within the framework (1), ascertain reality of the atoms raises problems to be addressed. We must measure the fundamental physical properties of an atom (mass, size, ...) and the number of atoms present in a given amount of matter (for example, a liter of water). Among the numerous attempts at evaluation of atomic size developed since the mid-1600, that of Thomas Young highlights for different features: i) it is very innovative compared to the times; II) it fits organically into the microscopic model of surface tension in liquids developed by Young and Laplace; III) it provides an estimate of the intermolecular forces range.

*Keywords:* Thomas Young, atomic size, intermolecular forces

## **1. L'ipotesi atomica nel quadro della filosofia meccanicista**

La maggior parte degli storici della scienza fa iniziare la concezione atomistica della materia a inizio '800 con Dalton; tuttavia alcuni ricercatori, quali Stones (1928) e più tardi Whyte (1961a) e Hessenbruch (2000, p. 57) hanno sottolineato che idee sulla natura particellare della materia, come pure l'opposizione a tali idee, risultano presenti con continuità a partire dal 1400. Il Medioevo è stato generalmente visto dagli storici della scienza come un periodo in cui l'atomismo è assente, per riemergere poi nel Rinascimento; Pabst (1994) al contrario, dimostra la presenza in tutto il Medioevo di una continua riflessione sulla natura corpuscolare della materia, che differiva notevolmente dalle teorie greche antiche, e che ha raggiunto il suo culmine nel XII secolo. Nella stessa

linea di pensiero, Ciardi (2003) afferma che uno dei più importanti manuali di alchimia, la *Summa perfectionis magisterii*, che iniziò a circolare in Europa verso il 1280, descrive i metalli in termini di una visione corpuscolare. Gli studiosi concordano comunque nel ritenere che nel corso del XVII secolo la diffusione in tutta Europa delle idee di Galileo, Keplero, Bacono, Cartesio consolidò una nuova visione della scienza. L'attenzione che la filosofia scolastica rivolgeva alle essenze, ai principi qualitativi, alle *sostanze elementari* quali terra, fuoco, acqua e aria, fu gradualmente superata a favore di sperimentazioni che permettevano di rilevare caratteristiche quantitative dei fenomeni, delle disposizioni spaziali e del movimento prima dei corpi materiali e successivamente dei corpuscoli ipotizzati come loro componenti. Questa nuova visione confluisce come corrente empirista e atomista nella filosofia meccanicista.

Il pensiero corpuscolare di Gassendi e Boyle è alla base di una serie di tentativi di determinare le dimensioni delle particelle ipotizzate come costituenti della materia. Ancor prima del 1700 almeno sei scienziati europei (cinque di loro anteriormente a Newton) determinarono stime, attraverso misure di vario genere, di un limite massimo per la dimensione delle più piccole particelle della materia: Magnenus (1646), Charleton (1654), Gassendi (1658), Boyle (1669), Leeuwenhoek (1680), Halley (1691). Queste stime sono basate su esperimenti con lamine sottili, fumi, fiamme, polveri, ecc., e la maggior parte di essi ha prodotto per il diametro delle particelle di sostanza coinvolte valori dell'ordine di  $10^{-6}$  m (Whyte 1961a, p. 48). Essi costituiscono i primi tentativi di definire delle proprietà quantitative di un modello particellare della materia, e anche se non danno alcuna prova dell'esistenza di un limite ultimo alla divisibilità della materia, tuttavia segnano la nascita dell'atomismo quantitativo sperimentale in fisica. Spicca il contributo di Walter Charleton, medico londinese, che pubblica nel suo *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana or a fabrick of science natural upon the hypothesis of atoms* una rassegna delle idee sull'atomismo. Egli stima che un grano di incenso (il *grano* è una unità di misura di massa che corrisponde a 64.8 mg) comprende  $7.776 \cdot 10^{17}$  atomi (Charleton 1654, p.114). Apparentemente questo risultato anticipa quello che diverrà noto come numero di Avogadro, ma il ragionamento dell'autore non si fonda sulle misure bensì su una speculazione sul numero dei corpuscoli contenuti in un granello di sabbia che risale al  $\Psi\alpha\mu\mu\tau\eta\zeta$  (Arenario) di Archimede.

Nei *Principia* (1685-1687) Newton, applicando il principio di similitudine dinamica alle interazioni delle particelle, mostra che la legge di Boyle per i gas può essere derivata dal presupposto che particelle impenetrabili si respingono con una forza inversamente proporzionale alla distanza. Egli concorda con Boyle nel ritenere il calore una manifestazione del moto delle particelle ma se ne distacca nettamente nel considerare forze sia attrattive che repulsive tra esse agenti. Chalmers (2009) osserva che gli argomenti riportati da Newton (1952, pp. 350-382) nella *Query 31* a sostegno della sua visione atomistica hanno una base empirica debole e si fondano su analogie non giustificate con il comportamento dei corpi macroscopici. Mentre le leggi della dinamica enunciate nei *Principia* possono essere oggetto di osservazione diretta e di esperimento, la presenza di forze agenti tra le particelle costituenti della materia va oltre ciò che poteva essere dedotto da dati sperimentali. Per questo motivo Newton inserisce la sua teorizzazione in una visione teologica, sulla scia dei pensatori che lo hanno preceduto.

Tuttavia appare degno di nota che Newton (1952, p. 230) riporti una stima pari a  $16\frac{1}{4}$  decimillesimi di pollice (circa  $4 \cdot 10^{-6}$  m) per la dimensione dei corpuscoli che costituiscono la materia, ottenuta misurando lo spessore di pellicole acquose sulla base delle loro proprietà ottiche. Il grande prestigio di cui godeva e il successo che riportò la fondazione della meccanica enunciata nei *Principia* favorirono la diffusione della visione atomistica nella cultura scientifica europea fino alla fine del 1700, segnando una tappa importante nel progresso dell'atomismo in fisica.

Gli storici della scienza (Whyte 1961b) concordano nell'attribuire a Ruggiero Giuseppe Boscovich (1711-1787) la formulazione del primo modello matematico dell'atomismo, elaborato sulla base della visione meccanicista ed esposto nel trattato *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium* (Boscovich 1763). Il modello si basa sulle seguenti ipotesi: (i) esiste un solo tipo di particelle fondamentali, identiche, e ogni corpo è costituito da un numero finito di esse; (ii) le particelle materiali sono puntiformi, ciascuna costituisce un centro di forza permanente; (iii) tra due particelle agisce una forza repulsiva o attrattiva in dipendenza della distanza tra esse (ciò consente l'esistenza di configurazioni di particelle in equilibrio stabile e orbite di dimensioni definite); (iv) l'intera gamma delle proprietà fisiche e chimiche dei corpi è riconducibile ai processi di interazione tra le particelle costituenti; (v) i parametri della legge di interazione e la massa delle particelle possono essere determinati a partire da misure macroscopiche.

La teoria di Boscovich si discosta dal meccanicismo newtoniano in aspetti importanti: 1) ciò che ha senso fisico sono solo le distanze e i moti relativi delle particelle, non le loro posizioni nello spazio assoluto; in questi termini Boscovich aderisce a una filosofia relazionale in contrasto con Newton, 2) le particelle ipotizzate da Boscovich non hanno proprietà fisiche quali raggio, massa, carica, ecc.; quindi la discontinuità introdotta dagli urti tra sfere rigide e impenetrabili che modellizzavano gli atomi viene superata dall'ipotesi di una interazione variabile con continuità su tutto lo spazio.

Con la sua formulazione Boscovich supera il dualismo democriteo e newtoniano tra spazio occupato e vuoto sostituendo a esso un monismo di relazioni spaziali. Nonostante non fornisca previsioni quantitative, la sua teoria rappresenta un quadro concettuale unitario fondato su un sistema minimale di postulati che esercitò un grande influenza sulla fisica del XIX e XX secolo. Il postulato sulla interazione centrale a due corpi dipendente dalla distanza, che contribuisce a dare senso al concetto di struttura fisica microscopica statica o dinamica rappresentabile con un modello di punti nello spazio tridimensionale, guiderà le considerazioni dei chimici nel secolo successivo.

## 2. Le forze tra le particelle in Laplace e Young

Alla fine del '700 molti scienziati europei tentarono di interpretare i fenomeni naturali in termini del meccanicismo newtoniano. Nel quadro della filosofia meccanicista si aveva un generale accordo sull'esistenza e sulle proprietà della forza di gravità descritta da Newton per spiegare i moti osservati dei corpi celesti. Nel 1785 Charles-Augustin de

Coulomb (1736-1806) mostra che anche le forze elettriche di attrazione e repulsione tra sfere cariche seguivano una legge analoga a quella della gravitazione. Una indicazione sull'esistenza di forze agenti tra le particelle costituenti della materia fu fornita dall'esperienza di Cavendish (1798) che affermava la presenza dell'interazione gravitazionale anche tra due corpi di laboratorio. Tuttavia fu chiaro ben prima del 1800 che le forze gravitazionali non erano sufficienti per spiegare i fenomeni capillari e altre proprietà di superficie dei liquidi. Francis Hauksbee, come esecutore di dimostrazioni sperimentali presso la Royal Society, mostrò già nel 1709 che la risalita di un liquido in un tubo capillare è indipendente dallo spessore del vetro (Rowlinson & Widom 2002, p. 8). Di conseguenza si pensava che le forze esercitate sulle molecole del liquido fossero solo quelle delle molecole appartenenti allo strato superficiale del vetro. Questo comportamento non era in accordo con quanto era noto sulle forze gravitazionali, che agivano indipendentemente dalla materia interposta. Gli esiti degli esperimenti di Hauksbee contribuiscono alla stesura della ben nota *Query 31*, con cui Newton chiudeva la sua *Opticks* riportando importanti riflessioni sulle particelle costitutive della materia e sulle forze tra esse agenti.

Il programma newtoniano viene sviluppato ed esteso da Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). Egli voleva rendere conto di tutti i fenomeni, dalla scala astronomica a quella microscopica, in termini di forze centrali attrattive o repulsive agenti tra le particelle della materia (*molécules*) non sempre identificate con le forze gravitazionali o elettriche:

les phénomènes de l'expansion, de la chaleur, et des vibrations des gaz, sont ramenés à des forces attractives et répulsives qui ne sont sensibles qu'à des distances imperceptibles (Laplace 1825).

Un'ampia classe di fenomeni comuni suggeriva la presenza di forze intermolecolari attrattive: l'aderenza (*cohesion*) delle gocce dei liquidi ai solidi, la condensazione dei vapori, la risalita dei fluidi nei tubi capillari; veniva riconosciuta la presenza di forze più intense della gravità, ma agenti solo su piccole distanze. Una trattazione matematica delle forze intermolecolari è esposta a partire dal 1806 da Laplace nella sua teoria dei fenomeni capillari: la spiegazione dei fenomeni è ricondotta alla presenza di forze attrattive agenti a breve distanza tra le particelle costituenti la materia (Laplace 1807, p. 487). Queste forze attrattive sono importanti perché, secondo Laplace, determinano le affinità chimiche. La presenza di forze repulsive non poteva essere negata: dovevano bilanciare le forze di attrazione per prevenire il collasso della materia, ma la loro natura restava oscura. Laplace considera il calore come agente responsabile della repulsione tra le molecole (Laplace 1807, p. 490), in quanto se un liquido viene riscaldato esso si espande e poi bolle, dando così luogo alla separazione delle molecole a distanze molto maggiori di quelle caratteristiche nel liquido. Un altro modo per spiegare la repulsione delle molecole risaliva a un'idea di Newton che riconduceva la pressione di un gas alla repulsione delle sue molecole supposte statiche, e non, come aveva sostenuto Bernoulli, alle loro collisioni con le pareti del contenitore (Talbot, Pacey 1966; Fox 1990). A partire dal 1819 Laplace approfondisce la trattazione delle forze repulsive intermolecolari:

Dans la nature, les molécules des corps sont animées de deux forces contraires: leur attraction mutuelle et la force repulsive de la chaleur (Laplace 1880, vol. 14, p. 261).

Egli sottolinea che l'attrazione molecolare agisce in modo differente nei fenomeni capillari e nelle reazioni chimiche, in contrasto con quanto affermava nel 1807. Inoltre le forze repulsive dovute al calore diminuiscono più rapidamente all'aumentare della distanza rispetto alle forze attrattive, secondo Laplace, che intende controbattere la visione di Young in cui forze repulsive intermolecolari dovute al calore sono assenti. Quando ha rivolto la sua attenzione ai fenomeni termici, infatti, Thomas Young (1773-1829) ha abbracciato l'idea che il calore fosse una manifestazione del moto particellare, respingendo la diffusa visione che il calore fosse una sostanza, il fluido imponderabile chiamato *calorico*, la cui quantità nei corpi poteva aumentare o diminuire:

If heat is not a substance, it must be a quality; and this quality can only be motion. It was Newton's opinion, that heat consists in a minute vibratory motion of the particles of bodies (Robinson 2006, p. 128).

Lord Rayleigh<sup>1</sup> sottolinea il contributo di Young alla teoria microscopica delle forze intermolecolari. Nonostante l'indiscussa autorevolezza di Laplace, afferma Rayleigh, è stato Young per primo con *An Essay on the Cohesion of Fluids* (Young 1805), letto il 20 dicembre 1804 alla Royal Society, a ricondurre i fenomeni di superficie dei fluidi alle *ultimate properties of matter*. Le ipotesi di Young sono enunciate nel paragrafo VI del suo saggio, dal titolo significativo *Physical Foundation of the Law of Superficial Cohesion*:

We may suppose the particles of liquids, and probably those of solids also, to possess that power of repulsion, which has been demonstratively shown by Newton to exist in aeriform fluids, and which varies in the simple inverse ratio of the distance of the particles from each other. In air and vapours this force appears to act uncontrolled; but in liquids it is overcome by a cohesive force, while the particles still retain a power of moving freely in all directions. [...] It is simplest to suppose the force of cohesion nearly or perfectly constant in its magnitude, throughout the minute distance to which it extends, and owing its apparent diversity to the contrary action of the repulsive force which varies with the distance.

Quindi per Young le forze attrattive a corto raggio sono sostanzialmente costanti, mentre le forze repulsive aumentano rapidamente al diminuire della distanza tra le molecole. Sulla base di questa ipotesi egli afferma che la pressione nel liquido varia per un termine aggiuntivo determinato dalla forma della superficie del liquido, proporzionale alla somma delle curvature principali della sua superficie: quella che oggi conosciamo come legge di Young-Laplace:  $\Delta p = \frac{H}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right)$  riportata in (Laplace 1806, p. 367), dove  $H$  rappresenta la tensione superficiale del fluido. Young e Laplace concepiscono un liquido avente concentrazione  $c$  particelle/volume come un sistema di particelle di-

<sup>1</sup> In una serie di articoli (Rayleigh 1890) ristampati in (Rayleigh 1899, pp. 397-425)

tribuite uniformemente nello spazio che si attraggono tra loro ma che non condensa per la presenza di forze repulsive a corto raggio tra le particelle. Le forze attrattive determinano una pressione interna al liquido che Laplace chiama  $K$  e che esprime con un integrale sul volume dell'energia potenziale di interazione  $u(r)$  tra coppie di particelle a distanza  $r$ :

$$K = -\frac{c^2}{2} \int_0^a u(r) dx dy dz$$

(Rayleigh 1899, p. 402; Rowlinson, Widom 2002, p. 5) dove  $a$  è il raggio delle forze attrattive. Nella formulazione originale Laplace assume unitaria la concentrazione  $c$ . Rimuovendo questa ipotesi, il termine correttivo  $K$  per la pressione assume la forma riportata da van der Waals nella sua tesi del 1873 sulla continuità tra lo stato liquido e gassoso. Laplace (1807, p. 492) ritiene che la grandezza  $K$  non possa essere misurata:

Il est presque impossible de déterminer par l'expérience l'intensité de la force attractive des molécules des corps; nous savons seulement qu'elle est incomparablement supérieure a l'action capillaire.

La prima stima di questa grandezza per l'acqua è senza dubbio quella di Young, in straordinario accordo con il valore moderno, secondo Rayleigh (1899, p. 400). Nell'articolo "Cohesion" scritto nel 1816 per l'Enciclopedia Britannica, Young (1855, vol. I, pp. 454-490) discute la presenza delle forze repulsive tra le particelle di un fluido comprimibile:

It is natural to inquire whether this repulsive force [...] would be capable of affording the resistance exhibited by the same bodies in a liquid or solid form, and holding the cohesive force in equilibrium (Young 1855, vol. I, p. 455).

Nelle pagine seguenti le sue argomentazioni gli consentono di affermare che, in termini moderni: la pressione interna  $K$  del liquido, dovuta all'azione delle forze repulsive tra le particelle, si manifesta come resistenza del liquido alla compressione. Quindi egli identifica  $K$  con il modulo di comprimibilità del liquido, che nel caso dell'acqua in condizioni ordinarie di temperatura e di pressione gli era ben noto (Young 1855, vol. I, p. 458) attraverso le misure di John Canton (1764, pp. 261-262). Quindi:

Now since there is reason to suppose the corpuscular forces of a section of a square inch of water to be equivalent to the weight of a column about 750,000 feet high (Young 1855, vol. I, p. 461).

Young riporta come densità dell'acqua il valore 252.5 grains/in<sup>3</sup>. In termini moderni, poiché 12 in = 1 foot = 30.48 cm, risulta che Young stima  $K=2.24 \cdot 10^4$  atm. Secondo Rayleigh (1899, p. 423), una stima posteriore sarebbe dovuta ad Athanase Dupré (1808-1869) che collega  $K$  al calore latente di ebollizione dell'acqua. Ciò è plausibile in quanto l'ebollizione può essere vista come un processo in cui ad una molecola del fluido di massa  $m$  è necessaria un'energia  $fa$  per distaccarsi dal fluido stesso, essendo  $f$  il modulo

delle forze attrattive delle altre molecole. Considerando  $N$  molecole che evaporano provenienti da uno strato di area  $S$ , la pressione interna  $K$  dà luogo ad una forza  $f=KS/N$ . Quindi il calore latente risulta  $L=fa/m=KSa/Nm=KV/M=K/\rho$ , essendo  $V=Sa$  il volume di fluido coinvolto nell'evaporazione e  $\rho$  la densità del fluido. Con i valori moderni  $L=2.2 \cdot 10^6$  J/kg,  $\rho=10^3$  kg/m<sup>3</sup> per l'acqua in condizioni ordinarie di temperatura e di pressione risulta  $K = \rho L = 2.2 \cdot 10^4$  atm, in accordo con la stima di Young del 1816.

### 3. La valutazione delle dimensioni atomiche

In una lettera ad Arago datata 12 gennaio 1817 Young (1855, vol. I, pp. 380-384) scrive:

I have been reconsidering the theory of capillary attraction, and have at last fully satisfied myself with respect to the fundamental demonstration of the general law of superficial contraction [...]. This solution has very unexpectedly led me to form an estimate, something more than merely conjectural, though not fully demonstrative, of the magnitude of the ultimate atoms of bodies.

La stima cui si riferisce Young è quella riportata nell'articolo "Cohesion" del 1816 e riguarda in primo luogo il raggio d'azione  $a$  delle forze molecolari attrattive. Laplace (1807) esprime la tensione superficiale di un liquido limitato dal piano  $z=0$  nella forma:

$$H = -\frac{c^2}{2} \int_0^a zu(z) dx dy dz$$

(Rayleigh 1899, p. 403; Rowlinson, Widom 2002, p. 6) dove i simboli hanno il significato riportato nel paragrafo precedente. Young ipotizza che il potenziale intermolecolare abbia l'andamento semplice (Young 1855, vol. I, p. 460)

$$u(z) = a-z$$

che descrive una forza costante, e di conseguenza riesce a valutare entrambi gli integrali: ciò gli consente di dimostrare la relazione  $H = \frac{1}{3}aK$  tra la tensione superficiale  $H$  (*contractile force*) e la pressione interna  $K$  (*cohesive force*) di un liquido. Questa relazione istituisce un inedito collegamento tra le due grandezze macroscopiche  $H$  e  $K$  ed il raggio d'azione della forza intermolecolare. A questo punto egli riporta una misura della tensione superficiale per l'acqua  $H=3$  grains/in che equivale a 0.075 N/m, in ottimo accordo con i valori oggi accertati in condizioni ordinarie di temperatura e di pressione. Poiché aveva già stimato  $K=2.24 \cdot 10^4$  atm, ciò gli consente di determinare il raggio d'azione della forza intermolecolare  $a = \frac{3H}{K}$  e di concludere che:

the extent of the cohesive force must be limited to about the 250 millionth of an inch [...] nor is it very probable that any error in the suppositions adopted can possibly have so far invalidated this result as to have made it very many times greater or less than the truth (Young 1855, vol. I, p. 461).

Quindi Young si mostra convinto che l'ordine di grandezza del raggio d'azione  $a$  delle forze attrattive intermolecolari sia  $10^{-10}$  m. Riguardo questo risultato Rowlinson (2002) osserva che

It is the first quantitative estimate of any aspect of interparticle cohesion that we can recognise as having been derived by a physically sound method of reasoning.

Successivamente Young illustra

a conjectural estimate [...] of the actual magnitude of the elementary atoms of liquids as supposed to be nearly in contact with each other (Young 1855, vol. I, p. 461).

Nel suo ragionamento un vapore saturo condensa quando la distanza tra le molecole ha l'ordine di grandezza del raggio  $a$ . Poiché le misurazioni delle grandezze  $H$  e  $K$  sono state effettuate a 60 °F (15.6 °C), Young sulla base dell'osservazione che il rapporto delle densità del vapore e del liquido a tale temperatura è 1/60000, conclude che le distanze tra le particelle di acqua a contatto devono essere la radice cubica di 1/60000 (circa 1/40) del raggio  $a$ . Young dichiara di non poter conoscere la dipendenza del diametro molecolare dalla temperatura, ma in conclusione afferma che

whatever errors may have affected the determination, the diameter or distance of the particles of water is between the two and the ten thousand millionth of an inch (Young 1855, vol. I, p. 462).

ovvero, in termini moderni, tra 1 e 5 volte il raggio di Bohr. Scott e MacDonald (1965) e French (1967) affermano che la stima di Young

must be regarded as a prime landmark in the history of atomic measurements.

#### 4. Conclusioni

Young affrontò con ragionamenti fisicamente fondati la questione delle dimensioni molecolari ma pubblicò con uno pseudonimo la sua trattazione del 1816 su un supplemento dell'Enciclopedia Britannica che ebbe scarsa diffusione tra i fisici dell'epoca.

Oggi i fenomeni fisici a scala microscopica vengono ricondotti ai principi della fisica quantistica che, nella sua formulazione più ampiamente accettata, descrive lo stato delle particelle in termini di funzioni d'onda. La natura delle funzioni d'onda implica che è possibile definire le dimensioni di atomi, ioni e molecole in modi differenti. Sotto questo aspetto il concetto di dimensione degli atomi appare convenzionale e svuotato di realtà fisica. Tuttavia il concetto di dimensione degli atomi, in termini di raggio atomico che può essere misurato impiegando differenti tecniche, è alla base dei modelli utilizzati per comprendere processi, proprietà fisiche, chimiche e aspetti strutturali della materia condensata. Il raggio atomico compare nei modelli come un parametro fisico importante associato a proprietà fisico-chimiche come elettronegatività, energia di io-



nizzazione, polarizzabilità elettrica, suscettibilità diamagnetica, ecc. (Islam, Ghosh 2011). Da questo punto di vista il contributo di Young appare particolarmente vicino alle concezioni attuali.

### Ringraziamenti

Si ringrazia la professoressa Marisa Michelini che ha promosso questo studio nell'ambito del progetto LACOMGEI.

### Bibliografia

- Boscovich R.G. (1763). *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*. Venezia: Remondini.
- Canton J. (1764). "Experiments and Observations on the Compressibility of Water and Some Other Fluids". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 54, pp. 261-262.
- Ciardi M. (2003). *Breve storia delle teorie della materia*. Roma: Carocci.
- Chalmers A. (2009). *The scientist's atom and the philosopher's stone*. New York: Springer.
- Charleton W. (1654). *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana or a fabrick of science natural upon the hypothesis of atoms*. London: Newcomb.
- Feynman R. (1963). *Six Easy Pieces*. New York: Basic Books.
- Fox R. (1990). *Laplacian physics*, in Olby R.C., Cantor G.N, Christie J.R.R., Hodge M.J.S. (eds.), *Companion to the History of Modern Science*. London: Routledge, pp. 278-294.
- French A.P. (1967). "Earliest Estimates of Molecular Size". *American Journal of Physics*, 35, pp. 162-163.
- Hessenbruch A. (2000). *Reader's Guide to the History of Science*. London: Fitzroy Dearborn.
- Islam N., Ghosh D.C. (2011). "Spectroscopic Evaluation of the Atomic Size". *Open Spectroscopy Journal*, 5, pp. 13-25.
- Laplace P.S. (1825). *Traité de Mécanique Celeste*. Vol 5, Livre XII. Paris: Bachelier. p. 99.
- Laplace P.S. (1806). *Sur l'Action Capillaire*, in Laplace P.S., *Traité de Mécanique Celeste - Supplément au dixième livre*. Paris: Courcier. Ristampato in (Laplace 1880, vol. 4, pp. 349-417).
- Laplace P.S. (1807). *Supplément a la Théorie de l'Action Capillaire*, in Laplace P.S., *Traité de Mécanique Celeste - Supplément au dixième livre*. Paris: Courcier. Ristampato in (Laplace 1880, vol. 4, pp. 419-498).
- Laplace P.S. (1880). *Oeuvres complètes de Laplace*. Paris: Gauthiers-Villars.
- Newton I. (1952). *Opticks*. IV edition. New York: Dover.

- Pabst B. (1994). *Atomtheorien des lateinischen Mittelalters*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Rayleigh J.W.S. (1890). "On the theory of surface forces". *Philosophical Magazine*, XXX, pp. 285-298 e pp. 456-475.
- Rayleigh J.W.S. (1899). *Scientific papers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Robinson A. (2006). *The Last Man Who Knew Everything*. New York: Pi Press,
- Rowlinson J.S. (2002). *Cohesion: A Scientific History of Intermolecular Forces*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rowlinson J.S., Widom B. (2002). *Molecular theory of capillarity*. New York: Dover.
- Scott G.D., MacDonald I.G. (1965). "Young's Estimate of the Size of Molecules". *American Journal of Physics*, 33, pp. 163-164.
- Stones G.B. (1928). "The Atomic View of Matter in the 15<sup>th</sup>, 16<sup>th</sup>, and 17<sup>th</sup> Centuries" *Isis*, 10, pp. 445-465.
- Talbot G.R., Pacey A.J. (1966) "Some early kinetic theories of gases: Herapath and his predecessors". *British Journal for the History of Science*, 3, pp. 133-149.
- Whyte L.L. (1961a). *Essay on atomism*. Middletown: Wesleyan University Press.
- Whyte L.L. (1961b). *Roger Joseph Boscovich, S.J., F.R.S., 1711-1787, Studies of his Life and Work on the 250th Anniversary of his Birth*. London: Allen and Unwin.
- Young T. (1805) "An Essay on the Cohesion of Fluids". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 95, pp. 65-87.
- Young T. (1855). *Miscellaneous Works of the Late Thomas Young*. London: Peacock.

# Sulla natura dei corpi celesti: una disputa secentesca nell'ambiente scientifico italiano

Ivana Gambaro - Università di Genova - ivana.gambaro@unige.it

*Abstract:* After the condemnation of Galileo in 1633, Italian researchers did not enjoy a full individual autonomy in various areas of scientific inquiry. Above all, in religious Orders the preventive control of the books ready for printing became more and more severe, and the Revisers-General of the Society of Jesus carefully compiled new lists of forbidden thesis. In this *milieu* the well known debate on the luminance (or secondary lumen) of the Moon in the days near its thin crescent phase arose between Galileo, very old and almost blind, and Fortunio Liceti, an Aristotelian Academician from Padua with whom the great scientist had already corresponded. This controversy attracted a deep interest among the *savants* of the Society, which in this period (1640-1660) encouraged its most brilliant scientists to deal with the most challenging astronomical or physical subjects of the time. However the Jesuit Fathers had to balance the *curiositas* for the new scientific themes with the necessity of respecting both Thomistic tradition in theology and Aristotelian tradition in philosophy. In this perspective I analyze the problem of the nature of the Moon in the printed works by Giovanni Battista Riccioli and in his correspondence with Athanasius Kircher.

*Keywords:* Astronomy, Galileo, Kircher, Riccioli

## 1. Introduzione

Sul finire del secolo scorso, nel suo *Galileo Courtier*, Mario Biagioli ha proposto un'originale rilettura della vicenda galileiana che accanto all'analisi dello sviluppo dell'indagine scientifica e delle sue metodologie, evidenzia il ruolo di elementi ad essa esterni che avrebbero sensibilmente orientato le dinamiche della ricerca galileiana. Biagioli (1993, p. 59) scrive:

I think it would be useful to suspend for a moment the 'natural' belief that Galileo, Kepler, and Clavius earned their titles simply because of the quality of their scientific work, and to consider [...] that they also gained scientific credibility because of the titles and patrons they had.

e altrove (Biagioli 1993, p. 30):

[...] discoverers get power from their discoveries only through the institutions that legitimize them.

Per comprendere compiutamente lo sviluppo storico delle discipline scientifiche, secondo Biagioli lo storico della scienza dovrebbe concentrare molta della sua attenzione sui rapporti che si stabiliscono tra lo scienziato e l'ambiente che lo circonda e sulle strategie che sono necessarie allo studioso al fine di portare a compimento le ricerche intraprese, e ciò varrebbe anche nel caso del tanto celebrato «Filosofo e Matematico del Granduca di Toscana» (Biagioli 1993, p. 127). Questa proposta, accolta con interesse da alcuni storici e discussa vivacemente da altri, riconduce inoltre la credibilità scientifica e la fama acquisita nella società del tempo da illustri matematici e filosofi naturali quali Galilei, Kepler o Clavius, meno alla qualità del loro lavoro scientifico che all'influenza dei potenti di cui godono protezione e sostegno, e l'affermazione delle nuove teorie solo in parte alla loro capacità di spiegare i fenomeni del mondo naturale. Il ruolo del mecenate che sostiene lo studioso sarebbe significativo (Biagioli 1993, p. 33):

New and controversial ideas are better supported by young patrons seeking an image for themselves.

## 2. *Le Regulae Revisiorum Generalium*

L'analisi dei contributi dei filosofi naturali e delle dinamiche interne presenti nei programmi di ricerca, rappresenta elemento certamente ineludibile per ricostruire lo stato delle conoscenze del tempo, tuttavia nel XVII secolo le linee di riflessione qui richiamate sono certamente utili per gettar luce sulle problematichità e sulle dinamiche presenti soprattutto all'interno degli ambienti scientifici religiosi negli anni successivi alla condanna del 1633, e sull'influenza che le stesse esercitarono riguardo alle direttrici di ricerca dei *savants* appartenenti a ordini religiosi. Volgendo l'attenzione alle indagini realizzate dagli scienziati della Compagnia di Gesù, emerge la difficoltà a ricondurre i vari filoni di ricerca ad un quadro generale coerente, privo di contraddizioni e tensioni interne. Il *patronage*, in questa circostanza declinato come protezione esercitata da influenti esponenti della Compagnia a vantaggio di alcuni ricercatori operanti all'interno dell'istituzione, qui si intreccia con le questioni sollevate dall'azione censoria e dagli interventi dei Revisori Generali.<sup>1</sup> Mi riferisco a note figure del mondo scientifico ed intellettuale secentesco: Daniello Bartoli, Mario Bettini, Giuseppe Biancani, Niccolò Cabeo, Christoph Clavius, Orazio Grassi, Francesco Maria Grimaldi, Athanasius Kircher, Giovanni Battista Riccioli, Christoph Scheiner e altri, che sono attivi in un ambiente lacerato da numerose contraddizioni presenti sia all'interno del gruppo stesso degli scienziati religiosi tra i fondamenti teologico-metafisici e gli esiti delle ricerche intraprese, sia tra gli stessi e i vertici della Compagnia, in genere attestati su posizioni prudenti e tradizionaliste, sia infine tra i medesimi ricercatori ed i Revisori Generali, custodi dell'ortodossia.

<sup>1</sup> Nel 1597 il Preposito Generale della Compagnia Claudio Acquaviva aveva istituito il Collegio dei Revisori composto da cinque Revisori Generali, uno per ciascuna "Assistenza": Italia, Francia, Spagna, Germania e Portogallo. I criteri generali seguiti dai Revisori nella loro opera furono individuati già nel 1601, vennero più precisamente codificati nella Ottava Congregazione (1645-46) e riaffermati nella Decima (1652).

Il *patronage* ricercato dai *savants* della Compagnia si differenzia da quello a cui aspiravano gli scienziati attivi all'esterno degli ordini. Altrettanto necessaria, la protezione di potenti esponenti dell'Ordine presso il Collegio Romano dava luogo ad un processo di legittimazione in assenza del quale sia l'attività di ricerca, sia la stessa identità professionale del Padre gesuita, seppur autorevole, erano poste in discussione.

Già negli anni Venti, dalle lettere del carteggio di Galileo emergono numerosi segnali che evidenziano una sofferta adesione, da parte di alcuni Padri gesuiti, agli orientamenti dei superiori gerarchici. C. Marsili annota come il P. Cabeo «internamente, quanto mi vien referto, creda la mobilità della Terra». <sup>2</sup> E nel 1633 Niccolò Fabri de Peiresc scrive:

Il buon P. Atanasio [Kircher] ci ha confessato che il P. Malapert e il P. Clavio non biasimano per nulla l'opinione di Copernico [...] per quanto siano stati obbligati a scrivere a favore delle comuni teorie di Aristotele, e che lo stesso P. Scheiner non si sottomette che per forza e per obbedienza. <sup>3</sup>

Dopo la condanna di Galileo, gli spazi d'autonomia riconosciuti agli studiosi gesuiti si riducono ulteriormente, e il controllo preventivo sulle opere dei padri destinate alla stampa si fa più serrato, grazie all'opera dei Revisori Generali attenti a compilare nuove liste di proposizioni proibite. Ciò tuttavia non impedì ad alcuni coraggiosi esponenti del mondo scientifico gesuita di continuare le proprie ricerche con rara libertà di pensiero. È il caso di Padre Gio Luigi Confalonieri, gesuita milanese, che scrive nel 1639 a Baliani sul delicato tema della struttura della materia (Costantini 1969, pp. 60-61):

Lascierei da parte Aristotele con tutte le sue materie e forme, sostanze ed accidenti, che mi paiono un grande imbroglio e direi con gli antichi tutte le mutazioni farsi per la sola congregazione, disgregazione o varia collocazione di atomi o corpiccioli, né haverei difficoltà a concedere la luce esser un effluvio o direttione di simili materie e quando per ciò fosse necessario ammettere il vacuo, o dir che l'illuminazione non si fa in un istante ma in un tempo impercettibile non ne haverei scrupolo alcuno.

Dagli anni Quaranta l'irrigidimento dottrinale va consolidandosi insieme alle *Regulae Revisorum Generalium*, pubblicate per volere della Ottava Congregazione Generale nel 1646, e sempre più frequentemente la sorveglianza dei superiori nelle varie province si fa assai rigorosa interpretando le clausole e i moniti della *Ratio studiorum* in chiave più restrittiva al fine di scoraggiare orientamenti di studio che potrebbero rivelarsi pericolosi.

---

<sup>2</sup> Questa, come tutte le seguenti citazioni di lettere scritte da Galileo o a lui dirette, sono tratte da Favaro (1890-1907). Cesare Marsili a Galileo, 10 aprile 1629 (Favaro 1890-1907, vol. XIV, pp. 32-34).

<sup>3</sup> Niccolò Fabri de Peiresc a Pierre Gassendi, 6-10 settembre 1633, (Favaro 1890-1907, vol. XV, p. 254).

### 3. «Il secondario lume della luna»<sup>4</sup>

In questo clima si sviluppa nel 1639, e prosegue negli anni successivi, la polemica sulla luce presente sulla superficie lunare nei noviluni, che vede coinvolti inizialmente Galileo, ormai vecchio e cieco, e Fortunio Liceti, un aristotelico padovano suo corrispondente da molti anni, e successivamente i più autorevoli astronomi del tempo. Come è noto nel 1640 Liceti dà alle stampe un nuovo libro, il *Litheosphorus sive de lapide bononiensi* (Liceti 1640),<sup>5</sup> in cui analizza le proprietà di una pietra (solfo di bario), trovata nei pressi di Bologna, che assorbe la luce e la restituisce, sostenendo che la luce cinerea lunare, cioè la leggera luminosità che permette di intravedere la parte oscura del nostro satellite quando esso ha forma di falce o in prossimità dei noviluni, sia dovuta alla capacità della Luna di trattenere e poi diffondere la luce del Sole, similmente alla pietra lucifera bolognese.<sup>6</sup> Nel solco della tradizione aristotelica il padovano considera il nostro satellite un corpo celeste avvolto da un'atmosfera e simile a un'enorme pietra lucifera che nei cieli ripropone il prodigio delle piccole pietre bolognesi in occasione dei noviluni. Le proprietà della pietra, secondo la testimonianza di Giulio Cesare Lagalla, erano già ampiamente note a Galileo che ne aveva portato a Roma, in occasione del viaggio del 1611, alcuni campioni.<sup>7</sup> Il tema della luce 'semioscura' della Luna era stato affrontato nel *Sidereus Nuncius* e nella giornata prima del *Dialogo*, e la spiegazione galileiana, che riconduceva tale 'lume' alla luce solare riflessa dalla Terra, criticata da Liceti nel suo libro, già a suo tempo non aveva trovato buona accoglienza in certi ambienti in quanto si allontanava dalla tradizione aristotelica che, attribuendo ai corpi celesti una natura del tutto diversa da quella della Terra, non ammetteva un'influenza di questa su quelli. Galileo scrive nella *Prima Giornata*:

[tal lume] viene dal riflesso del lume del Sole nella superficie della terra e del mare: e più si vede tal lume chiaro, quanto la falce è più sottile, perché allora maggiore è la parte luminosa della Terra che dalla Luna è veduta [...] e tanto più potente la riflessione del lume.<sup>8</sup>

<sup>4</sup> Leopoldo de' Medici a Galileo, Pisa, 11 marzo 1640 (Favaro 1890-1907, vol. XVIII, p.165).

<sup>5</sup> Un secondo libro di Liceti vedrà la luce due anni dopo (Liceti 1642).

<sup>6</sup> Si trattava di una pietra che, dopo essere stata calcinata, acquistava la proprietà di diventare fosforescente per insolazione (all'epoca si diceva: «in grado di assorbire e tramandare la luce»), scoperta dal ciabattino ed alchimista Vincenzio Casciarolo nel 1604 e chiamata pietra lucifera di Bologna poiché era stata trovata sul Monte Paderno vicino Bologna (si tratta di barite, che, una volta macinata e calcinata, si trasforma in solfo di bario), già nel 1634 era stata oggetto di attenzione da parte di Maiolino Bisaccioni e Ovidio Montalbani che avevano studiato le tecniche di calcinazione per ottenere diversi effetti di fosforescenza (Bisaccioni, Montalbani 1634). Le proprietà della pietra fosforescente attraversero per lungo tempo le speculazioni di filosofi naturali in Italia e in Europa. Si veda (Yen, Weber 1932).

<sup>7</sup> In contrapposizione all'interpretazione che attribuiva alla luce una natura corpuscolare, G.C. Lagalla, ribadendo che la luce non è una sostanza, ma un accidente, osserva che la fosforescenza delle 'pietre lucifere' non è una proprietà del minerale non trattato, ma una conseguenza del processo di calcificazione, il quale rende la pietra porosa e in grado di assorbire una certa quantità di fuoco e di luce, poi lentamente rilasciata; con ciò egli esclude che «il secondario lume» possa essere il prodotto della riflessione della luce solare sulla Terra da parte della Luna. Si veda (Lagalla 1612).

<sup>8</sup> Galileo aveva affrontato il tema nel *Sidereus Nuncius* (Favaro 1890-1907, vol. III (1), pp. 72-75) e nella prima giornata del *Dialogo* (Favaro 1890-1907, vol. VII, p. 92).

Come è noto, nel corso degli anni 1639-1641 Galileo e Liceti intrattengono un carteggio su questo tema e su quello correlato della natura della luce, che il 31 marzo 1640 conduce lo scienziato pisano alla stesura della Lettera al Principe Leopoldo di Toscana. Galileo, “addolorato” per alcune delle posizioni assunte da Liceti, si risolve infatti a rispondere alla richiesta del Principe di comunicargli il suo pensiero «intorno al secondario lume della luna»,<sup>9</sup> esprimendo il suo giudizio sul *Litheosphorus*, e chiarendo, come già aveva scritto nelle sue opere, che quel tenue lume secondario nella parte tenebrosa della luna non è altro che

l'effetto cagionato dal riflesso de' raggi solari nella superficie del nostro globo terrestre [...] e più si vede tal lume chiaro, quanto la falce è più sottile, perché allora maggiore è la parte luminosa della Terra che dalla Luna è veduta [...] e tanto più potente la reflession del lume.<sup>10</sup>

Gli amici e i discepoli gli sono intorno e lo sostengono, ormai vecchio e cieco, in quest'ultima sua “fatica”, il cui interesse non è solo di carattere scientifico. Lo stretto intreccio tra riflessione filosofica e pensiero scientifico, unito all'elegante esercizio letterario, fanno la fortuna di questa lettera che in pochi mesi attrae, copiata di mano in mano, le più vivaci menti del mondo intellettuale del tempo. Il nuovo scritto del vecchio pisano entusiasma i suoi discepoli, tanto quanto l'opera del Liceti stimola critiche talora asperime.

Scriva a Galileo Dino Peri:

I frutti, e massime le novellizie di V.S. Ecc.ma, son cosa troppo ghiotta, troppo singolare, troppo divina per rinunciarvi.

Mentre, riferendosi al *Litheosphorus*, osserva:

a me pare risolutamente che [il Liceti] si sia fatto con quelle poche carte un marchio indelebile di grandissimo asinaccio.<sup>11</sup>

Da Bologna Bonaventura Cavalieri annota:

[Liceti] fa un libro in una settimana, e sin hora [...] ne deve havere stampati da 37. Egli è ben vero che non hanno li suoi libri molto spaccio o credito appresso gl'intendenti; anzi le sue compositioni, come mi disse un valente Padre, lettore pubblico di metafisica in Padova, ivi sono chiamate barzellette.<sup>12</sup>

Qui non intendo affrontare l'analisi accurata del carteggio che tanto ha impegnato noti storici e che è trattato nelle sue linee generali in numerose pubblicazioni,<sup>13</sup> ma, pren-

<sup>9</sup> Leopoldo de' Medici a Galileo, 11 marzo 1640 (Favaro 1890-1907, vol. XVIII, p. 165).

<sup>10</sup> Galileo al Principe Leopoldo, 31 marzo 1640 (Favaro 1890-1907, vol. VIII, pp. 489-542).

<sup>11</sup> Dino Peri a Galileo, 8 febbraio 1640 e 29 febbraio 1640 (Favaro 1890-1907, vol. XVIII, pp. 143-144 e pp. 155-156).

<sup>12</sup> Bonaventura Cavalieri a Galileo, 5 giugno 1640 (Favaro 1890-1907, vol. XVIII, pp. 200-201).

<sup>13</sup> Si veda Piccolino, Wade (2013, pp. 49-62), Redondi (1983, pp. 24-29), e la sintesi proposta da R. Renzetti, con ampia bibliografia (Renzetti 2009, pp.50-61).

dendo spunto dalle tematiche affrontate, porre in evidenza il vasto interesse stimolato dalla controversia scientifica unitamente alla complessità e all'intreccio dei problemi che si ponevano ad uno scienziato operante all'interno di un ordine religioso quando egli intendesse affrontare il tema della natura dei corpi celesti ampiamente collegato a quello della natura della luce. Lo stesso Galileo, infatti, aveva prudentemente scritto a Liceti:

Mi sono meravigliato che ella per cosa accennata dal filosofo Lagalla mi attribuisca che io habbia tenuto il lume essere cosa materiale e corporea mentre che ella medesima legge nell'istesso autore che io mi era sempre tenuto tanto inhabile a poter penetrare che cosa sia il lume, che mi sarei esibito a star in carcere in pane e acqua tutta la mia vita, purchè io fussi stato assicurato di conseguire una da me tanto disperata cognizione.<sup>14</sup>

Nella primavera del 1640 a Firenze come a Bologna, a Venezia come a Roma, gli studiosi auspicano che la Lettera al Principe Leopoldo veda presto la stampa, o almeno sia ampiamente diffusa con copie redatte a mano (Marenzana 2007). Non mi soffermo oltre sul tema del carteggio, limitandomi ad evidenziare il vasto interesse stimolato dalla controversia scientifica che non può non incoraggiare la Compagnia di Gesù a mobilitare le sue menti migliori. Ma per i Padri gesuiti la *curiositas* per il problema scientifico si accompagna alla necessità di rispettare la tradizione tomistica in teologia ed aristotelica in filosofia; nelle *Regulae Revisorum Generalium* si legge infatti: «ut approbetur [...] opinio aliqua non sufficit quod idonei alicuius auctoris sit; requiritur insuper ut non sit contra doctorum axiomata communemque scholarum sensum» (Costantini 1969, p.96). Dopo la pubblicazione dell'opera di Liceti la pietra lucifera sembra spiegare la luce cinerea del nostro satellite senza aderire alla soluzione proposta da Galileo. Nuovi e rinnovati studi intorno ai fenomeni di fosforescenza si rendono necessari.

Da Bologna nel 1642 Padre Giambattista Riccioli, astronomo e teologo gesuita, scrive a Padre Atanasio Kircher, l'influente scienziato gesuita che insegna al Collegio Romano, scambiando alcune informazioni sulla *lapis Bononiensis*.

Riccioli è noto in Italia e all'estero, la sua conoscenza enciclopedica in ambito astronomico e geografico e le sue competenze in materia teologica gli consentono di affrontare le tematiche più controverse del suo tempo. Con la valida collaborazione di un brillante allievo, Francesco Maria Grimaldi, mette a punto un osservatorio presso il Collegio gesuita di Santa Lucia in Bologna, centro culturale di primo livello in competizione con l'Università di Bologna non solo nell'ambito degli studi umanistici, ma anche nel settore scientifico. Qui insegna e realizza numerose osservazioni astronomiche, altre le raccoglie in gran numero grazie ai contatti con molti Collegi della Compagnia di Gesù distribuiti in tutta Europa ed anche al di fuori del continente europeo. Negli anni precedenti ha ottenuto il permesso dai superiori di leggere le opere di Galileo, ma ha anche assunto l'impegno di produrre la più articolata confutazione del sistema co-

<sup>14</sup> Galileo a Fortunio Liceti, 25 agosto 1640 (Favaro 1890-1907, vol. XVIII, pp. 232-237); il riferimento è a Lagalla (1612) ove è richiamata la tesi attribuita a Galileo della struttura corpuscolare della luce, tesi compatibile con la concezione atomistica della materia.



pernicano che sia stata proposta da un astronomo del suo tempo. Di lì a poco darà alle stampe un'opera di vasta erudizione, la più grande sintesi di sapere astronomico del secolo XVII, l'*Almagestum Novum* del 1651 (Delambre 1821, tomo II, pp. 274-323).

Padre Athanasius Kircher, scienziato tedesco, gesuita anch'egli, opera a Roma dal 1633. Noto per le sue molte opere a stampa, oltre quaranta, che spaziano tra i campi più vari del sapere, è ricordato da molti contemporanei per l'ampiezza straordinaria della sua sfera di interessi che comprendono la sinologia, la geologia, l'astronomia, l'egittologia, la medicina, l'ottica, la vulcanologia, ecc. Una delle più vivaci menti del suo tempo, gode di stima e rispetto sia all'interno, sia all'esterno della Compagnia, anche se alcuni discepoli di Galileo talora ne criticano il metodo d'indagine. Protetto dalla potente famiglia degli Asburgo, ha ricevuto importanti incarichi da Urbano VIII, e, successivamente, quando le pressioni degli ambienti spagnoli porteranno al soglio pontificio un esponente della famiglia Pamphili, Innocenzo X, Kircher collaborerà fattivamente con i Pamphili per la realizzazione del Giubileo voluto dal pontefice. Nel 1655 diverrà pontefice il Cardinale Fabio Chigi, Alessandro VII, un umanista senese, con cui il gesuita tedesco condivide l'interesse per l'egittologia e la tradizione ermetica; è grazie alla sua protezione che l'influenza di Kircher sensibilmente si accresce negli ambienti romani.

Padre Giovambattista Riccioli è tra i corrispondenti di Kircher,<sup>15</sup> e, in più di una occasione chiederà il suo intervento per risolvere i problemi che la censura romana pone alla pubblicazione delle sue opere. È comprensibile pertanto la sua sollecitudine nel soddisfare i desideri dell'influente confratello, a cui scrive, nell'agosto del 1642, accogliendo sue specifiche richieste e assicurando che al più presto, quando il «calor qui hic certe intensissimus est remiserit»<sup>16</sup> un suo collaboratore, esperto nella procedura atta a calcinare il minerale, esaudirà la sua richiesta e produrrà quattro o cinque esemplari di pietra lucifera.

In quegli anni, infatti, Kircher è impegnato in ricerche sui fenomeni ottici e magnetici e raccoglie informazioni e curiosità connesse ai suoi studi. Di lì a poco darà alle stampe la seconda edizione di *Magnes sive de arte magnetica* (Kircher 1643) dove è raccolto un gran numero di informazioni intorno ai fenomeni magnetici e a quelli simili.

La pietra che Riccioli gli ha procurato, attira la luce come il magnete il materiale ferroso, scriverà nel suo trattato, e dalle sue esperienze conclude che la stessa, divenuta porosa a seguito di calcinazione, è in grado di mantenere nelle sue porosità sottili vapori d'aria mescolati alla luce. Intorno alla cui natura, tuttavia, prudentemente non discute, ma, conclude, la luce che emana dalla pietra calcinata non può essere della stessa natura di quella notturna così come sostengono molti tra i filosofi, tra cui Liceti, poiché la luminosità permane per un tempo breve e rapidamente si estingue, mentre ciò non si osserva nel caso della luce notturna presente sul disco lunare nei noviluni che, al contrario, a lungo permane (Kircher 1643, pp. 581-585).<sup>17</sup> La collaborazione dell'astronomo bolognese è risultata preziosa in questa come in altre occasioni.

<sup>15</sup> Ne sono stati individuati circa 700.

<sup>16</sup> Riccioli a Kircher, 9 agosto 1642 (Gambaro 1989, pp. 53-56).

<sup>17</sup> Ove discute la *Quaestio II - De Lapide P[h]osphoro sive Luminari, quis sit? Et an Magnetice lumen trahat?*

La vicenda ha un seguito interessante che illustra come il *patronage* rivesta un ruolo centrale all'interno della Compagnia, in particolare al momento della autorizzazione alla pubblicazione delle opere.

#### 4. L'*Almagestum Novum* e i Censori romani

Alcuni anni fa, durante una visita all'Archivio romano della S. J., ho rintracciato un documento interessante: la lettera che il 24 novembre 1646 era stata inviata a Riccioli dagli anonimi Censori romani, contenente numerose domande e richieste di chiarimento in relazione all'opera che era prossima alla pubblicazione.<sup>18</sup> Riccioli è turbato, teme che il frutto delle sue fatiche possa non vedere la luce, e non invia con la sollecitudine necessaria le parti dell'opera richieste. Tanto che il 1 dicembre 1646 è il Preposito Generale Vincenzo Carafa stesso che sollecita Riccioli ad inviare a Roma alcune sezioni del primo tomo non ancora esaminate dai Censori romani, avvertendolo che in loro assenza non sarebbe stata autorizzata la stampa dell'opera e ribadisce questa necessità in un'altra lettera del 19 gennaio 1647.

In questa occasione il ruolo ricoperto da Kircher fu certamente importante; ricambiando le attenzioni dell'astronomo bolognese, egli presumibilmente interviene presso i Censori romani per sciogliere i problemi sollevati in relazione alla pubblicazione dell'*Almagestum Novum*. Lo si trae dagli scritti di Riccioli, che, dopo aver inviato al Censore romano argomentate risposte a tutte le questioni sollevate,<sup>19</sup> il 22 dicembre 1646 informa Kircher in dettaglio dei problemi sorti e degli argomenti da lui addotti, e lo prega insistentemente di perorare la sua causa presso i Censori romani al fine di ottenere la sospirata «licentiam primi saltem tomi imprimendi [...] in quo minus periculi est».<sup>20</sup>

L'influente e potente confratello deve aver accolto la richiesta con sollecitudine, poiché il Generale Carafa, con lettera datata 23 febbraio 1647, comunica a Riccioli che l'autorizzazione alla stampa è stata finalmente accordata. E tre giorni dopo, il 26 febbraio, l'astronomo bolognese scrive a Kircher ringraziandolo per la benevolenza accordatagli, così confermando il ruolo decisivo ricoperto dal gesuita tedesco in questa vicenda.

Sono anni in cui va via via diminuendo la libertà di ricerca di cui godevano gli scienziati religiosi attivi in Italia. Nel 1649, per volere del stesso Generale Carafa, eletto nel 1646, inizia la raccolta di proposizioni, professate o insegnate da studiosi appartenenti all'ordine, che nelle varie province erano state individuate dai superiori come «aut essent aut vederentur exotica» (Costantini 1969, p. 98). E la Decima Congregazione generale, riunitasi nel gennaio del 1652, confermando le *Regulae Revisorum Generalium*, ribadisce l'indirizzo più restrittivo assunto dagli ambienti più conservatori della Compagnia.

<sup>18</sup> Gambaro (1989, pp. 39-42). Difficile è stabilire chi sia stato l'autore della lettera, io stessa non sono riuscita a darmi una risposta; secondo M. Gorman sarebbe Kircher stesso, ipotesi tuttavia esclusa da Baldini. Si veda anche (Dinis 2002, p.57, nota 18).

<sup>19</sup> Si veda la *Responsio ad postulata aequissima Censor. Rom.*, in (Gambaro 1989, pp. 70-76).

<sup>20</sup> Riccioli a Kircher, 22 dicembre 1646, in (Gambaro 1989, pp. 77-81).

I temi che devono essere trattati con prudenza e cautela comprendono anche la polemica sul vuoto, strettamente connessa con le problematiche associate alle teorie sulla corporeità della luce, che aveva visto coinvolti esponenti di rilievo a livello europeo. Riguardo a questi argomenti alcuni membri della Compagnia assunsero posizioni non molto gradite ai vertici della Compagnia. Basti ricordare Honoré Fabri, scienziato gesuita amico di Pierre Gassendi, che nelle sue lezioni a Lione spesso si allontanava dal canone tradizionale aristotelico e, approfittando della maggior libertà di cui godevano gli scienziati che operavano nei Collegi francesi o europei, dava alle stampe opere che raccoglievano le sue lezioni e che ebbero una certa diffusione. Se nel 1648 egli fu allontanato dall'insegnamento a Lione e inviato dapprima in una residenza al Fréjus per qualche tempo e poi a Roma, alcuni anni dopo per le sue ricerche sul pianeta Saturno e per le accuse di cartesianesimo sarà addirittura imprigionato per quasi due mesi.<sup>21</sup>

Questo progressivo irrigidimento della Compagnia andò a ridurre sensibilmente i margini di libertà degli scienziati gesuiti, costretti sovente al ruolo di apologisti di un orientamento dottrinale attento a confermare una tradizione aristotelica sempre più difficile da sostenere in alcuni contesti. Ma prima dell'intervento censorio vero e proprio, l'indirizzo restrittivo incoraggiava un prudente autocontrollo che, unito ad un'attenta ricerca della legittimazione, conduceva molti Padri ad abbandonare le amate ricerche, o a esprimere con assai misurata cautela i risultati dei loro studi. Molti ne faranno le spese, tra gli altri anche Orazio Grassi, il fiero oppositore di Galileo in materia di comete, che scrive nel 1652 a Giovan Battista Baliani (Costantini 1989, p.108):

Il mio studio intorno alli colori vedo che non potrà condurre il parto a luce per li rigorosi ordini fatti, come mi vien detto in queste ultime Congregazioni Generali, nelle quali vien proibito a Nostri l'insegnare molte opinioni, delle quali alcune sono la sostanza del mio trattato, e dicono prohibirle non perché le stimino cattive o false, ma per esser nove et non ordinarie; sicché mi converrà sacrificarlo alla Santa Obedienza, nel che senza dubio ne guadagnerò più che mandandolo fuori

e incoraggia il suo interlocutore:

V.S., che non è soggetto a questi intoppi, ci lasci godere qualche novo parto dell'ingegno suo.

Prudenza nell'esprimere i risultati delle ricerche proprie o altrui e talora la necessità di prestare un cauto sostegno ad altri filosofi naturali che incontravano impedimenti e difficoltà per giungere alla pubblicazione delle proprie ricerche, si fanno più frequenti. Così possiamo leggere il generoso intervento di Riccioli nel 1647 a favore di Vincenzo Renieri, monaco olivetano allievo di Galileo, quando gli ostacoli alla pubblicazione di un'opera matematica del religioso, che i censori avevano considerato 'sospetta', si risolveranno grazie alle rassicurazioni dell'illustre astronomo gesuita (Battistini 2000, p. 252).

---

<sup>21</sup> Il 3 giugno 1647 Gabriel Thibaut scriveva a P. Marin Mersenne che i Padri Gesuiti cercavano in ogni modo di espellere dall'ordine Honoré Fabri per i testi che aveva pubblicato (Tannery, de Waard 1932, vol. XV, p. 245). Cfr. (Roux 2005).

E sempre in questa luce possiamo analizzare le pagine dell'*Almagestum Novum* ove l'astronomo gesuita espone un'ampia sintesi delle teorie proposte per spiegare il fenomeno già ricordato, ovvero la luce cinerea o sanguigna presente talora sulla superficie lunare. Il tema, come abbiamo visto, investe direttamente la questione della natura dei corpi celesti ed inoltre potrebbe condurre il lettore ad interrogarsi sulla natura della luce. Unitamente a quello della luce rossastra che talora si poteva scorgere sulla superficie lunare durante le eclissi di Luna,<sup>22</sup> è trattato nel Libro IV dell'*Almagestum Novum* dove Riccioli raccoglie una gran messe di dati.<sup>23</sup> Qui, come altrove, l'astronomo conduce le proprie argomentazioni con grande prudenza, citando con cautela le due questioni scottanti del periodo: il rapporto tra mondo lunare e mondo sublunare da un lato, che la tradizione aristotelica interpretava come aventi natura intrinsecamente diversa, e dall'altro la natura della luce, che poteva esser posta in relazione, più in generale, con la concezione atomistica della materia.

Riccioli dapprima richiama le tesi degli astronomi più noti, Erasmus Reinhold, Tycho Brahe, Johannes Kepler, per poi attardarsi a discutere una terza ipotesi, quella sostenuta da Vitellione (o Witelone), Christoph Scheiner e Vincenzo [sic!] Lagalla, che spiegavano la luminosità cinerea con la penetrazione del corpo semiopaco e semidiafano della Luna da parte dei raggi solari. Con riferimento a questa proposta l'autore richiama le varie obiezioni avanzate Kepler e Galilei che ritenevano detta teoria confutata da numerose dati sperimentali ed in contraddizione con altre osservazioni. Quindi diligentemente passa a illustrare una quarta tesi, la nota spiegazione avanzata da Galilei e da molti altri (Johannes Kepler, Pierre Gassendi, René Descartes, Hortensius – ovvero Maarten van den Hove – di Delft, Antonius Maria Schyrleus di Rheita, Christen Sørensen Longomontanus). Immediato è il richiamo di Riccioli al suo amato maestro, il gesuita Giuseppe Biancani, che «non audet litem inter tertiam et quartam sententiam dirimere».<sup>24</sup> Il tema è infatti spinoso poiché si tratta di valutare se il mondo terrestre può esercitare un'influenza sul mondo celeste. Prudentemente Riccioli riferisce sinteticamente ben dieci argomenti portati da vari studiosi atti a confutare questa pericolosa quarta tesi. Infine espone la quinta ipotesi, ovvero la spiegazione di Liceti, tratta dal suo *Litheosphorus*, di cui abbiamo già avuto occasione di parlare.

Anche in questa circostanza la cautela guida le riflessioni dell'astronomo che scrive:

Itaque computatis omnibus videtur mihi opinio Liceti ingeniosa quidem, sed tertia sententia non improbabilis, at quarta multo probabilior, et ea probe intellecta sic explicari phenomina lucis huius, ut obiecta contra illam facilius et prudentius dissolvantur. Si tamen poneretur tota Luna sic a Sole accendi sicut lapis bononiensis, et incensionis huius effectum usque ad fundum eius penetrare, tunc non esset necesse re-

<sup>22</sup> Il tema «*De luce secundaria Lunae prope novilunia [...]*» unitamente a quello della luce presente sulla Luna durante le eclissi lunari, è trattato in (Riccioli 1651, *Pars prior*, pp. 199-203).

<sup>23</sup> Tra gli altri quelli relativi all'eclisse di Luna del 3 marzo 1569 quando si poté osservare un evento astronomico caratterizzato da molti colori sinistri: dapprima apparve un colore «fuscus, inde sanguineus fulsit, mox et puniceus, et virens, et lividus, et tandem incredibili varietate deformis». Ovvero «fosco, poi sanguineo, subito dopo purpureo, e verdastro, e tendente al blu, e da ultimo alterato da grande varietà [di colori]» (Riccioli 1651, *Pars prior*, p. 203).

<sup>24</sup> Nel Collegio gesuita di San Rocco in Parma fu maestro di molti promettenti giovani tra cui Giovanni Battista Riccioli, Niccolò Cabeo e Niccolò Zucchi.

currere ad reflexionem ex atmosphaera circumlunari, possetq. dici idcirco in quadraturis, aut gibbositatibus Luna[e,] non videri hanc luculam, ob nimium splendorem partis, directe a Sole illustratae, nostris in oculis praedominantem; essetque una et eadem causa luculae huius in pleniluniis et extra.<sup>25</sup>

E conclude aderendo alla spiegazione di Liceti, accademico aristotelico ligio al canone e pertanto ben accetto ai vertici della Compagnia, ma non possiamo non leggere tra le righe, là dove Riccioli scrive «quarta multo probabilior, et ea probe intellecta sic explicari phenomena lucis huius, ut obiecta contra illam facilius et prudentius dissolvantur», l'interesse dello studioso certamente in grado di discriminare tra le varie teorie e di individuare quella scientificamente meglio argomentata e pertanto più convincente.

Tuttavia le difficoltà incontrate presso i Censori romani, risolte grazie alla benevolenza del potente confratello Kircher, unite al lungo iter della pubblicazione – quattro lunghi anni dall'autorizzazione del Generale Vincenzo Carafa al completamento dei due volumi a stampa – consigliano la prudenza e la necessità di aderire quanto più possibile alla tradizione benevolmente incoraggiata dai vertici della Compagnia.<sup>26</sup> Anche Geminiano Montanari, astronomo e matematico modenese vicino alla scuola galileiana e non appartenente ad alcun ordine religioso, qualche anno dopo osserverà amareggiato di «non esser in paese da dire anche lui il fatto suo», lamentando il fatto che a Bologna era necessario «tenere il boccaglio anche a cose di niun scrupolo» (Battistini 2000, p. 259-263). È dunque ragionevole ritenere l'ambiguità, così frequente nelle pagine dell'*Almagestum Novum*, come dettata da una meditata prudenza.

Atteggiamento prudente che, Battistini osserva, portò alcuni frutti nel mondo culturale bolognese. Infatti gli interessi di molti scienziati gesuiti per ambiti di ricerca, connessi in parte all'astronomia e alle teorie sulla costituzione della materia e sulla natura della luce, ma lontani nell'immediato da pericolose conseguenze sul piano cosmologico o dottrinario, promossero ricerche che non entrarono in aperto conflitto con la tradizione aristotelica. Studi sull'ottica, sulla cinematica, o questioni connesse al pendolo che batte il secondo, e problemi legati alla geodesia e geografia, collocandosi piuttosto nel solco dell'impostazione sperimentale di orientamento lockeano e poi newtoniano, che godeva di buon credito presso gli allievi di Galileo, permetteranno agli scienziati della Compagnia di entrare in proficui rapporti con i filosofi naturali che operavano all'esterno degli ordini religiosi. Comportando ciò, per l'ambiente intellettuale bolognese, indubbiamente un vantaggio poiché, paradossalmente, come scrive Battistini: «il

<sup>25</sup> In traduzione: «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, e i fenomeni di questa luce, per questa via convenientemente compresi, sono spiegati in modo tale da dissolvere più facilmente e più prudentemente le obiezioni contro di lei [la quarta]. Se tuttavia si assume che la Luna nelle sua totalità è accesa dal Sole come la pietra di Bologna e che l'effetto di questa accensione è tale da penetrarla fino al fondo, allora non è necessario ricorrere alla riflessione da parte della atmosfera circumlunare, per questo motivo si può dire che nelle quadrature, o nelle gibbosità della Luna, non si può vedere questa luminosità [cinerea], a causa dell'eccessivo splendore della parte direttamente illuminata dal Sole, splendore che predomina nei nostri occhi, ed è una sola e sempre la medesima la causa di questa luce [cinerea] nei pleniluni ed extra».

<sup>26</sup> L'autorizzazione è del 12 marzo 1647. L'*Almagestum Novum Pars Prior* sarà pubblicato il 15 agosto 1651, e la *Pars Posterior* vedrà la luce l'8 dicembre 1651.

controllo della Chiesa, a Bologna forse più forte che altrove perché diretto, ebbe per contropartita una maggiore circolazione delle idee» (Battistini 2000, p. 263).

### 5. *Was Riccioli a Secret Copernican?*<sup>27</sup>

Di recente uno studioso americano ha realizzato approfondite ricerche sulla figura di G. B. Riccioli, traendone la convinzione che egli abbia argomentato contro le tesi copernicane profondamente convinto della bontà della proposta ticonica, che egli integrò con alcune variazioni, e della tradizione accreditata presso la Compagnia di Gesù (Graney 2015). È opinione di chi scrive, al contrario, che Riccioli, astronomo e filosofo naturale, abbia frequentemente orientato le proprie ricerche e abbia espresso i propri convincimenti mosso soprattutto dalla prudenza e dalla necessità di mantenere una buona protezione da parte degli esponenti più in vista della Compagnia.

Riccioli non fu certo un coraggioso e polemico innovatore, ma l'amore genuino che portava agli studi astronomici non poté non fargli apprezzare alcuni aspetti della proposta copernicana e galileiana, che nell'*Almagestum Novum* è ampiamente analizzata. La forte e sincera determinazione del gesuita a sostegno del geocentrismo, che Graney gli attribuisce, pare emergere più da un travisamento nella traduzione dei passi dell'*Almagestum Novum* operata dall'americano, che da reali convinzioni di Riccioli stesso.

L'attenzione alle tematiche teologiche, propria dell'astronomo gesuita, unitamente alla sua stessa indole aperta al confronto e incline alla mediazione, ci aiutano a comprendere la sua posizione, stretto tra due forze opposte, desideroso di raggiungere la verità, ma conscio delle conseguenze serie che alcune sue affermazioni avrebbero potuto avere sul piano teologico. In definitiva fu uomo prudente, rispettoso nei confronti degli autorevoli Padri che guidavano l'Ordine a cui apparteneva, ma anche studioso acuto e ricercatore curioso che studiava a fondo i contributi più significativi del suo secolo.

Come osserva Dinis, per quanto Riccioli «was neither a open nor a secret Copernican, he surely upheld some doubts about the truth of geocentrism» (Dinis 2002, p.76).

### Bibliografia

- Battistini A. (1989). *La struttura del De Lumine di F. M. Grimaldi e le forme della sua ricezione newtoniana* in Tarozzi G., van Vloten M. (a cura di), *Radici, significato, retaggio dell'opera newtoniana*. Bologna: Società Italiana di Fisica, pp. 157-177.
- Battistini A. (2000). *Galileo e i gesuiti: miti letterari e retorica della scienza*, Milano: Vita e pensiero.
- Biagioli M. (1993). *Galileo Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago: The University of Chicago Press.

<sup>27</sup> Titolo del contributo di A. Dinis (2002).

- Bisaccioni M., Montalbani O. (1634). *De Illuminabili lapide Bononiensi epistolae familiares duae*. Bologna: typis Clementis Ferronii.
- Borgato M.T. (a cura di) (2002). *Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei gesuiti nell'età barocca*. Firenze: Olschki.
- Costantini C. (1969). *Baliani e i Gesuiti*, Firenze: Giunti Barbera.
- Delambre J. B. (1821). *Histoire de l'astronomie moderne*, tomo II. Paris: Huzard-Courcier.
- Dinis A. (2002). *Was Riccioli a secret Copernican?*, in Borgato M.T. (a cura di), *Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei gesuiti nell'età barocca*. Firenze: Olschki, pp. 49-77.
- Favaro A. (a cura di) (1890-1907). *Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei*. Firenze: Barbera.
- Feingold M. (ed.) (2003a). *Jesuit Science and the Republic of Letters*. Cambridge (Mass.): MIT Press.
- Feingold M. (ed.) (2003b). *The New Science and the Jesuit Science: Seventeenth Century Perspective*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Findlen P. (ed.) (2004). *Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything*. New York: Routledge.
- Fouilloux E., Hours B. (eds.) (2005). *Les Jésuites à Lyon - XVIe et XXe siècle*. Lyon: Presses de l'ENS-LSH.
- Gambaro I. (1989). *Astronomia e tecniche di ricerca nelle lettere di G.B. Riccioli ad A. Kircher*, Quaderni, n.15, Genova: CNR - Centro di Studio sulla Storia della Tecnica, e [online]. URL: <<http://geca.area.ge.cnr.it/scheda-bibliografica/index.php?id=302603&sheet=etichette>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Graney C.M. (2015). *Setting aside all authority - Giovanni Battista Riccioli and the Science against Copernicus in the Age of Galileo*. Notre Dame (Indiana): University of Notre Dame Press.
- Kircher A. (1641). *Magnes, sive de Arte Magnetica libri tres*. Roma: Ex Typographia Ludovici Grignani.
- Kircher A. (1643<sup>2</sup>). *Magnes, sive de Arte Magnetica libri tres*. Coloniae Agrippinae: Apud Iodocvm Kalcoven.
- Kircher A. (1654<sup>3</sup>). *Magnes, sive de Arte Magnetica libri tres*. Roma: Vitalis Mascardi.
- Lagalla G.C. (1612). *De phoenomenis in orbe lunae noui telescopij vsu a d. Galileo Galileo nunc iterum suscitatis physica disputatio, a d. Iulio Caesare La Galla [...] necnon de luce, et lumine altera disputatio [...]*. Venezia: apud Thomam Balionum.
- Liceti F. (1640). *Litheosphorus, sive de lapide Bononiensi lucem in se conceptam ab ambiente claro mox in tenebris mire conservante*. Utini: ex Typographia Nicolai Schiratti.
- Liceti F. (1642). *De Lunae subobscura luce prope coniunctiones et in eclipsibus observata*. Utini: ex Typographia Nicolai Schiratti.
- Marenzana M. (2007). “Caro Fortunio ti scrivo”, *Sapere*, ottobre 2007, pp. 74-83; e come *Galileo e Liceti, ovvero genio e mediocrità* [online]. URL: <[http://www.consiglio.regione.tos.it/news-ed-eventi/pianeta-galileo/atti/2006/18\\_marenzana.pdf](http://www.consiglio.regione.tos.it/news-ed-eventi/pianeta-galileo/atti/2006/18_marenzana.pdf)> [data di accesso: 01/04/2016].

- Piccolino M., Wade N.J. (2013). *Galileo's Visions: Piercing the spheres of the heavens by eye and mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Redondi P. (1983). *Galileo eretico*. Torino: Einaudi.
- Renzetti R. (2009). *Gli ultimi anni di Galileo* [online]. URL: <[http://www.fisicamente.net/FISICA\\_2/index-1856.pdf](http://www.fisicamente.net/FISICA_2/index-1856.pdf)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Roux S. (2005). *La philosophie naturelle d'Honoré Fabri (1607-1688)* in Fouilloux E., Hours B. (eds.), *Les Jésuites à Lyon - XVIe et XXe siècle*. Lyon: Presses de l'ENS-LSH, pp. 75-94, e [online]. URL: <<http://disoama.free.fr/Fabri.pdf>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Siebert H. (2004). *Kircher and his critics - Censorial Practice and Pragmatic Disregard in the Society of Jesu*, in Findlen P. (ed.), *Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything*. New York: Routledge, pp. 79-104.
- Tannery Mme P., de Waard C. (eds.) (1932-1988). *Correspondance du P. Marin Mersenne religieux minime*. Paris: Editions du Centre national de la recherche scientifique.
- Tarozzi G., van Vloten M. (a cura di) (1989). *Radici, significato, retaggio dell'opera newtoniana*. Bologna; Società Italiana di Fisica.
- Yen W.M., Weber M.J. (1932). *Inorganic Phosphors*. Boca Raton (Florida): CRC Press.



# **Il valore educativo della riedizione in lingua italiana del testo settecentesco *Automatum Inaequale* di Gabriele Bonomo, matematico nicosiano**

Maria Luisa Tuscano - Associata INAF - mltuscano@gmail.com

*Abstract:* The remake in Italian language of the eighteenth-century text, published originally in Latin, intends to be a proof of safeguard of the cultural heritage because it protects, thanks to the smoothness of reading, the current use from a broader range of users.

Accompanied by a biographical introduction and by references to the historical-scientific context of the territory, the book of Gabriele Bonomo becomes topical even in didactic terms, being part of the line of study and enhancement of the ancient scientific instrumentation within adequate training. Moreover, the translation has already promoted the amateur reconstruction of the unusual clock designed by the mathematician of Nicosia.

Born from the synergy of attentive lovers and announced during the Conference SISFA in Florence, the translated edition of the text of Gabriele Bonomo is unveiled at the current Meeting of Arezzo.

*Keywords:* Palermo, Nicosia, Minimi, time systems

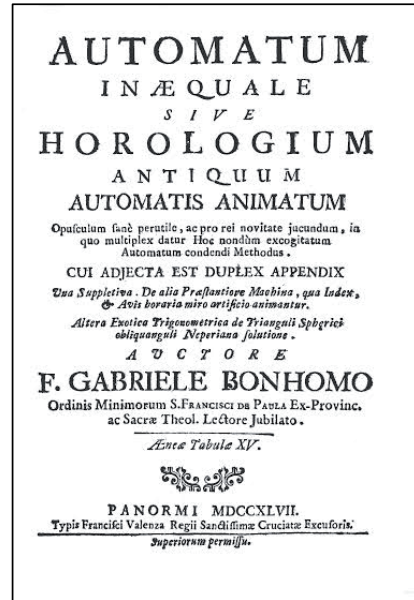
## **1. Gabriele Bonomo e le premesse culturali dell'*Automatum Inaequale***

La figura di Gabriele Bonomo è stata oggetto di relazione da parte della scrivente durante il XXXIV Congresso nazionale della SISFA tenutosi a Firenze nel 2014 presso il Museo Galileo. Gli Atti di tale evento sono attualmente in via di preparazione e ad essi si rimanda per una più dettagliata informazione biografica e scientifica del personaggio.<sup>1</sup>

Si ritiene, tuttavia, necessario, a premessa del tema adesso affrontato, ripercorrere brevemente i lineamenti culturali di questo matematico, al secolo Giovanni Battista, nato nel 1694 a Nicosia, in provincia di Enna, e ammesso all'età di quindici anni al noviziato dei frati Minimi nel Convento di Sant'Oliva a Palermo. In questa imponente struttura religiosa, corredata di una vasta biblioteca con un ricco patrimonio librario, assunti i voti con il nome di Gabriele, egli trascorre la propria vita, perfezionandosi nella formazione teologica e appassionandosi agli studi matematici e fisici.

---

<sup>1</sup> Allo stesso fine si può anche consultare (Tuscano 2015).



**Figg. 1-2.** Ritratto di Gabriele Bonomo conservato presso la Biblioteca Comunale di Palermo e Frontespizio del libro *Automatum Inaequale*

Reggente degli Studi e Provinciale tre volte per la Sicilia, si dedica all'insegnamento delle discipline scientifiche valorizzando la formazione matematica all'interno dei noviziati siciliani e confermando una peculiare tradizione dell'Ordine dei Minimi.<sup>2</sup> Pur rifiutando l'invito dei confratelli francesi a raggiungerli a Parigi, egli coltiva una rete di relazioni culturali e promuove, tra l'altro, la costituzione di un'Accademia matematica all'interno del suo Convento, frequentata da autorevoli studiosi (Beritelli e La Via 1819).

Convinto assertore del metodo sperimentale, basato su rigorose procedure e razionali deduzioni, come si evince dalla lettura dei suoi stessi scritti, Bonomo è considerato nell'ambiente matematico uno dei pochi esponenti nella Sicilia della prima metà del settecento che si apre ai nuovi percorsi e ne divulga i contenuti.

Nell'arco di poco più di dieci anni il Nostro, che si spegnerà nel 1760, scrive e pubblica tre libri: *Automatum Inaequale* (1747); *Trigonometria* (1754); *Horographia* (1758).

Domenico Schiavo, regio storiografo, così lo ricorda:

Non lascio poi di pregarvi a stendere un meritato Elogio al sopralodato P. Lettore Bonomo. Egli alle Scienze matematiche (nelle quali quanto si sia internato rilevar lo potete dalle due opere già pubblicate) aggiunge ancora la cognizione degli studi Ecclesiastici, della buona Filosofia, e specialmente dell'Optica, avendo di sua mano la-

<sup>2</sup> L'Ordine dei Minimi, fondato da S. Francesco di Paola, annovera rinomate personalità scientifiche. Basti citare Marin Mersenne, Emmanuel Maignan, François Jacquier, Thomas Le Soeur.

vorato degli ottimi microscopi, e telescopi. Quello però, che in esso è più ammirevole, e che l'ha reso a ragione l'oggetto della venerazione di tutti questi Religiosi, e dell'amore di tutti i Letterati Palermitani, si è la singolare umiltà, e gentilezza. Come che fosse oppresso di sovente da varie infermità, non lascia pure di prendersi la briga di istruire qualunque giovane, che a lui ricorre per intendere le proposizioni più difficili della geometria o della trigonometria, ed accomodandosi alla diversa capacità dei suoi discepoli, gli è riuscito renderne parecchi perfetti in sì sublimi scienze.<sup>3</sup>

Bonomo invero fa della didattica una sorta di missione e probabilmente ne è talmente assorbito da rinunciare a proseguire nella ricerca personale di cui lascia testimonianza attraverso due saggi.<sup>4</sup> Soprattutto egli sostiene la necessità di educare a un metodo scientifico basato sull'uso della trigonometria con il calcolo neperiano invece del procedimento geometrico e su una corretta organizzazione sperimentale.

Domenico Scinà così commenta il libro di Trigonometria pubblicato da Bonomo:

Il trattato ch'ei mandò fuori, di trigonometria piana e sferica, è chiaro, conciso, fiancheggiato da forza di dimostrazione, opportuno ad imprimere nelle menti dei giovani gli utili e ingegnosi ritrovati di questo ramo importantissimo delle cose geometriche (Scinà 1825).

Nelle introduzioni di tutti e tre i testi Bonomo dichiara il suo intento di mettere a disposizione del lettore i mezzi che permettono di potere ripercorrere autonomamente quanto esposto nella trattazione. Per questo motivo i tre libri presentano un importante corredo di esercizi esplicativi e applicativi che denotano come l'autore si proponga di veicolare i contenuti matematici per risolvere anche esigenze del quotidiano.

È ragionevole presumere che questo tipo di approccio scaturisca anche dal dialogo presente nell'Accademia matematica perché esso si riscontra in un altro autorevole matematico frequentatore delle riunioni, il domenicano Benedetto Maria Castrone.

E in questo stesso dibattito matura l'analisi epistemologica dei sistemi orari che ispirerà a Bonomo l'idea di un orologio meccanico in grado di segnare le ore diseguali dette anche *temporarie*: esse, infatti, tranne che nei due giorni equinoziali, nel corso dell'anno sono variabili per ampiezza derivando dalla suddivisione degli archi, diurno e notturno, sempre in dodici parti.

Alle ore temporarie, dette *planetarie* dai Babilonesi e dai Caldei perché legate all'influsso dei pianeti, ma anche *giudaiche* per l'ampia diffusione in Medio Oriente, adottate per gli usi comuni nell'antica Roma,<sup>5</sup> Bonomo e Castrone riconoscono una mi-

<sup>3</sup> Lettera al P. Mollet in (Schiavo 1756)

<sup>4</sup> Questi studi compaiono come appendici ai libri *Automatum Inaequale* e *Horographia*, rispettivamente con i titoli: *Appendix exotica Trigonometrica de Triangoli Sphaerici obliquiangoli Neperiana Soluzione* e *Appendix de quadam Curva Semicirculo inscripta, cujus ope inveniuntur duae Mediae continuae proportionales inter quasquaque datas extremas.*

<sup>5</sup> Nell'antica Roma i sacerdoti e i giureconsulti adottavano ore uguali del sistema astronomico.

gliore qualità informativa. Sono quattro, infatti, gli eventi del giorno ad essere indicati: sorgere e tramontare del Sole, mezzogiorno e mezzanotte come punti intermedi.<sup>6</sup>

È indubbio che il sistema temporario, le cui indicazioni variano sia in funzione della latitudine che della longitudine, sia vantaggioso solo per una comunità stanziale, di questo Bonomo è consapevole ma, come egli stesso scrive, l'intento non è di escludere gli altri sistemi orari ma di mantenere anche quello che conserva una maggiore coerenza con gli eventi naturali.<sup>7</sup>

La *quaestio* posta dall'*Automatum Inaequale* consiste, soprattutto, nel raffronto tra tempo vero e tempo medio. Il tempo medio, che diventerà anche convenzionale per le esigenze sociali dei sistemi a rete nel corso dell'ottocento, esiste come tempo degli orologi meccanici che marciano regolarmente: esso è estraneo ai fenomeni naturali ma agevole per la costruzione dei congegni di un orologio. Realizzare orologi meccanici per un moto non uniforme risulta complicato.

Bonomo, tuttavia, si è appassionato alla Fisica e all'Astronomia: oltre a studiare Newton, presumibilmente nei commentari dei confratelli Jacquier e Le Soeur, si diletta nel realizzare telescopi e microscopi. Né può mancargli il riverbero del razionalismo cartesiano, già coltivato dai confratelli francesi, in specie da Mersenne, in cui l'automatismo ha assunto un ruolo peculiare.



Fig. 3-4. Frontespizi dei libri *Trigonometria* (1754) e *Horographia* (1758).

<sup>6</sup> I sistemi a ore uguali forniscono un minor grado d'informazione astronomica. I sistemi babilonese e all'italiana indicano rispettivamente il sorgere e il tramontare del Sole, origine del computo orario, quello astronomico o all'europea la culminazione superiore ed inferiore del Sole.

<sup>7</sup> I primi orologi meccanici furono ideati per fornire dati astronomici piuttosto che orari e per tale motivo i loro congegni erano particolarmente complessi.

## 2. La riedizione in italiano dell'*Automatum Inaequale* e il suo valore educativo

Il nome di Gabriele Bonomo, presente in molteplici repertori matematici italiani e stranieri, è noto soprattutto agli studiosi che si sono interessati del contesto scientifico siciliano del XVIII secolo. Negli ultimi anni le pubblicazioni digitalizzate di Gabriele Bonomo immesse in rete e la loro ricorrenza nel circuito antiquario di libri hanno determinato un nuovo e più ampio interesse ad approfondire la conoscenza di questo personaggio e al contempo hanno promosso la volontà di fare delle traduzioni dei suoi lavori.<sup>8</sup>

L'*Automatum Inaequale*, tradotto in lingua italiana, corredato da un saggio introduttivo, è stato dato alle stampe nei primi di settembre, giusto in tempo per essere presentato al Museo delle Comunicazioni di Arezzo durante il Congresso della SISFA di quest'anno.

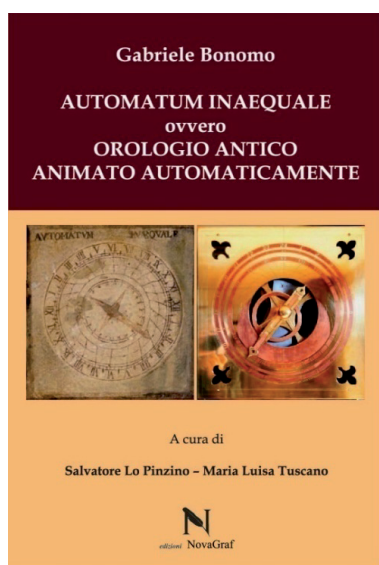


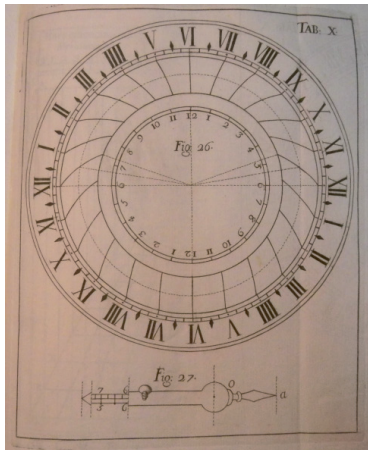
Fig. 5. Frontespizio della riedizione in italiano dell'*Automatum Inaequale*

<sup>8</sup> L'Ingegnere Massimo Goretti di Arezzo, essendosi procurato una copia dell'*Automatum Inaequale*, ha promosso la sua traduzione in lingua italiana. La traduzione è stata operata dalla Dott.ssa Michela Goretti.

Un proficuo dialogo su Gabriele Bonomo è scaturito nel 2014 durante le fasi di preparazione del XIX Seminario di Gnomonica di Cefalù tra Maria Luisa Tuscano e il Dott. Salvatore Lo Pinzino, dipendente della Soprintendenza di Enna, nativo di Sperlinga vicino Nicosia, che, avuto notizia di questa traduzione, ha espresso l'intenzione di pubblicarla, per consentirne la diffusione e un più agevole studio.

La stessa traduzione dell'*Automatum Inaequale* è stata donata a Guido Dresti, cultore vigezzino di strumenti antichi, che ha realizzato una copia dell'orologio, sia pure con qualche variante personale. La foto del quadrante è in prima di copertina del libro accanto al disegno antico dell'orologio (Fig. 5).

L'Ingegnere Alessandro Gunella di Biella, a sua volta, ha tradotto l'*Horographia*, che si spera di potere pure pubblicare.



**Fig. 6.** Il quadrante dell'orologio a ore temporarie inventato da Bonomo

Premesso che questa traduzione permette di studiare il libro più speditamente di quanto non avvenga nella versione originaria, si osserva che essa offre molti spunti formativi che potrebbero essere di interesse nei moderni percorsi educativi.

Un primo aspetto è rappresentato dall'analisi dei diversi sistemi orari che l'autore affronta, nella prefazione del libro, creando un opportuno sfondo storico e mettendo chiarezza nella distinzione tra ore uguali e ore disuguali.<sup>9</sup> È questo un argomento che ha già dato occasione di formulazioni didattiche all'interno di specifici progetti concernenti la misura del Tempo.<sup>10</sup>

Il libro è strutturato in tre capitoli: il primo che riguarda il quadrante dell'orologio, il secondo che illustra il congegno interno, il terzo che considera il funzionamento complessivo dello strumento e le molteplici correlazioni.

L'orologio ideato da Bonomo prevede un quadrante con elementi grafici simili a quelli di un orologio solare: linee orarie e linee di declinazione. E in particolare di un orologio solare equatoriale, ma, come sottolinea lo stesso autore, che si legge per tutto l'anno sulla stessa superficie.<sup>11</sup> L'orario è indicato da un indice a lunghezza variabile che in una prima versione deve essere adattato alla curva di declinazione giorno dopo giorno. Bonomo dà spiegazione di come calcolare ogni elemento trigonometricamente, per i meno edotti anche geometricamente, aggiungendo disegni ed esercizi esplicativi; essendo di per sé una formulazione didattica, essa si propone per un'insolita modalità di studio dei concetti di base di un comune trattato della Sfera.

<sup>9</sup> Spesso emerge una certa confusione nel merito, soprattutto per le ore all'Italiana, che sono impropriamente considerate ore disuguali.

<sup>10</sup> *Il Tempo e l'Uomo*, progetto didattico condotto da M.L. Tuscano con due classi dell'ITIS "Ettore Majorana" di Palermo all'interno dell'Abbazia di San Martino delle Scale.

<sup>11</sup> L'orologio solare equatoriale o equinoziale, parallelo all'equatore, fornisce l'orario per sei mesi su una faccia e per sei mesi su quella opposta, con esclusione dei giorni equinoziali in cui lo gnomone non proietta ombra sul quadro.

Il secondo capitolo è dedicato al congegno e in modo particolare all'espedito ideato da Bonomo per coordinare l'avvicina della suoneria con le ore e i minuti ineguali: un cilindro contenente le ruote dentate per ogni giorno dell'anno, che raccordate generano una superficie scanalata in torsione.<sup>12</sup> Un modo elegante per recuperare le competenze meccaniche nei percorsi degli Istituti tecnici o per aprire approfondimenti sugli orologi negli specifici ambiti disciplinari.<sup>13</sup>

Ma è il terzo capitolo che offre ulteriori opportunità didattiche in quanto esso è dedicato agli esercizi di conversione dei sistemi orari. In particolare si ritiene di particolare interesse sul piano concettuale quello che richiede la conversione di ore temporarie in ore uguali e di ore uguali in temporarie. Al tal proposito il Nostro scrive:

Questa conversione può essere fatta in due modi. In un modo considerando un'ora irregolare come formata da minuti che siano di durata uguale ai minuti dell'Orologio regolare, e conseguentemente sempre uguali tra di loro, e ammettendo che le ore irregolari (eccetto che per gli Equinozi) siano formate da un numero vario di essi cioè da più oggi, domani da meno, o viceversa. In altro modo, considerando l'ora irregolare come formata da minuti che siano di durata diversa (eccetto che per gli Equinozi) dai minuti dell'Orologio regolare, e ammettendo che l'ora irregolare sia sempre composta da uno stesso numero di essi, cioè 60.

Una bella occasione offerta da Gabriele Bonomo per aprire riflessioni propedeutiche al complesso tema della relatività del Tempo e per promuovere approfondimenti sulla convenzionalità delle unità di misura.

## Bibliografia

- Barbera Azzarello M., Foderà Serio G. (1992). *Orologi ed orologiai a Palermo*. Palermo: Sellerio.
- Beritelli e La Via G. (1819). *P. Gabriello Bonomo*, in *Biografia degli Uomini Illustri della Sicilia*, Tomo III. Napoli: Gerrasi.
- Beritelli e La Via G. (1852). *Notizie storiche di Nicosia*. Palermo: Pedone.
- Bonicalzi F. (1987). *Il costruttore di automi. Descartes e le ragioni dell'anima*. Milano: Jaca.
- Bonomo G. (1747), *Automatum Inaequale sive horologium antiquum automatism animatum*. Palermo: Valenza.
- Bonomo G. (1754). *Trigonometria plana, et sphaerica Perscuipis Demonstrationibus, et Corollaris ac Scoolis*, Palermo: Felicella.
- Bonomo G. (1758). *Horographia trigonometrica' pertractata sive sciatericorum omnium planorum tum horizontalium, tum verticalium, tum etiam inclinatum, ac portatilium*. Palermo: Ferrer.

<sup>12</sup> Bonomo, in un'appendice di approfondimento che aggiunge ai tre capitoli, modifica questo cilindro corredandolo di un eccentrico per rendere del tutto automatico l'orologio.

<sup>13</sup> Si ricorda che l'orologio astronomico di Arezzo è stato ripristinato nell'ambito di un progetto didattico coordinato da Fausto Casi.

- Castrone B.M. (1728). *Horographia Universalis seu sciaticorum omnium planorum*. Palermo: Aiccardo.
- De Tiplido E. (1837). *Biografia degli Uomini Illustri nelle Scienze, Lettere ed Arti*. Venezia: Alvisapoli.
- Dresti G., Mosello R. (2015). *La realizzazione dell'orologio ad ore ineguali proposto da Fra' Gabriele Bonomo (1694-1760)*. Milano: La Voce di Hora.
- Lepaute J.A. (1757). *Traité d'Horlogerie*. Paris: Samson.
- Piazzì G. (1798). *Sull'orologio italiano e l'europeo, riflessioni di Giuseppe Piazzì*. Palermo: Stamperia Reale.
- Piazzì G. (1990). *Sulle vicende dell'Astronomia in Sicilia*. Palermo: Sellerio.
- Roberti G.M. (1902). *Disegno storico dell'Ordine dei Minimi: dalla morte del Santo istitutore fino ai nostri tempi*. Roma: Editrice Romana.
- Schiavo D. (1756). *Memorie per servire alla Storia letteraria di Sicilia*. Palermo: Bentivegna.
- Scinà D. (1825). *Prospetto della Storia letteraria di Sicilia nel secolo decimottavo*. Palermo: Lo Bianco.
- Tuscano M.L. (2010). "L'orario Italico civile a Palermo". *Gnomonica Italiana*, 22, pp. 39-43.
- Tuscano M.L. (2015). *Saggio introduttivo* in Lo Pinzino S., Tuscano M.L. (a cura di), *Automatum Inaequale*. Palermo: Novagraf.



## PHYSICS AND SCIENCE IN THE 19<sup>TH</sup> CENTURY



## Sonno ideale della ragione. Un breve scritto di ottica di un filosofo dilettante nell'Italia Umbertina

Giancarlo Albertini - giancarlo.albertini@gmail.com

Anna Sicolo - Istituto "Leonardo Bianchi", Napoli - anna.sicolo.pas@gmail.com

*Abstract:* How to find out the difference between a logical and a crazy line of reasoning? Is it possible to adopt a Turing Machine, able to recognize a deceptive subject? «The image of the image is to the image as the image is to the object. An express train could travel for days on the nose of our immense individual, before reaching the end.» Here we consider a short essay by Luigi Martinotti, a young self-taught man, a solitary type, a dreamer, who spent a long time in several lunatic asylums of Umbertine Italy. He describes his ideas about optics and perception philosophy to scientists and cultivated men in Milan, claiming to have an extraordinary discovery that absolutely had to be considered and communicated to mankind. Benedetto Croce says that «a doctor of the asylum, who had been watching over him, was surprised at his clinical case, and with great probity he said, “that in philosophy everyone can think in his own way, and therefore he does not deserve the asylum”.» Since he was later discharged «with a certificate of great improvement, he fell into this insoluble dilemma: “If I was sick before, why have I to be recovered from that illness now? And if I’m healthy now, why had I to be sick before?”»

*Keywords:* Pseudoscience, Paranoia, Line of reasoning, Benedetto Croce

Ci occupiamo di alcune pagine di ottica o, per meglio dire, di filosofia della percezione scritte da Luigi Martinotti, giovane filosofo dilettante e autodidatta dell'Italia umbertina al quale Benedetto Croce dedicò il saggio *Un indagatore dei misteri dell'universo* (Croce 1905).

Luigi era un personaggio particolare, aveva cercato più volte senza fortuna di attirare l'attenzione di studiosi e uomini di cultura a Milano, a Roma, a Firenze, a Napoli, nel suo continuo peregrinare alla ricerca di finanziamenti per la pubblicazione dei suoi scritti che riteneva importanti per l'umanità tutta. Quando incontra Croce, Martinotti ha circa quarant'anni, ma ha già vissuto complicate vicende e altrettante lo attendono. Ha scontato otto anni di carcere per aver rapito a scopo di riscatto una bambina a Genova. In seguito all'insistente e minacciosa richiesta di attenzione per i suoi scritti, il Prefetto di Napoli lo fece internare come folle nel manicomio del cui archivio Anna Sicolo è ora responsabile e conservatrice. Nuovamente arrestato mentre minacciava con un'arma

giocattolo un attentato al ministro dell'Istruzione Pubblica Giovanni Gentile perché i suoi scritti fossero adottati come testi nelle scuole del Regno, fu ricoverato a Roma, poi trasferito all'ospedale psichiatrico di Mombello, di Collegno e infine di Brescia, dove concluse a ottant'anni una carriera manicomiale lunga circa vent'anni. È del 1888 la lettera agli scienziati *Una scoperta?* il cui manoscritto è stato trovato nella sua camera d'affitto a Genova al momento dell'arresto e che riportiamo integralmente. Di lì a pochi anni gli sarà diagnosticato un delirio paranoico, confermato poi da tutti gli psichiatri che lo seguirono negli anni. Per molti versi Luigi Martinotti sembra un personaggio uscito dalla fantasia di uno scrittore dell'800: una storia familiare degna di Victor Hugo, una storia personale che sembra scritta da Dumas. Operaio in una tipografia, poi fattorino, ferroviere, emigrante in Francia, giocoliere e venditore ambulante di bambole da lui inventate, reo confesso di un tentativo di rapimento e per ciò galeotto, accanito lettore di Goethe, Hegel, Marx e Darwin, era un autodidatta che, negli anni del carcere e nei successivi, scrisse opere che ragionavano di fisica, di matematica e di filosofia, di pluralità dei mondi, della divisione in atomi dei mondi stessi e della divisibilità all'infinito della materia e che cercava contatti epistolari con molti ingegni illustri dell'epoca, tra cui Einstein e Croce. Arrivato a Napoli Martinotti va dal Prefetto a chiedere fondi per la pubblicazione della sua opera; uscirà dalla prefettura scortato da due carabinieri per essere condotto d'urgenza in manicomio (da Dumas a Collodi). In manicomio resterà dieci mesi e ne uscirà "guarito" senza essere stato mai "malato". L'episodio, raccontato da Martinotti stesso nella sua autobiografia, ha spunti da commedia dell'arte. È il 1906, Benedetto Croce, figura di primo piano nel campo della cultura italiana, legge gli scritti che Martinotti gli ha inviato, lo vuole conoscere di persona e scrive su di lui una prefazione molto lusinghiera che si conclude con queste parole: «lo scartafaccio di Martinotti è molto più interessante delle opere di filosofia che presunti o chiari filosofi mi inviano». Solo cinque anni dopo, al congresso di Bologna del 1911 della Società Filosofica Italiana, Croce si scaglierà contro il fisico Federigo Enriques, organizzatore del congresso, definendo i fisici «ingegni minuti, artigiani buoni a fabbricare utensili da cucina...», e, insieme con Giovanni Gentile, darà inizio alla polemica tra il valore delle materie scientifiche e quelle umanistiche con la pretesa superiorità di queste ultime, che resta ancora oggi attuale e di cui sono evidenti le conseguenze nella scuola e nella cultura italiana. La polemica è ben nota, ma fino ad oggi nessuno ha ricordato questo scritto di Croce nel quale egli assume posizioni ben diverse, che certo non sono in linea con la violenta intervista rilasciata al Corriere il giorno del congresso.

È veramente strana la Storia: mentre in Italia prevale l'egemonia culturale di Croce e Gentile, in Europa e più segnatamente nella Repubblica di Weimar, soltanto pochi anni dopo (1919) la Bauhaus di Walter Gropius avrà come principio fondante la fusione tra scienza, arte e artigianato e Giovannino Gentile, figlio amatissimo di Giovanni Gentile, diventerà professore ordinario di fisica teorica a Milano. Non esprimiamo qui un giudizio sulle opere di Martinotti, sulle sue teorie scientifiche e filosofiche. Da un punto di vista medico, la forma e la struttura della sua cartella clinica presentano aspetti singolari rispetto ad altre cartelle dello stesso periodo che abbiamo avuto modo di esaminare, per esempio quello dell'anarchico Caporali: in essa non vi è traccia di anamne-

si, l'esame obiettivo, solitamente molto rigoroso, è appena accennato; non è segnalata la terapia, niente farmaci e presidi terapeutici, in dieci mesi il diario clinico giornaliero è aggiornato solo tre volte, tutto si riduce alla trascrizione, sulla cartella, della biografia del paziente ricavata dall'autobiografia del Martinotti, e ancora, non vi è traccia di una diagnosi di dimissione. È singolare la cosa soprattutto se riferita alla data del suo ricovero in manicomio (aprile 1904). Infatti, il metodo biografico, ispirato forse al socratico *conosci te stesso*, affermatosi come una delle principali pratiche terapeutiche della moderna psichiatria, viene esposto per la prima volta nel 1910 da Jaspers nel suo testo rivoluzionario sulla paranoia; le idee sono poi condensate nella sua *Psicopatologia generale* (Jaspers 1964). Laureatosi in medicina e passato ad insegnare psichiatria alla facoltà di filosofia di Heidelberg, amico di Heidegger, almeno fino all'adesione di quest'ultimo al nazismo, esamina i casi di alcuni pazienti affetti da paranoia, fornendo informazioni biografiche relative ai soggetti in cura e dando un resoconto del modo in cui gli stessi pazienti interpretavano i loro sintomi ponendo così in evidenza «UNA biografia e non invece applicando delle leggi che valgono, con tutti i loro limiti, per OGNI biografia». La cartella clinica di Martinotti presenta tutte queste caratteristiche, per cui ci possiamo chiedere, senza avere ancora una risposta, se l'equipe medica napoletana del prof. Leonardo Bianchi, luminare della medicina, al centro di vaste relazioni di carattere scientifico con l'Europa e in particolare con la Germania, fosse già a conoscenza degli studi di Jaspers. Le teorie pubblicate da Jaspers scorrevano forse come un fiume carsico fra gli addetti ai lavori? È certo che «le ricerche scientifiche diventano filosofiche quando si spingono coscientemente fino ai limiti e all'origine della nostra esistenza».

Partendo dall'assunto che le affermazioni del paranoico si collocano, dal punto di vista dei contenuti, sul piano della verosimiglianza e della plausibilità, ci chiediamo se tra delirio a contenuto scientifico e scienza esiste una relazione di parentela. Se l'affinità sia solo tematica oppure se delirio e scienza siano differenti frutti di uno stesso albero. Da dove passa la linea che divide scienza e pseudoscienza? E tra pseudoscienza e delirio pseudoscientifico (Rossi Monti 2009, pp. 27-32)? Esiste uno stile argomentativo specifico del delirante ed esiste un metodo sicuro per individuarlo? Lo scienziato concepisce delle ipotesi di cui vuole verificare la validità, il paranoico cade in un *ragionamento circolare* chiaramente erroneo, dove la possibilità è *trovata* retrospettivamente da ciò che essa serve a dimostrare. Lo scienziato usa una logica lineare di tipo teleologico, il paranoico usa una logica circolare (Arieti 2014, pp. 211-223). Sembra proprio tutto chiaro! Si tratta di uno schema tanto semplice da risultare semplicistico!

La paranoia è un disturbo mentale inquietante, pericolosamente confinante e intrecciato con quello che si considera la normalità. Vogliamo sottolinearne alcune caratteristiche che mettono in luce i meccanismi profondi della costruzione del pensiero argomentativo scientifico in generale. Utilizziamo uno schema di van Eemeren-Grootendorst (1995) ispirato alla teoria degli atti linguistici di Austin (1962) e Searle (1969), secondo la quale il linguaggio è uno dei modi di agire sul mondo, un tipo particolare di azione compiuta interamente attraverso mezzi linguistici. Essendo un'azione, esistono condizioni che devono essere rispettate perché l'atto linguistico possa essere giudicato *felice*, cioè compiutamente realizzato.

<b>Condizioni di felicità dell'atto argomentativo</b>		
Condizioni di riconoscimento		L'interlocutore deve essere messo in condizione di riconoscere che si trova dinanzi ad una argomentazione
Condizioni di correttezza	Condizioni preparatorie	Il parlante deve credere che ci sia effettivamente bisogno di difendere la propria idea e dunque che l'interlocutore non creda già a quell'idea e non sia disposto ad accettarla senza giustificazioni
	Condizioni di sincerità	Il parlante deve sostenere un'idea in cui crede veramente
Condizioni di successo		Il parlante deve riuscire a provocare nell'ascoltatore una qualche risposta

Il persuadere fa parte del grande gioco del pensare. È un bisogno che chiede di essere soddisfatto. A differenza del discorso schizofrenico che è idiolettico, quello paranoico è pubblico e comunicativo. La costruzione del discorso paranoico è fortemente indirizzata verso l'esterno, tesa a convincere, utilizza lessico, semantica e sintassi in gradi raffinati. Si adatta perfettamente alle più diverse situazioni comunicative, controlla con freddezza, soppesa e calcola i messaggi. Non grida le ragioni, aggira tutti i possibili ostacoli attraverso una impressionante quantità di tattiche linguistiche atte a muovere ragione e sentimento (Piazza 2001, p. 261). Dimostra attaccamento anche al limite dell'ossessione alle proprie idee e alle proprie convinzioni, al frutto del lavoro di ricerca e ostinazione nella volontà di convincere gli altri della giustezza delle proprie tesi. Il paranoico è impegnato a persuadere, ma non accetta di esser persuaso. Questo brano di Paul Watzlawick ci aiuta a capire quali possano essere le difficoltà di comunicazione (Watzlawick 2007, pp. 299-300):

Pensate al caso di un uomo che ogni venti secondi batte le mani. Quando gli si chiede il motivo del suo strano comportamento, risponde: «Lo faccio per far scappare gli elefanti». «Elefanti? Ma non ci sono elefanti, qui» si stupisce chi chiede. «Visto?» replica l'uomo, «funziona».

Come lo si può persuadere senza rompergli i polsi? Per quanto riguarda le condizioni di successo il documento di Martinotti rivela aspetti interessanti e inquietanti. Egli presenta i suoi scritti con insistenza agli scienziati, chiede ascolto e attenzione, anzi la reclama. È fuori dal mondo accademico, per farsi conoscere, per far conoscere le sue idee, deve far recapitare a casa dei "colleghi" i suoi manoscritti e richiederne la lettura. Non può confidare nell'essere letto spontaneamente. Nei club accademici l'ingresso è riservato ai soci. Dice William James: «Se fosse realizzabile non ci sarebbe pena più diabolica di quella di concedere a un individuo la libertà assoluta dei suoi atti in una società in cui nessuno si accorga di lui».

Le condizioni di successo vengono soddisfatte, dal momento che esse sono valide in qualsiasi modo reagisca l'interlocutore. Qualsiasi atto perlocutorio valida per così dire l'argomentazione, indipendentemente dal fatto che esso risponda a quello che colui che argomenta avrebbe desiderato. Il fallimento consiste dunque nell'essere ignorato! È questo per Martinotti il vero motivo di ansia e disappunto. Ci racconta Prezzolini in riferimento al manoscritto di un suo libello di anni successivi:<sup>1</sup>

Ha inviato il suo libro ad Einstein; ma questi non ha risposto; se gli rispondeva e accettava il contraddittorio, egli, il Martinotti, lo avrebbe sgominato con una sola domanda: Dica lei, Einstein, che vuol spiegare il mondo con le matematiche, qual è il primo numero e qual è l'ultimo. Se non lo sa dire, che cosa può pretendere di spiegare? Peccato che Einstein non abbia risposto.

Di lui dirà il direttore del San Francesco di Sales che è un soggetto seriamente malato, «perché ha torto», e ha torto, «perché non ha fatto studi regolari».

Come mai quindi le argomentazioni dei paranoici, anche se rispettano le regole, non convincono, suscitano una sensazione di bizzarria, se non di assurdità? Il problema è che un ragionamento, per convincere, non deve solo essere formalmente corretto. Se così fosse la gran parte dei nostri ragionamenti quotidiani sarebbero destinati al fallimento. La questione è stata affrontata da Aristotele nel tema degli *endoxa*, anche se la questione è piuttosto spostata che risolta.

Riportiamo qui di seguito il testo della lettera indirizzata da Martinotti agli illustri scienziati.

Una Scoperta?

Ill.mi Scienziati,

non essendo ancora la scienza giunta all'apice d'ogni saper mi lusingo non vorranno subito considerare assurdo quanto sto per esporre, ma anzi benignamente riflettendoci si degnano dare il loro pregiato giudizio. Dominato da un instancabile bisogno di sempre scrutare il perché ed il come su ogni cosa, sì da rendermi taciturno e poco socievole; considerando tempo fa il nostro modo di vedere mi ravviluppai talmente in strani ragionamenti che se non sono un'assurdità sono al certo (oso dirlo) una gran scoperta. Invano cercai, frugai per ogni dove, nessuno seppi trovare che accennasse a ciò in proposito, onde stanco di più cercare mi rivolgo direttamente a loro, come a strada più breve e più sicura. Pensavo adunque: Noi, spiriti vitali, racchiusi fra mura opache mai ci fu dato vedere esternamente nemmeno dagli occhi, i quali altro non sono che lenti dimensionanti le cose seconde la loro formazione. Lasciando ora a parte tutti gli scientifici ragionamenti geometrici, sugli angoli di rifrazione e riflessione che basati su regole fisse sono indiscutibili, prendiamo ad esaminare logicamente questo meraviglioso senso. La Vista. Il credere che tutto quanto ci

---

<sup>1</sup> Vedi Giuseppe Prezzolini in «Il Resto del Carlino», 28 aprile 1922.

circonda stelle, monti, mari città, parenti, noi stessi, siano cose visibili, è un assurdità. Noi non abbiamo mai visto le cose, ma la loro immagine. La scienza ottica confonde la retina, con noi stessi, questa vede cogli occhi, noi col nervo ottico il quale ci fa concepire le immagini nella retina impresse, piccole quali in essa si trovano. Ma ciò lo disdice chiunque parmi mi si dica da ogni parte, poiché noi vediamo l'oggetto ben assai più grande dell'immagine impressa nella retina, ma presto ne sarete paghi rispondo loro, ed ecco come. L'immagine dell'immagine, sta all'immagine come l'immagine sta all'oggetto. Ora l'immagine che a noi pare di vedere nella retina di un altr'occhio non essendo l'immagine dell'oggetto, ma l'immagine dell'immagine che seguendo le giustissime regole ottiche si rimpicciolisce, in proporzione di essa immagine come questa all'oggetto, ne viene che la più volte suindicata immagine, è precisamente della grandezza che noi vediamo le cose, e queste di grandezza assai maggiore come quella che passa tra l'immagine e l'immagine dell'immagine. È il meraviglioso quadro variabile della retina che disposti naturalmente oggetti, ombre, luci, ci lascia percepire persin le distanze come da uno specchio. Qual sarà dunque realmente la natura, se solo il riflesso ci affascina, e famosi pennelli, celebri penne, sommi poeta, suscitò che celebrarono le lodi in vario stile? Considerato il rimpicciolimento dell'immagine dell'immagine, a mille volte circa più piccola dell'immagine, ovvero dell'oggetto che a noi pare realmente di vedere, si deduce essere l'uomo mille volte circa più grande di quanto appare, quindi resta logico che sulla retina di un tant'uomo possano disegnarsi figure della grandezza con cui le percepiamo, ciò che altrimenti resta inconcepibile. Mi spaventa l'idea di descrivere una sì favolosa grandezza, ma non mi meraviglia, poiché quella non è ancora la propria grandezza naturale, ma infinitamente più piccolo o più grande esso ancora può essere. Non intendo con ciò accennare agli spazi che separano l'un l'altra le molecole che già è cosa nota, ma alla mancanza di una misura estranea ad ogni regola di proporzione onde accertarsene. La lente oculare occupa un punto dell'infinita scala di gradazione a cui va soggetta un'immagine, chi può solo approssimativamente accertare quale di detti punti appartenga la vera dimensione? Chi mi assicura che il Sole da tutti creduto sì vasto non sia sì piccolo da potersi appendere qual lampada nel nostro Duomo (quando questi non variasse l'apparente sua dimensione) cosicché la terra proporzionata ad esso, rimanga, per chi guardasse col modo di vedere nostro attuale, quasi invisibile, e noi, colle città e regni, altrettanti oggetti ultramicroscopici? Oppure non sarà l'uomo sì gigantesco da intascarsi quale birillo il nostro globo, (semprecché questi non variasse l'apparente sua dimensione) sì che la terra proporzionata ad esso, per chi guardasse col modo di vedere nostro attuale si scorgerebbe polvere solo degno di funzionare qual atomo nel tessuto animale? Sul naso del suaccennato immenso individuo, potrebbe viaggiare per giorni e giorni un nostro treno diretto, prima di giungere all'estremità. Una prolungata illusione ci rende più proclivi il credere essere questo nostro stato di concentrazione più naturale e adatto, che, non la straordinaria dilatazione a cui andrebbe soggetto l'uomo gigantesco, ovvero l'immenso concentramento del sole lampada; ma quando si consideri che ogni cosa ingrandendo, o diminuendo in proporzione, nulla altera le nostre condizioni e abitudini attuali, riescono accettabili i due suaccennati, opposti paragoni, nulla affatto esagerati poiché, nel primo caso, se un oggetto si sottrae all'occhio, ciò non toglie ch'esso esista, nel secondo, non credo che l'infinito difetti di spazio. Strambo sarebbe infatti il non sapere se microscopici o giganteschi siamo; ma forse che grandezza naturale non esista, e inconcepibile sia quale eternità? Nelle lunghe e



instancabili mie ricerche, vidi una sola probabilità di riuscita, cioè guardando ad occhi chiusi. Povera Vista, Senso che sovra gli altri stai per eccellenza, se così è, rovinerai smascherata dalla tua falsa base, ma non disperare, poiché te seguiranno i tuoi sudditi, e l'udito che a te siede vicino, per meraviglia, non saprà assicurarci se la voce nostra tuoneggiante sia quale cannone, o flebile quale ronzare d'insetto, essendoché, l'eco, e non il suono noi sentiamo. Perché si deve posar tranquilli su convinzioni da nessuno garantite se non dall'apparenza? Ciò nulla pregiudica i nostri interessi come al sapere che la terra giri, ma si sappia pertanto, così la scienza avrà altra materia per indagare il vero. Sonno ideale della ragione<sup>2</sup>. Mi lusingo che dallo stile incerto e scolorito, rilevando la mia poca erudizione, sapranno perdonare la noia a loro recata, e mi onoreranno di una spiegazione che attualmente non spero d'avere, se non da che sappia guardare senz'occhi, udire senz'orecchi.

Milano. 8 Aprile 1888

Della S.V. Ill.ma Devot.mo Ammiratore

Martinotti Luigi

Tutto ciò vorrei dare alla stampa, quando lei, sì gentile, lo giudicasse degno, ciò spero di sapere domani, mandando a prendere la risposta dal latore della presente. Scusi.

## Bibliografia

- Arieti S. (2014). *Interpretazione della schizofrenia*. Roma: L'Asino d'oro.
- Austin G.L. (1987). *Come fare cose con le parole*. Genova: Marietti.
- Croce B. (1905). *Un indagatore del mistero dell'universo*, in Croce B., *Saggio sullo Hegel. Seguito da altri scritti di Storia della Filosofia*. Bari: Laterza, pp.423-432.
- Jaspers K. (1964). *Psicopatologia generale*. Roma: Il pensiero scientifico.
- Piazza F. (2001). *Persuasione e follia. Osservazioni sull'argomentazione delirante*, in Pennisi A., Cavalieri R. (a cura di), *Patologie del linguaggio e scienze cognitive*. Bologna: Il Mulino, pp. 245-261.
- Rossi Monti M. (2009). *Paranoia, scienza e pseudoscienza. La conoscenza totale*. Roma: Giovanni Fioriti Editore.
- Searle J. (1976). *Atti linguistici. Saggio di filosofia del linguaggio*. Torino: Boringhieri.
- Szasz T.S. (1966). *Il mito della malattia mentale. Fondamenti per una teoria del comportamento individuale*. Milano: Il Saggiatore.
- van Eemeren F.H., Grootendorst R. (1995). *The Pragma-Dialectical Approach to Fallacies*, in Hansen H.V., Pinto R.C. (eds.), *Fallacies. Classical and Contemporary Readings*. University Park, Pennsylvania: Pennsylvania State University Press.
- Watzlawick P. (2007). *Guardarsi dentro rende ciechi*. Milano: Ponte alle Grazie.

<sup>2</sup> Titolo di un'acquaforte di Goya del 1797: un uomo addormentato intorno al quale prendono forma sinistri uccelli notturni, inquietanti volti ghignanti e diabolici felini. L'aggiunta dell'aggettivo *ideale* rende il senso nascosto dello scritto di Martinotti.



# The “virial theorem” derived from Lazare Carnot’s mechanics. Its role of principle for the kinetic theory of gases

Antonino Drago - University of Naples “Federico II” - drago@unina.it

*Abstract:* In textbooks the virial theorem plays a subordinate and lateral role. Its historical origin and derivation are here recalled. An alternative derivation is offered from Lazare Carnot’s mechanics, which a previous paper showed to be a more appropriate basic theory than Newton’s mechanics for the kinetic theory of gases. Being related to the energy balance, the virial theorem is more appropriately considered as the main principle of an energetic foundation of the kinetic theory of gases, as already Lindsay ingeniously has suggested in the 50’s.

*Keywords:* Virial theorem, Lazare Carnot’s mechanics, Newton’s mechanics, energy balance, foundations of kinetic theory of gases, Lindsay

## 1. Introduction

The kinetic theory of gases (KTG) was built through a long and uneven historical path. In the “Conclusion” of his account on the history of KTG Mendoza has sadly stressed the following consideration:

The outstanding feature of this story is that – like the dynamical theory of heat – the kinetic theory of gases had first to break the grip of an abstruse and authoritative mathematical theory before the simple basic physical ideas could be accepted. These difficulties should, perhaps, be presented in their proper perspectives in our teaching textbooks (Mendoza 1961, p. 39).

It is easy to recognize in the accused theory Newton’s mechanics, which most theorists had predicted to be capable to include all others possible theories.

Eventually, a stable theory was achieved by Maxwell’s papers after the mid of 19<sup>th</sup> Century. In 1860 paper he clearly illustrated the theory constituting the basis of KTG, i.e. the theory of the collision of elastic bodies. Actually, a century and half before, Leibniz (1698, p. 129) had suggested this theory; but its suggestion was ignored because most scholars considered one law, i.e. the conservation of energy, as not always valid (e.g. in the case of collisions of hard bodies; in that times a hard body was considered as the ideal model of a body in order to analyse collisions). This ignorance forced the theorists to take a long theoretical detour. In a previous paper (Drago 2014) I showed that, rather than Newton’s formulation, L. Carnot mechanics, i.e. the accom-

plishment of Leibniz' contributions to mechanics, results to be the appropriate foundation for the usual version of KTG. Unfortunately, also L. Carnot's formulation was ignored for a long time.

In the history of KTG a next decisive step was represented by Clausius' 1870 paper, introducing the "virial theorem" (VT). At present time this result is considered as an addition to a theory already well-formulated. I will discuss: 1) its better derivation, whether L. Carnot's mechanics is more appropriate than Newton's mechanics; 2) the foundations of KTG, i.e. whether this "theorem" is sufficient to build this theory.

## 2. Derivation of the virial theorem from Newton's continuous equation of motion

Let us recall the history of VT, which all textbooks about either Mechanics or Statistical Mechanics present in a cursorily way.<sup>1</sup>

In 1812 Clausius' mechanistic conception of heat had led him to suspect VT. Eight years later, he published the paper proving this theorem (Clausius 1870). In VT the kinetic energy is taken in mean; it is equal to the value of the virial, which is defined as the half product of the position coordinates of each particle of a gas with the force acting on it:

$$\langle \Sigma 1/2mv^2 \rangle = - 1/2 \langle \Sigma f \cdot r \rangle$$

(Clausius obtained VT also in the case of all forces deriving from a potential).

Clausius' proof was reiterated almost literally by (Brush 1976, Vol. 2, sect. 11.4).<sup>2</sup> This author adds that: 1) the equation was well known long before, but only Clausius has justified it in a mathematical way; 2) the crucial step of the proof is an integration by parts of a term – the main term  $mvr$ , where  $m$  is the mass,  $v$  the velocity,  $r$  the position of the particle and an under script is understood for each component of the system – is set equal to zero because its time integral over a long time is in mean very little;<sup>3</sup> 3) Clausius has exploited his theorem not for obtaining new state equations of gases in more cases than the ideal gas, rather «in connection with his more general discussion of the relationship between thermodynamics and mechanics».

van der Waals has exploited VT for obtaining the state equation of an imperfect gas. At present VT is applied in order to obtain the equation of imperfect gas also in more difficult cases.

We conclude that Clausius' VT played a crucial role in completing the KTG.

<sup>1</sup> See for instance (Levi Civita, Amaldi 1922, Vol. II, pp. 424-425), (Goldstein 1959, pp. 82-85). Incidentally, Ladera and Alomà y Pilar Leòn (2010) suggest several applications to Physics' teaching at University's level.

<sup>2</sup> (Brush 1961, p. 598 fn. 14) lists all old papers concerning the VT.

<sup>3</sup> The latter mathematical step of the proof is the same as in Lagrange's foundation of his formulation of mechanics (apart the fact that here the integral is exactly null because the integration interval is null).

### 3. Lazare Carnot's formulation of mechanics as an alternative to Newton's formulation

In the above the derivations all start by applying to an elementary component of the gas Newton's second law. Unfortunately, it is customary to call in a generic way "mechanics" each set of formulas related to the mechanical realm and then it is attributed to Newton. Instead, there exist at least two formulations of mechanics, Newton's and Carnot's. A previous paper (Drago 2014) has shown that the remaining part of KTG is more properly derived from L. Carnot's formulation of mechanics, rather than Newton's theory.<sup>4</sup> We repeat the essentials of this formulation as it is presented in his main book on the subject (Carnot 1803).

First of all, one has to recall that L. Carnot declared in the preface of his book that his formulation depends on the principle of virtual works (PVW) suitably accommodated in order to deal with collision phenomena (Carnot 1803, sect.s 128-130). In fact, this principle is independent from Newton's mechanics (Drago 1993).

In his second book on mechanics Carnot illustrated the physical experiences supporting this principle. Then he considered its particular case of Torricelli's principle for a system of connected bodies which are subject to gravity. He generalized past evidence for the PVW, considered by him as a methodological principle.

Actually, he could proceed along a different theoretical path.

1. To assume as a methodological principle the impossibility of a perpetual motion (this statement was stressed by him; but he wanted to prove it, rather than assume it).

2. By considering a complex mechanical system including constraints (his usual theoretical situation) to state that no positive work can be produced by the constraints, otherwise a perpetual motion would be possible:  $\sum R ds \geq 0$ , where  $R$  represents a constraint's reaction,  $s$  a displacement and an underscored  $s$  is understood.

3. Under this condition, the sum of the virtual works of the acting forces have to be positive or null:  $\sum F^a ds \leq 0$ . This is the usual formula for this principle.

4. According to both L. Carnot and D'Alembert a force  $F$  means a mere short denotation of the product  $ma$ , where  $a$  is the acceleration and  $m$  the mass. Rather than a force, Carnot considered  $mv$ , where  $v$  is the velocity. Carnot considered as the basic situation a collision of bodies; a collision changes the velocity of a body according to the equation  $W = V + U$ , where  $W$  is the velocity before,  $V$  the velocity after, and the  $U$  the loss of velocity in consequence of the collision (Carnot 1803, sect. 130). In this notations the PVW is represented by the following formula:  $\sum mUV \cos UV \geq 0$ .

5. Although ignoring the vector calculus, he correctly represented the three velocities on a triangle, to which he applied his celebrated formula, called of the cosine. By adding the masses and summing up on all particles of a gas, one obtains  $\sum mW^2 = \sum mV^2 + \sum mU^2 + 2 \sum mUV \cos UV$ . But the last term is null owing to the principle of virtual works. The result is the balance of energy:  $\sum mW^2 = \sum mV^2 + \sum mU^2$ . The term in  $U$  represents either kinetic energy, or potential energy or other forms of energy.

Carnot has considered the following two cases:

<sup>4</sup> Landau and Lifschitz (1960, pp. 22-24) derives it from the Lagrangian, which is less appropriate to the task because this formulation makes use of AI.

1) the collision of plastic bodies; in such a case the final velocities are all equal to a final velocity  $V$ ; this velocity times the sum of  $mU$  is null because the latter term is null. The result is what he called the first fundamental equation.

2) He considered a geometric motion (i.e. a motion which in the given configuration of the constraints is reversible); he has multiplied it with  $\Sigma mU$  and in the two cases of translational and rotational motion he has respectively obtained, through calculations of simple algebra, the other two invariants, i.e. the momentum and the momentum of momentum.

#### 4. L. Carnot's formulation and KTG

At glance, Lazare Carnot's mechanics is more appropriate to the physical situation of a gas than Newton's for four reasons:

1) Its main equation describes the basic phenomenon inside a gas, i.e. the discrete collisions of the elementary components of the gas, considered as elastic bodies, just as the particles of a gas behave; instead Newton's equation ignores as inexistent the collisions; it would be appropriate to the situation if the particles were subjected to continuous forces of interaction.

2) It shares the same philosophical attitude – i.e. to see as a whole a complex system – which is apparent in all applications of VT, e.g. to find the state equation of a gas.

3) The introduction of a mean operation is at all unjustified in Newton's abstract (metaphysical) framework; instead in the Carnotian attitude it may be considered as an additional expedient for solving the basic problem of the theory. In addition, a mean value may be considered to be a doubly negated proposition: "It is not false that the value is ...", i.e. a proposition belonging to intuitionist logic; which is the same logic on which L. Carnot's mechanics is based, as all other theories aiming to solve a basic problem.

4) From the mathematical viewpoint, the derivation of VT from Newton's mechanics agrees with constructive mathematics only if the time integration is on a uniformly continuous function, which is not a case owing to the discrete variations caused by the collisions. Hence, this derivation belongs to an AI mathematics; while the simple operations of L. Carnot's formulation clearly agree with constructive mathematics, hence PI.

Moreover, VT is aimed to obtain gas equations; hence its theory is a problem-based one. In sum, the choices an appropriate derivation of VT relies on *the problem-based organization of the theory (PO)* and *the potential infinity (PI)*; these choices are the same choices of Carnot's mechanics and moreover they are alternative to the basic choices of Newton's mechanics – i.e. a deductive theory from few axioms and the use of the actual infinity of the infinitesimal analysis.

## 5. An alternative derivation of the “virial theorem”

Let us notice that Clausius wanted to offer calculations according to the Newtonian theoretical attitude. The same attitude to conform to the old paradigm is manifest in all the papers of that time (e.g. Maxwell’s ones), owing to the reverential respect for the English genius. The theoretical physicists have maintained a distance from the well-known cultural origin of the subject, i.e. the Leibniz’s viewpoint as well as his theory of collision of elastic bodies and his energy conservation (Drago 2014).

Let us recall that Newton’s theoretical framework did not include the energy balance.<sup>5</sup> It can be derived only when the force  $F$  is a conservative one, i.e. in the case it can be derived from a potential; in mathematical terms, only when the differential form in the three spatial coordinates  $dL=F.ds$  is an exact differential. This is a very particular situation. When the form is not exact, one can however search an integrating factor  $\rho$  such that  $dL/\rho$  is exact. Only in some particular case this move is possible. Yet, in the case such  $\rho$  exists, one has to recall that in thermodynamics the similar operation leads to consider instead of the heat,  $Q$ , the entropy,  $\int dQ/T$ , i.e. a completely different magnitude; with respect to it  $Q$  is an anthropomorphic magnitude, whereas the entropy is a state variable. The introduction in mechanics of a magnitude  $\int dL/\rho$  means to consider it as a state variable while the work  $L$  becomes an anthropomorphic magnitude; hence a balance of energy is no more assured and hence the perpetual motion is allowed.

The usual way to remedy to this impossibility is to consider the energy balance in Newton’s framework by appealing to the very particular case of the conservative forces, as if they were the only ones in nature. Lagrange was the first to mislead; he wrote that the case of conservative forces was “properly” the only one in mechanics: «... it is properly the case of nature» (Lagrange 1988, p. 32). An excellent text of history of mechanics has covered this incorrect proposition by changing that word in “probably”: «... it is probably the case of nature» (Dugas 1950, p. 328).

Actually the above two formulations of mechanics are incommensurable owing to the differences in the two couples of choices. The very rare case of conservative forces is not enough to give a general translation between them; it is only a very narrow bridge. The ignorance of this fact is a source of theoretical confusion. Indeed, this fact has constituted a hindrance for KTG theorists, because they did not perceive that the most natural way to obtain VT is to start from L. Carnot’ mechanics, based on (both the PVW and) the energy balance. A textbook (Levi Civita, Amaldi 1923, vol. II, cap. V, p. 424-425) deals with VT as an exercise (no. 8) concerning the PLV. The authors show that in the virial definition  $ds$  may be equivalently considered as the distance between two molecules mutually exchanging  $F$ . Their product then gives a particular case of all virtual works considered in the PVW; hence the virial derives from it. One can add that this kind of  $ds$  may be considered as a geometric motion, because (first definition of geometric motion) its inverse is possible, and (second definition of this motion) it does not change the mutual

---

<sup>5</sup> Without referring to the energy balance R.B. Lindsay (1941, pp. 2-9) has characterized in an excellent way the nature of the Newtonian theoretical framework as well as its radical difference from both statistical mechanics and KTG.

interaction. Hence, apart the averaging operation, VT derives from both PVW and L. Carnot's formulation. One more short way for the same derivation can be suggested.

In Carnot's first book on mechanics (Carnot 1783) the Theorems of sect.s 24-26 describe the kinetic energy balance; the theorem of sect. 42 the balance of work and kinetic energy; this is the most simple form of the VT, i.e. the equality between the kinetic energy with the potential energy.

At this point the general form of the VT is derived through one simple step; it is enough to consider the mean on all the particles – this is the very novelty of VT – of the magnitudes in the energy balance.

Clausius has considered this relationship as relevant in order to establish VT:

The theorem of the equivalence of *vis viva* and work can then be expressed very simply; and in order to exhibit distinctly the analogy between this theorem and that respecting the virial, I will place the two in juxtaposition:

(1) The sum of the *vis viva* and the ergal [potential energy] is constant.

(2) The mean of *vis viva* is equal to the virial.<sup>6</sup>

We conclude that from both a technical viewpoint and a foundational viewpoint Lazare Carnot's formulation represents the correct basic theory for obtaining VT.

Viceversa, the conclusive result of the historical process of KTG's theoretical building, i.e. VT, leads to re-evaluate L. Carnot's theoretical framework, which was alternative to Newton's mechanics.

## 6. Two independent foundations of the kinetic theory of gases?

VT is more than a single law, rather it works as a general principle, from which it is possible derive at least the state equation of all kinds of gas. Let us put the question: Can the KTG be built on the VT?

In fact, (Linsday 1941, chap. V) has founded KTG on VT. From the virial equation he derives the state equation of a perfect gas, as an instance of all equations for any kind of gas. In his subsequent book (Linsday 1951, p. 184) he hence stated that VT:

can be used as the starting point for the kinetic theory of gases.

If the principle from which the entire theory is derived, VT, derives from the energy balance, Newton's mechanics is put definitely aside.

At this point a historical question is important: Why the derivation of VT from L. Carnot's equations was ignored although it was of a great relevance for the KTG? I see two reasons:

---

<sup>6</sup> See the English translation of Clausius' paper in (Brush 1965-66, p. 175).



1) Along two centuries the energy balance was denied as a general law.

2) This balance was relegated to the applications to complex systems as machines, and hence to engineers' practice. This balance was neglected even by the historians for a long time. Eventually a paper (Kuhn 1959) has re-constructed its difficult historical path performed before its recognition as a general law. A more detailed historical account (Scott 1970) has illustrated a long theoretical struggle between the two theoretical attitudes, one based on the conservation of energy and the other one on the Newtonian atomism.

This balance was re-evaluated by the energetists in the last quarter of the 19<sup>th</sup> Century as the basic principle of a new theory of mechanics, that they planned in alternative to Newton's one. Eventually this attempt failed since it was recognized that the balance is a one-dimensional equality, whereas Newton's second law is a three dimensional equality. But in L. Carnot's mechanics it adds to the energy balance the conservation of momentum and also the conservation of momentum of momentum, hence this formulation enjoys three equations. Hence, the energetists failure was caused by their ignorance of L. Carnot's mechanics.

Even more surprisingly, Mach has ignored this theory, although it played a very important role in history of physics; according to Sadi Carnot's words (Carnot 1824, p. 8), from it originated thermodynamics, which Mach maintained to be the most important theory for the foundations of the entire theoretical physics (Mach 1896).

## References

- Brush S.G. (1961). "Development of Kinetic Theory of gases. V. The Equation of State". *American Journal of Physics*, 29, pp. 593-605.
- Brush S.G. (1965-66). *Kinetic Theory*. New York: Pergamon.
- Brush S.G. (1976). *The kind of Motion we call Heat*. Amsterdam: North-Holland.
- Carnot L. (1783). *Essai sur les Machines en Général*. Dijon: Defay.
- Carnot L. (1803). *Principes fondamentaux de l'équilibre et du Mouvement*. Paris: Deterville.
- Carnot S. (1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Paris: Bachelier.
- Clausius R. (1870). "Über einer auf die Waerme andwendbare mechanisches Satz". *Annalen der Physik*, 141, pp. 124-129. English translation in Clausius R. (1870). *Philosophical Magazine*, 40, p. 122.
- Drago A. (1993). "The principle of virtual works as a source of two traditions in 18th Century Mechanics", in Bevilacqua F. (ed.). *History of Physics in Europe in 19th and 20th Centuries*. Bologna: SIF.
- Drago A. (2004). "A new appraisal of old formulations of mechanics". *American Journal of Physics*, 72 (3), pp. 407-409.
- Drago A. (2014). "A rational reconstruction of the history of the kinetic theory of gas as founded on Leibniz-Carnot's formulation of mechanics". *Atti della Fondazione Ronchi*, 69, pp. 365-387.
- Dugas R. (1950). *Histoire de la Mécanique*. Neuchâtel: Griffon.

- Goldstein H. (1959). *Classical Mechanics*. Reading MA: Addison Wesley.
- Kuhn T.S. (1959). "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery", in Clagett M. (ed.). *Critical Problems in the History of Science*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Ladera C.L., Alomà y Pilar Leòn E. (2010). "The Virial Theorem and its applications in the teaching of modern theory". *Latin American Journal of Physics Education*, 4, pp. 260-266.
- Lagrange J.-L. (1788). *Mécanique Analytique*. Paris: Desaint.
- Landau L., Lifschitz E. (1960). *Mechanics*. London: Pergamon.
- Leibniz W. (1698). "Saggio di dinamica sulle leggi del moto", in Drago A., *La riforma della dinamica secondo G.W. Leibniz*. Benevento: Hevelius.
- Levi Civita T., Amaldi U. (1922). *Lezioni di Meccanica Razionale*. Bologna: Zanichelli.
- Lindsay R.B. (1941). *Introduction to Statistical Mechanics*. New York: Wiley.
- Lindsay R.B. (1951). *Concepts and Methods of Theoretical Physics*. New York: van Nostrand.
- Mach E. (1986). *Principles of the Theory of Heat*. Dordrecht: Reidel.
- Mendoza E. (1961). "A Sketch for a History of the Kinetic Theory of Gases". *Physics Today*, 14, pp. 36-39.
- Scott W.L. (1971). *The Conflict between Atomism and Conservation Laws 1640-1860*. New York: Elsevier.
- Uffink J. (2014). *Boltzmann's Work in Statistical Physics* [online]. URL: <http://plato.stanford.edu/entries/statphys-Boltzmann/> [access date: 01/04/2016].

# Clausius' *disgregation* and other disappeared thermodynamic quantities: conceptual relics or meaningful epistemic junctions?

Emilio Marco Pellegrino - Dipartimento di Chimica, Università di Torino - emiliomarco.pellegrino@unito.it

Elena Ghibaudi - Dipartimento di Chimica, Università di Torino

*Abstract:* The present paper is based on the analysis of some foundational works by Clausius (namely the Sixth and Ninth Memoires) and analyses the stepwise process that led Clausius to translate the qualitative statement of the Second Law of thermodynamics into mathematical expressions. The epistemic role of the thermodynamic quantities that were part of Clausius' formal system is discussed. In particular, we analyse the meaning of *disgregation* and other pre-modern quantities that stem from Clausius' microscopic model of matter, as essential precursor of entropy.

*Keywords:* Disgregation, Entropy, Second Law of Thermodynamics.

## 1. Historical hints

Clausius is legitimately considered the father of modern thermodynamics, whose date of birth may be identified with 1850 (Uffink 2001), the year of publication of Clausius' first paper on the mechanical theory of heat (Clausius 1850). A correct comprehension of Clausius' work needs a short mention of the historical landscape of his time. Clausius' work started where Carnot's work finished: he reaffirmed the validity of Carnot's theorem, rejecting at the same time the old theory of *calorique*. Carnot (1796-1832) lived at the time of the industrial revolution and his investigation was pushed by engineering concerns, as a crucial problem for the time was the improvement of the efficiency of steam engines. James Watt (1736-1819) managed to get a 5-7% yield (Müller 2007) and, in the 1820s, the improvement had gone as far as 18%: the aim of Carnot's investigation was to establish how far such improvement could possibly go. The problem was crucially relevant from the economical viewpoint, as witnessed by Carnot's own words:

To take away today from England her steam engines would be to take away at the same time her coal and iron. It would be to dry up all her sources of wealth, to ruin all on which her prosperity depends, in short, to annihilate that colossal power (Carnot 1824, p. 40).

Carnot died in 1832, when he was only 36-years-old. Müller underlines that “had he lived longer, it seems likely that he might have anticipated Clausius’ work by nearly 30 years” (Müller 2007, p. 55).

At the end of 1840s, Clausius, Thomson and other authors took over from Carnot’s work and started a debate that marked the birth of modern thermodynamics. Specifically, their discussion was focused on Carnot’s most relevant result, represented by his theorem that states:

The motive power of heat is independent of the agents employed to realize it; its quantity is fixed solely by the temperature of the bodies between which is effected, finally, the transfer of the calorique (Carnot 1824, p.68).

## 2. A stepwise process

In 1850, Clausius published the first formulation of what would later be known as the Second Law of Thermodynamics, in the form of a qualitative statement: “Heat cannot by itself flow from a colder body to a warmer one” (Clausius 1872, p. 136). Since then, the aim of Clausius’ work was to build up a formal system that could enable the translation of this qualitative statement into a mathematical language.

The process that led Clausius to the mathematical formalization of the Second Law was gradual and occurred through the logical extension of Clausius’ treatment from cyclic to non-cyclic processes. The analysis of Clausius’ original works (Clausius 1867, 1872) discloses that such an extension relied on the elaboration of a proto-microscopic model of matter. In fact, the treatment of cyclic processes was grounded on the concepts of *uncompensierte Verwandlung* (i.e. uncompensated transformation) and *Aequivalenzwerth* that were macroscopic quantities, still related to a macroscopic view of the thermodynamic system. The *Aequivalenzwerth*, or equivalence value, corresponds to the quantity  $Q/T$ , where  $Q$  is the amount of heat transmitted at a temperature  $T$ . It is related to the uncompensated transformation that, according to Clausius’ own words, corresponds to:

the equality  $N = \int \frac{dQ}{T}$  where  $dQ$  is the heat element that is exchanged between the transforming system and the heat reservoir. And  $T$  consequently represents the absolute temperature. About this quantity, I have demonstrated that it can only be positive, or at least null at the boundary condition represented by a reversible cyclic process (Clausius 1872).

### 3. Clausius' microscopic model of matter

In his writings, Clausius reports that, since the elaboration of his first paper on the mechanical theory of heat, he had been thinking of a microscopic description of matter, where heat is connected to the motion of “constituent particles”:

We shall forbear entering at present on the nature of the motion which may be supposed to exist within a body, and shall assume generally that a motion of the particles does exist, and that heat is the measure of their vis<sup>1</sup> (Clausius 1967, p.18).

Clausius' microscopic conception of a thermodynamic system leads him to postulate the existence of quantities that he calls internal ( $dI$ ) and external work ( $dW$ ), quantity of heat exchanged with external bodies ( $dQ$ ), and heat actually contained in the body ( $dH$ ). Such distinction stems from considering that the constituent particles of the systems display two distinct modes of interaction:

The forces which here enter into consideration may be divided into two classes: those which the atoms of a body exert upon each other, and which depend, of course, upon the nature of the body, and those which arise from the foreign influences to which the body may be exposed. According to these two classes of forces, which have to be overcome (of which the latter are subjected to essentially different laws), I have divided the work done by heat into interior and exterior work (Clausius 1867, p.112).

An extensive explanation of the meaning of these quantities may be found in appendix A of Clausius' Sixth Memoir (Clausius 1867, pp. 250–256). Table 1 summarizes Clausius' description of the energetic of a thermodynamic system.

	INTERIOR QUANTITY		EXTERIOR QUANTITY		TOTAL QUANTITY	
<b>WORK</b>	<i>Interior work</i>	$dI$	<i>Exterior work</i>	$dW$	<i>Total work, i.e. the sum of interior and exterior work, performed by the heat in the change</i>	$dL = dI + dW$
<b>HEAT</b>	<i>Heat actually contained in the body</i>	$dH$	<i>Heat exchanged with the external environment</i>	$dQ$		
	<b>ENERGY OF THE SYSTEM</b>	$dU = dI + dH$				
A is “the thermal equivalent of a unit of work” (Clausius 1867, pp. 252-253)						

**Table 1.** Fundamental quantities of Clausius' formal system

A further enrichment of the formal system was boosted by the investigation of non-cyclic processes, whose treatment was based on the heat actually contained in the body

<sup>1</sup> That is kinetic energy, in the 19<sup>th</sup> century language.

( $H$ ) and the disgregation ( $Z$ ). The meaning of the latter quantity is explained by Clausius in the following terms:

By disgregation is represented [...] the degree of dispersion of the body. Thus, for example, the disgregation of a body is greater in the liquid state than in the solid, and greater in the aeriform than in the liquid state. Further, if part of a given quantity of matter is solid and the rest liquid, the disgregation is greater the greater the proportion of the whole mass that is liquid; and similarly, if one part is liquid and the remainder aeriform, the disgregation is greater the larger the aeriform portion. The disgregation of a body is fully determined when the arrangement of its constituent particles is given; but, on the other hand, we cannot say conversely that the arrangement of the constituent particles is determined when the magnitude of the disgregation is known. It might, for example, happen that the disgregation of a given quantity of matter should be the same when one part was solid and one part aeriform, as when the whole mass is liquid (Clausius 1867, p. 226).

*Disgregation* ( $dZ$ ) shares with *internal heat* ( $dI$ ), and with the *heat actually contained in the body* ( $dI$ ) and the *total work* ( $dL$ ), the feature of being neither a macroscopic physical quantity nor an experimentally accessible one. This aspect would turn out to be crucial in determining the subsequent disappearance of all these quantities. Conversely, the quantities *external work* ( $dW$ ) and *heat exchanged with the external environment* ( $dQ$ ) have a precise macroscopic physical meaning (close to the concepts of work and heat of modern thermodynamics) and lasted over time, finding their place in modern thermodynamics treatments. We will briefly discuss this issue by analyzing the role and fate of disgregation within Clausius' efforts to attain a mathematical formulation of the Second Law of thermodynamics.

In his treatment of non-cyclic reversible processes, Clausius states that – at a given temperature – disgregation is “proportional to the work that the heat can thereby perform” and he points out that “the corresponding work must be proportional to the absolute temperature”<sup>2</sup> (Clausius 1867, p. 227). In formal terms this is expressed as:  $dL = K T dZ$  where  $K$  designates a constant, dependent on the measure unit of  $Z$ , that can be chosen so that  $K = 1/A$ , being  $A$  the thermal equivalent of a unit of work.

For non-cyclic irreversible transformations, the relation between work, temperature and disgregation takes the shape of an inequality  $dL \leq K T dZ$ . Clausius argues as follows:

In case this [reversible condition] need not be fulfilled, the change of disgregation may be greater, provided it is positive, than the value calculated from the [total work  $L$ ]; and if negative, it may be, when taken absolutely, smaller than that value, but in this case also it would algebraically have to be stated as greater (Clausius 1867, p. 245).

This expression can be introduced into Clausius' expression  $dQ + dH + AdL = 0$  that represents a balance of *interior* and *exterior* energetic quantities. This step leads to:

<sup>2</sup> Clausius here refers to the total work  $dL$ .

$$\frac{dQ + dH}{T} + dZ \geq 0$$

that is, in Clausius' own words, “the extension of the second fundamental theorem” to not-cyclic changes, and dates 1862. This achievement was the starting point of a reflection that, three years later, would lead Clausius to introduce the most challenging of thermodynamics quantities: *entropy*. The story is told by Clausius himself, in a paper published much later, in 1872:

I wanted to obtain a quantity that was valid for any transformation of a system and whose value could change only in one sense. For this scope, in addition to both the already existing statements about transformation (i.e., the one concerning the transformation of work into heat and vice versa, and the one about the transfer of heat from a warmer system to a cooler and vice versa), I added a third one that regards the state change of a system and was formulated by means of a quantity  $Z$ , that I named the Disgregation of the system. With the aid of this quantity and of that indicated with  $H$ , the heat actually available in the system, instead of the above relation I could obtain the following more general instance:

$$\int \frac{dQ + dH}{T} + \int dZ \geq 0$$

The sum:

$$\int \frac{dH}{T} + \int dZ$$

is that to which I have given the name of Entropy of a system (Clausius 1872, pp. 145-146).

Interestingly, entropy  $S$  was not introduced for conceptual reasons: in fact, both the logical and formal architecture of Clausius' thermodynamics hold up even without this further step. Entropy entered the thermodynamic landscape face to a practical need: the fundamental equations of the mechanical theory of heat had to find an expression “more convenient for use”. The presence of quantities, such as  $Z$  and  $H$ , devoid of macroscopic physical meaning and thus not accessible experimentally, made the fundamental equations of the mechanical theory of heat unsuitable for practical applications (Clausius 1867, p. 327). Indeed, substituting the entropy definition into Clausius' inequality for non-cyclic changes, leads to:

$$\frac{dQ}{T} + dS \geq 0$$

that can be rearranged in the more familiar:  $dS \geq \frac{dQ}{T}$  where the equality holds only in case of reversibility. In his Ninth Memoir, Clausius provides a “way for determining  $S$ ” in the case of reversible changes. In fact, the integration of the previous equation leads to:

$$S = S_0 + \int \frac{dQ}{T}$$

that is an exploitable expression of entropy. Interestingly, this expression is applicable to the exclusive case of reversible changes; hence Clausius left the problem of the operational treatment of irreversible non-cyclic processes totally open. Much later, this would become the main challenge of non-equilibrium thermodynamics.

#### 4. Conclusions

In conclusion, a few remarks on the problem of the “disappeared” quantities. Table 2 summarizes the quantities employed by Clausius in the frame of his formal system and compares them to the quantities employed by current thermodynamics.

The current thermodynamic apparatus is clearly derived from the foundations built in by Clausius; nevertheless, it has got rid of a number of conceptual tools that were inherent to Clausius’ treatment. How could this have happened?

$Z$ ,  $H$  and  $I$  stand as pre-modern quantities and find their justification within the frame of Clausius’ microscopic model. Their epistemic value has been remarked by several authors (e.g. Gibbs, Horstmann) as these were the scaffolding of Clausius’ thermodynamic architecture (Gibbs 1906, vol. II p. 261; Kragh, Weininger 1996). Interestingly, none of them may be associated with a macroscopic physical meaning nor is measurable. This aspect turned out to be crucial in determining either their disappearance or their replacement, as was the case of entropy which, actually, replaced disgregation, being a more accessible quantity as  $Z$  (Pellegrino 2015). Notwithstanding, disgregation may claim a cognitive value as it helps in understanding the meaning of entropy.

In conclusion, we like to think of these pre-modern quantities as the construction lines traced to build up Clausius’ logical and formal thermodynamics apparatus, that finally vanished from the formal description without compromising its conceptual self-consistency.

Clausius’ Quantities		Current Quantities	
Interior work	$dI$	disappeared	
<b>EXTERIOR WORK</b>	$dW$	<b>WORK</b>	$dW$
Heat actually contained in the body	$dH$	disappeared	
Total Work	$dL$	disappeared	
<b>HEAT ABSORBED BY THE SYSTEM</b>	$dQ$	<b>HEAT</b>	$dQ$
Disgregation	$dZ$	disappeared	
<b>ENERGY OF THE SYSTEM</b>	$dU$	<b>INTERNAL ENERGY</b>	$dU = dQ - dW$
<b>ENTROPY</b>	$dS$	<b>ENTROPY</b>	$dS = dQ/T$

**Table 2.** An overview of Clausius’ thermodynamics quantities as compared to the current ones



**References**

- Carnot S. (1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Paris: Bachelier. English translation in Carnot S. (1897). *Reflections on the Motive Power of Heat*. Hoboken (NJ): Wiley.
- Clausius R. (1867). *The Mechanical Theory of Heat: With Its Application to the Steam Engine and to the Physical Properties of Bodies*. London: J. Van Voorst.
- Clausius R. (1872). “Zur Geschichte der Mechanischen Wärmetheorie”. *Annalen der Physik und Chemie*, 145, pp. 132-146.
- Gibbs J.W. (1906). *The Scientific Papers of J. Willard Gibbs*. London: Longmans.
- Kragh H., Weininger S.J. (1996). “Sooner Silence than Confusion: The Tortuous Entry of Entropy into Chemistry”. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 27, pp. 91-130.
- Müller I. (2007). *A History of Thermodynamics. The Doctrine of Energy and Entropy*. Berlin: Springer.
- Pellegrino E.M., Ghibaudi E., Cerruti L. (2015). “Clausius’ Disgregation: A Conceptual Relic that Sheds Light on the Second Law”. *Entropy*, 17, pp. 4500-4518.
- Uffink J. (2001). “Bluff your Way in the Second Law of Thermodynamics”. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 32, pp. 305-394.



# Cosimo De Giorgi and the development of natural sciences in the South of Italy

Arcangelo Rossi - Dipartimento di Matematica e Fisica “Ennio De Giorgi”,  
Università del Salento, Lecce - arcangelo.rossi@unisalento.it

*Abstract:* Though the development of natural sciences, and in particular of modern physics, is usually associated with the use of refined mathematical methods, a rigorous scientific knowledge has been sometimes obtained through rather qualitative and empirical approaches instead of purely quantitative methods based on mathematical formalism. Actually, mathematical developments not yet existent have been driven sometimes through qualitative and intuitive approaches based on empirical data and historical series. As examples of this scientific methodology, I will discuss two figures of physicists, Michael Faraday (1791-1867) and Cosimo De Giorgi (1842-1922): the one (Faraday) at the hearth and the other (De Giorgi) at the southern periphery of Europe. Though with largely different scientific relevance and impact, they were both characterized by a qualitative, descriptive and intuitive scientific approach in front of the prevailing mathematization of physics. In particular, Faraday anticipated new mathematical methods, especially geometrical and topological. Similarly, De Giorgi, a brilliant geophysicist, used new statistical methods for the treatment of large empirical, meteorological and seismic databases.

*Keywords:* Cosimo De Giorgi, Michael Faraday, Phenomenological approach to natural sciences in '800 and early '900

## 1. Introduction

Notwithstanding the general acceptance of Galilei's viewpoint in the tradition of modern science, we cannot say that modern science has been realized, without exception, by accepting such point of view which denies that scientific rigor can be also achieved without making recourse to instruments and methods proper to mathematics (Galilei 1998, pp. 220-227). A qualitative approach, instead of a totally mathematical quantitative one, could even in fact sometimes turn out more fertile. This naturalistic approach, though non-quantitatively orientated, can then succeed in enriching scientific explanation by inferences, analogies and metaphors to substitute mathematical formalisms with data bases and historical series connecting one another, even anticipating mathematical developments, though in still qualitative form (Truesdell 1968, pp. 175-183).

By the way, let us consider two different scientists, belonging to different traditions but both active in Europe: Michael Faraday (1791-1867) in Great Britain and Cosimo

De Giorgi (1842-1922) in Italy in the middle of the XIX Century, to be true the one more in the first and the other more in the second half. Both endowed with a strong orientation towards the practical use of science for the welfare of humanity, they were still also fond of the pure discovery of natural truths through the untiring reading of natural phenomena as fundamental inspirer of science besides every risk of hypostatization and dogmatism of scientific knowledge.

## 2. Michael Faraday

Let us start from the first example, certainly better known, as initiator of the electromagnetic field theory on rather phenomenological-qualitative and dynamical-relational than mathematical-quantitative bases. Yet he succeeded in anticipating, though in qualitative rather than quantitative forms, the following mathematical conception of field theory (Truesdell 1968, pp. 179-182). In fact, Faraday considered a true mistake the mathematicians' claim to anticipate facts through pure mathematical abstraction, identified with physical reality with regard to experiment and empirical generalization.

Substantially, Faraday put the experiment before and higher than mathematics, due to the scientific experimental style he had learned from his teacher Humphry Davy. This one in particular pushed him to always accept the verdict of experience, against rationalistic pretension to know nature by a purely intellectual and formal, mathematical way in front of concrete experience: theoretical, especially mathematical, anticipations could easily risk to fail in front of experimental new and independent facts. Faraday was sure of that, believing that he could develop a theory of electromagnetic induction alternative to Ampère's more mathematical though physically equivalent generally accepted (Gooding 1992, pp. 121-122; De Frenza 2002, pp. 249-275).

According to some critics, Faraday did not understand this equivalence just for he was an anti-mathematician ignorant of mathematics, but this charge was considered by the main follower of Faraday's work and of his field theory, J.C. Maxwell, unjustified (Gooding 1992, pp. 123-124). He instead considered Faraday a first class mathematician, whose mathematical work would turn out in the future extremely fertile. Anyway we are in front of a great physicist who, though he preferred to express himself in a physical-qualitative language rather than in a quantitative one, was endowed with a special mathematical intuition of not too formal geometric-topological kind, which led him almost infallibly in the new research fields, in particular the one which would be named classical electromagnetism (Gooding 1992, pp. 125-130).

## 3. Cosimo De Giorgi

Well, Faraday was not unique in his time, even if he was the most significant physicist and naturalist who preferred to represent physical phenomena, to comprehend and apply them, without recourse to pure mathematical-formal treatment. As hinted at before, at least another scientist nearer to us historically and culturally, Cosimo De Giorgi, sig-

nificantly assumed similar attitudes, notwithstanding the historical and cultural differences between them and, definitively, between Faraday's England and De Giorgi's Italy of the second half of the XIX Century. In both cases we are in front of two physicists and naturalists, Faraday chemist and electrician (Williams 1965, pp. 1-531) and De Giorgi meteorologist and seismologist (Ruggiero 2003a, pp. 9-19), both given to the welfare of the humanity also through the applications of scientific knowledge on the base of a strong ethical sense. In the case of Faraday, this was inspired by a strong religious feeling as he was a very devout follower of the Christian Protestant Sandemanian Church (Williams 1965, pp. 1-531). De Giorgi, though a sincere believer, preferred to profess his faith, of which he anyway valued the ethical implications in general, as a private fact not to be confused with ethical implications, as he was less interested in interpretative theoretical developments of philosophical and religious doctrines in general (Galante 1989, pp. 9-57).

Anyway, if Faraday, also ethically inspired, in particular applied his innovative theories and knowledge to the ideation of such useful electromagnetic devices as electric motor, dynamo, transformer and the devices for electrolytic dissociation of chemical substances also of practical interest (Williams 1965, pp. 1-531), De Giorgi conceived a new seismograph to relieve earthquakes, of remarkable efficiency. De Giorgi, in fact was never a pure theoretician (De Simone 2012, pp. 249-258). Definitively, for him scientific research implied the use of mathematics and the mathematical treatment of data according to the typical procedures of his time, essentially as instruments and methods of enquiry, without thinking of submitting those methods, as means of collection and application of data, to independent inquiries. Then, neither as pure object of study to develop current mathematical theories and formulations in agreement with the historical tradition of mathematics apart from applications Nor, as in Faraday, as new and diverse theoretical elaborations, not drawn from pre-existent mathematical tradition, rather from the demand of developing new great scientific applications, which were, particularly for Faraday, electromagnetic and chemical, neither soon recognized nor immediately developed as new mathematics (Truesdell 1968, pp. 179-182).

All that cannot be found in De Giorgi, rather limiting himself to instrumentally use already accepted mathematical resources of consolidated use.

For De Giorgi, it was about to acquire the widest deal of empirical data and historical series, to draw consequences of statistical kind, to solve in particular, as a physician like he was, health, climate and prevention problems, also collecting thermopluviometric and seismic historical series, and also referring to measures suitable to check phenomena and to realize build solutions to reduce seismic damages (Ruggiero 2003b, pp. 11-24).

This De Giorgi's approach to phenomena links up to his attention also to archeology, as shown by his discovery of Lecce's Roman amphitheater, deeply buried at the center of the town. In fact, neither this discovery can be reduced to a mere collection of quantitative data nor to a simple description of manufacts, as it also corresponded to qualitative aspects, in particular historical-aesthetic of finds, irreducible to mere quantitative measures (Ruggiero 2003a, pp. 9-19). Then we also owe De Giorgi precious collections of drawings, both his own and of other people's of buildings and environments, tense to value qualitative aspects, anyway revealing an order and a "cleanliness" (De

Giorgi 1989). Anyway here we find still another convergence with Faraday's quality of the work, tense to catch more qualitative than quantitative, substantially more geometric-topological than analytic and abstract aspects of his objects of study (Williams 1965, pp. 1-531). This value enhancement of geometric-topological forms in the study of phenomena, on the other side, meets another element common to both scientists, and of great importance in their work, though not directly implied in their scientific research activity, even if it was important and moreover functional to the enhancement and development of the same research. It is about their strong engagement in scientific popularization, where the iconic and intuitive, geometric-topological aspect is very relevant as a popularization means, instead of more abstract formal developments.

Then Faraday, as President of the Royal Institution of London (Jones 1871), organized public meetings of scientific popularization with the participation of people belonging to the most varied social classes on varied physical and natural arguments, with an expositive approach based on experimentation and, in short, on the direct view of phenomena and then on geometric-topological aspects. Nonetheless, De Giorgi dedicated part of his time free from research proper to the explication of the results of the same research through concrete descriptions of the arguments dealt with and explained to the people, in particular with reference to meteorology whose popularization implied descriptions and visual representations, to be also hosted, as natural and technical exhibits, in science museums and collections. Another strong testimony of the importance of visual popularization and of the teaching of science more in general is also represented by De Giorgi's engagement in preparing the natural science cabinet of the new Lecce Technical Institute dedicated to the Salentine naturalist O. G. Costa, which was in fact a true museum of naturalistic finds, even containing a plentiful collection of fossils (Rossi, Ruggiero 2000, pp. 5-8).

Certainly, De Giorgi's approach, like Faraday's, to science had a polyhedric and eclectic character as it turned the overall attention to various naturalistic and technological sectors. It did not stop at the most abstract research and at pure mathematics but, of course with different resources and scientific applications due to differences, more in general, of means and availabilities between the two countries where the two scientists worked. In particular, there was a disproportion between the role as a protagonist exerted by the English science on the industrial development, going from the "thermodynamic" phase of the steam engine to the "electrotechnical" one of the electric motor, of which Faraday was primary actor, and De Giorgi's Italy just unified, a country endowed with great even scientific traditions, but then certainly backward, as devoid of an educational and technological structure comparable to the English and German ones (Baracca, Ruffo, Russo 1979). Anyway it could obtain valuable results even inside the historical limitations of the south of Italy. In any case, we can say that, at variance with other scientists of their time, they succeeded in obtaining those results without engaging at the level of mathematical languages then officially recognized. In case, De Giorgi engaged on the most immediate use of those languages, in particular statistics and traditional geometry, without innovating them, as his scientific aim was different. Faraday instead preferred to innovate the mathematical language in original ways, but his innovations were not yet considered, as they were considered afterwards, as contri-

butions to the mathematical language itself, rather as a development of more intuitive geometric-topological particular sectors. In any case, in more (Faraday) or less (De Giorgi) creative way, mathematics was for both rather an instrument of deepening and comparison with nature and applications than an end to itself.

## References

- Baracca A., Ruffo S., Russo A. (1979). *Scienza e industria 1848-1915*. Roma-Bari: Laterza.
- De Frenza L. (2002). “Le ricerche di Faraday sull’induzione elettrostatica: un confronto a più voci”. *Physis*, XXXIX, pp. 249-275.
- De Giorgi C. (1989). *La provincia di Lecce. Disegni illustrativi*. Galatina: Congedo.
- De Simone E. (2012). *Il sismografo di De Giorgi*, in De Simone E., Ruggiero L., Spedicato M. (a cura di), *Adversis obfirmor. Cosimo De Giorgi tra riletture e nuove scoperte*. Galatina: Edizioni Panico.
- Galante L. (1989). *Un intellettuale ‘moderato’ tra eredità risorgimentali e nuova cultura scientifica*, in De Giorgi C., *La provincia di Lecce. Disegni illustrativi*. Galatina: Congedo.
- Galilei G. (1998). *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*. Padova: Antenore.
- Gooding D. (1992). “Mathematics and methods in Faraday’s experiments”. *Physis*, XXIX, pp. 121-147.
- Jones H.B. (1871). *The Royal Institution. Its Founders and Its First Professors*. London: Longmans, Green and Co.
- Rossi A., Ruggiero L. (2002): *Collezioni scientifiche a Lecce. Memorie dimenticate di un’intensa stagione culturale*. Lecce: Edizioni del Grifo.
- Ruggiero L. (2003a). *Cosimo De Giorgi: l’uomo, lo scienziato*, in De Simone E., Ingrosso L. (a cura di), *Epistolario di Cosimo De Giorgi*. Galatina: Edizioni Panico.
- Ruggiero L. (2003b). *Cosimo De Giorgi sismologo*, in Rosato G. (a cura di), *Scienza e humanitas in Cosimo De Giorgi*. Galatina: Edizioni Panico.
- Truesdell C. (1968). *Essays in the history of mechanics*. Berlin: Springer.
- Williams L.P. (1965). *Michael Faraday. A biography*. London: Chapman & Hall.





PHYSICS AND SCIENCE IN THE 20<sup>TH</sup> AND THE 21<sup>ST</sup> CENTURIES



# The beginning of Edoardo Amaldi's interest in gravitation experiments and in gravitational wave research

Luisa Bonolis - Max Planck Institute for the History of Science,  
Berlin - l.bonolis@mpiwg-berlin.mpg.de

Adele La Rana - TERA Foundation, Novara; Sapienza University of Rome;  
CERN, Geneva - Adele.LaRana@roma1.infn.it

*Abstract:* The research activity in gravitational wave (GW) detection in Rome started in 1970, promoted by Guido Pizzella and Edoardo Amaldi. Unpublished documents<sup>1</sup> allowed establishing that Edoardo Amaldi's first interest in experiments on gravitation dates back to the late 1950s, about twelve years before. Connected to the major international physicists, Amaldi was attentively following the renewed and increasing activity of research on gravitation, which was taking place in the international scientific community, both from the theoretical and the experimental point of view, since the second half of the 1950s. Today many historians of physics identify the new attitude of the scientific community towards Einstein's theory of gravitation, in the 1950s and 1960s, as the "renaissance" of General Relativity. The coeval letters and archival documents in Amaldi's archive show how his contacts with relativists were progressively growing. Starting from the middle of the 1960s, a clear will appears of beginning an experimental activity for detecting gravitational radiation in Rome.

*Keywords:* Gravitation, General Relativity, Gravitational Waves, Edoardo Amaldi, Bruno Touschek, Robert Dicke, Dmitri Ivanenko, Robert Wheeler, Joseph Weber, Livio Gratton, Remo Ruffini

## 1. Introduction

It is perhaps not widely known outside the GW community that one of the most important gatherings in the field is named after Edoardo Amaldi. The first "Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves" was organized in Frascati in 1994 by Eugenio Coccia; the second one, in 1997, took place in Geneva at CERN, with a massive participation of the GW community. During the CERN conference, the GW International

---

<sup>1</sup> The unpublished documentation cited in the present paper comes mainly from: Edoardo Amaldi's Archives, Department of Physics "G. Marconi", Sapienza University of Rome; Archives of the Rectorate of Sapienza University of Rome, Professors' personal folders; Archives of the National Research Council (CNR), via dei Taurini (Rome).

Committee (GWIC) was born, under the chairmanship of Barry Barish, and it was decided that the next conference would be held in Caltech in 1999 (Coccia 2013). Since then, the Edoardo Amaldi Conference on GWs takes place every two years in a different part of the world and concerns all the aspects of GW research, from theoretical models of astrophysical sources to detection and signal processing.

## 2. The birth of the GW detection team in Rome: the known history

Amaldi was the father of GW detection in Italy and had a key role in the promotion of GW research. He himself recounts the origins of the GW experimental activity in Rome in an internal note of the Institute of Physics (Amaldi 1975):

The idea of starting an experiment aiming to detect GW in Rome was stimulated by the Course on Experimental Tests of Gravitational Theories held in summer 1961 at the Scuola Internazionale E. Fermi in Varenna, where the problem was discussed by J. Weber. The program remained rather vague for practical reasons until 1968, when W. Fairbank spent a few months in Rome at G. Careri's low temperature laboratory. When Fairbank mentioned his intention of starting the development of a low temperature gravitational antenna, Careri who was informed for long time of the interest of E. Amaldi in the subject, suggested a first direct contact. This was the beginning of the collaborations between the groups of Stanford (W. Fairbank), Louisiana State University (W. Hamilton) and the Istituto di Fisica of Rome. Already at this stage a number of conversations with R. Ruffini stimulated the beginning of these researches.

The activity in Rome officially started in September 1970, when Guido Pizzella, Edoardo Amaldi's assistant, came back from the University of Iowa, where he had been working with James Van Allen, and proposed to Amaldi to begin an experiment in this field. The interest in GWs had been growing in the scientific community since the end of 1960s, stimulated by the works of Joseph Weber, the father of GW resonant bars detectors, who published several papers claiming to have detected gravitational radiation, by the room temperature resonator set up in his laboratory at the University of Maryland.<sup>2</sup> Furthermore the discovery of pulsars in 1968 provided an attractive candidate as GW source (Hewish et al. 1968).<sup>3</sup>

The roman group was originally composed by: Edoardo Amaldi, Massimo Cerdonio, Renzo Marconero, Ivo Modena and Guido Pizzella. It was the first team in Italy working at GW detection and one of the first to be born in Europe.

While W.D. Allen at the University of Reading and P.S. Aplin in Bristol were constructing room temperature Weber type detectors, the roman group shared with William Fairbank from Stanford University and William Hamilton from Louisiana State Univer-

<sup>2</sup> Weber (1967) reported the first possible gravitational wave signals in the paper, describing occasional mechanical excitations of the detector well above mean thermal-noise excitations. The paper was soon followed by (Weber 1968a) and (Weber 1969). Weber's papers turned on a lively scientific debate, stimulating the birth of GW detection groups in other parts of the world.

<sup>3</sup> In August, few months later the announcement of the discovery of pulsars Joseph Weber published the paper (Weber 1968b).

sity, the idea of building low temperature facilities. The Rome-Stanford-Louisiana collaboration envisaged the construction of three cryogenic detectors, cooled to 0.003 K, to be installed in the three locations and working in coincidence.

The story narrated by Amaldi and what comes after are known and have been recounted in different occasions and articles by the protagonists. The present paper traces instead the unpublished story that comes before these events, highlighting the evolution of Amaldi's first approaches to gravitation experiments and locating it in the framework of the renaissance of General Relativity.

### 3. Brief portrait of a science man

Edoardo Amaldi (1908-1989) has been one of the main actors of the rebirth of Italian and European Physics after the Second World War. A true statesman of science, as Carlo Rubbia has defined him, he has been the first Secretary General of CERN, during the delicate phase which brought to the definitive affirmation of the European Laboratory project and the final ratification of the member states (1952-1954). In the following years he gave a fundamental contribution also to the foundation of the European Space Research Organization, born in 1964, which merged in the European Launcher Development Organization during the 1970s to form the European Space Agency.

As a scientist, Amaldi grew up at the school of Enrico Fermi, being one of the boys of via Panisperna, the young team of physicists who, under the guide of the Italian genius, explored the properties of nuclei, discovering the efficacy of slow neutrons in producing radioactivity. The Italian racial laws promulgated in 1938 and the war dispersed the legendary group. Amaldi was the only Panisperna boy to remain in Italy; only thirty years old, he was left with the role of leading the research activity in Rome.

At the end of the war, Amaldi was a thirty-six year old man who had taken on his shoulders the responsibility of keeping in life Italian physics.

As a scientist and experimentalist, Amaldi devoted his efforts in many fields of fundamental physics: nuclear and subnuclear physics, cosmic rays, space research, and finally the experiments for detecting GWs, his main scientific interest in his last twenty years. As his colleagues and collaborators assert, it was mainly his quest for fundamental physics which triggered his interest in gravitational radiation.<sup>4</sup>

### 4. The renaissance of General Relativity and the birth of relativistic Astrophysics

Between the early 1920s and the 1950s Einstein's theory of gravitation experienced what Jean Eisenstaedt has called "the low watermark of General Relativity" (Eisenstaedt 1989), in which there was a substantial decline of interest in the theory. In contrast with special relativity, which "was turning out to be an everyday tool of physi-

---

<sup>4</sup> This statement was made separately by Guido Pizzella, Ivo Modena, Bruno Bertotti, Fulvio Ricci and Remo Ruffini in the interviews granted to the authors of this paper during 2015.

cists”, general relativity (GR) had very poor connection with experiments and “lead to too small a number of empirical predictions”. The progress made was relatively slow and due to the research of isolated theoretical physicists and mathematicians. Furthermore, the coming of World War II contributed to delay the constitution of a self-organized community of researchers working on gravitational problems.

Finally, during the 1950s, the gravitationalists began to coordinate themselves in a specific community, promoting the organization of periodical conferences, starting from the Conference for the Jubilee of Relativity Theory in 1955, in Bern. This conference is often referred to as GR0. The second conference was held in 1957 in Chapel Hill (North Carolina) and was devoted to the role of gravitation in physics (GR1). The third one, the Conference on Relativistic Theories of Gravitation (GR2), was organized two years later in Royaumont (Paris). The International Committee on Gravitation and Relativity was formed shortly before.

Starting from the 1950s, the theory of General Relativity began to gain momentum for several complex interconnected reasons, including a diffused recognition that the resolution of problems related to GR was essential for different research fields, such as quantum gravity, unified field theories, and cosmology.

At the same time a growing interest in gravitation experiments was emerging. The main actor of the revival of experimental tests of gravitational theories was Robert Dicke, in Princeton. In the same University, the theoretical counterpart was John Wheeler.

It was not by chance that Joseph Weber spent the academic year 1955-56 at the Institute for Advanced Study in Princeton, where he dipped himself in GR as a fellow student of Wheeler (Weber, Wheeler 1957). Weber’s ideas about the detection of GWs were enunciated for the first time at the Royaumont conference in 1959 (Weber 1962).

Furthermore, during the 1960s the new astronomical discoveries, such as quasars (1963), cosmic microwave background (1964), and pulsars (1967), strongly contributed to assign to GR a fundamental role in interpreting physical phenomena. It was the birth of relativistic astrophysics.

Many historians of physics define the period spanning from the Bern Conference of 1955 to the early 1970s, as the epoch of renaissance of General Relativity (Blum 2015).

## 5. Amaldi’s growing interest in Gravitation

The new born International Committee on Gravitation and Relativity, chaired by André Lichnerowicz and Marie-Antoinette Tonnelat, entered the agenda of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) in 1960. As the President of IUPAP,<sup>5</sup> Amaldi wrote a letter<sup>6</sup> on this occasion to Dmitri Ivanenko, well-known relativist and member of the committee, in which he states:

<sup>5</sup> Amaldi was in charge as the President of IUPAP between 1957-1960.

<sup>6</sup> E. Amaldi to D. Ivanenko, 22 of August 1960.

I think this is a right moment for a wider development of the research activity on gravitation and general relativity.

By the end of 1950s, Amaldi was clearly aware of the new lymph that was flowing in the field of GR. He was attentively following the renewed interest of the scientific community in the experimental tests of General Relativity, in particular Robert Dicke's program of precision tests on the equivalence of inertial and gravitational mass. In February 1960 he had sent indeed a letter to Dicke, asking him preprints and internal notes about the results of his experiments. At the end of July, only three weeks before his letter to Ivanenko, Amaldi wrote again to Dicke telling him he would like to visit his laboratory in Princeton on the following September, after the Rochester Conference held in August.<sup>7</sup> The visit took place on September 3. The American experimental physicist welcomed in Princeton Amaldi and his young colleague Giuseppe Fidecaro.<sup>8</sup> The latter recounts that Dicke discussed his experiments with them for a couple of hours, in front of a big blackboard and afterwards they went to visit the laboratory.<sup>9</sup>

However, more than one year before Amaldi himself together with his colleague Mario Ageno had begun a few experiments concerning gravitation. On Saturday 31 January 1959, Amaldi took an interesting note in his diary, concerning the possibility of looking for an effect of the gravitational field on the beta disintegration. As Amaldi writes, the idea had come from a discussion with Bruno Touschek, the father of the first electron-positron collider AdA, on the morning of Wednesday 28 January. Bruno Touschek raised the question of whether the decay constant of the various beta decay nuclei was the same everywhere in the Universe, irrespective of the value of the local gravitational field. In a paper published by the Accademia dei Lincei (Ageno 1966), Amaldi and Ageno wrote:

Touschek was prompted to raise this question by the fact that in the history of physics it had happened several times that an apparent deviation from a conservative law was found, on close examination, to be the result of the perturbation caused by an external field [...]. Could not the non-conservation of parity observed for the weak interaction have a similar origin?

Already one week later, the first experiment had been set up and accomplished; it was based on the equivalence principle, according to which a centrifugal field generated by a rotation is locally equivalent to a gravitational field, produced by a proper distribution of masses. Amaldi and Ageno accelerated a sample of beta radioactive source inside a centrifuge, measuring its activity repeatedly as a function of time, before and after centrifugation.

They discovered only later that other researchers in the world were dealing with the same problem (Chien-Shiung Wu 1959). Amaldi's and Ageno's experiments, accom-

---

<sup>7</sup> E. Amaldi to R. Dicke, 28 July 1960.

<sup>8</sup> It was possible to identify the date of the visit to Dicke through Amaldi's diaries. Amaldi used to keep very detailed diaries of his activities, so it was possible to find his accurate notes and drawings about Dicke's discussion.

<sup>9</sup> Email from Giuseppe Fidecaro to Ugo Amaldi and to the authors of this paper, 6 July 2015.

plished at the “Istituto Superiore di Sanità” in Rome, continued in the following years, but their results were never published on international reviews.

However, Amaldi discussed the beta decay issue with outstanding physicists from different institutes for several years. On the 19 of January 1960, few days before the inauguration of CERN’s first accelerator, the Proton Synchrotron (PS), he talked in Geneva with Christian Møller about the half life of centrifugated  $\pi$ .<sup>10</sup> In November 1964 he wrote to John Synge asking him whether to publish or not their results.<sup>11</sup> He continued to think about the centrifuge experiments in the following years, as witnessed by the letters he wrote in 1973-74 to Møller and to Francis Perrin, sending them a copy of the 1966 paper (Ageno 1966) and asking their opinion.

Another important stimulus towards gravitation experiments came to Amaldi from Dmitri Ivanenko, who visited Italy during January and February of 1960. On the 26 of January, few days after Amaldi’s discussion at CERN with Møller, Ivanenko gave a talk at the Institute of Physics in Rome, entitled “Remarks on transmutation of matter into gravitation” (Amaldi 1962). As shown by his diaries, Amaldi was present. He had come back from CERN on January 21 and would go back in Geneva on February 3 for the PS inauguration (February 5). He wrote down some very interesting annotations about Ivanenko’s talk. The Russian physicist had developed a quantum-gravity model predicting transmutations of ordinary particles in a graviton, by analogy with creation and annihilation of electron-positron pairs in an electromagnetic quantum. Amaldi followed attentively his reasoning and noted (in Italian) in his diary:

It is necessary to study gravitational waves, because it is not sure they exist.

This was the kind of issue in fundamental physics capable of tickling the interest of a tenacious experimenter as Amaldi.

Finally, as recounted in the internal note at the beginning of this paper, Amaldi participated in the Varenna School on the Experimental Tests of Gravitational Theories (19 June-1 July), directed by Møller. Among the lecturers were Bruno Bertotti (Laboratorio Gas Ionizzati, Frascati), Herman Bondi (King’s College, London), Robert Dicke (Princeton University) and Joseph Weber (University of Maryland).

Among his notebooks, there is one specifically dedicated to this Varenna School; he was present in the days 27, 28 and 29 June. Strangely, it does not contain any reference to Weber’s talk about GW detection. Instead, accurate annotations about Bertotti’s topics are found (Bertotti 1962). Furthermore, the exchange of letters between Amaldi and Weber is very poor, considering that Weber is the father of gravitational wave detection and taking into account the importance Amaldi attributed to his 1961 encounter with him, as reported in the mentioned note of 1975. During the Sixties there was only one short letter written by Weber to Amaldi, on the 15 of September 1967: Weber invited Amaldi to visit his laboratories at the University of Maryland; as learned from the documents explored so far, this did not happen until March 1980.

---

<sup>10</sup> The information comes, as usual, from Amaldi’s diaries.

<sup>11</sup> E. Amaldi to J.L. Synge, 21 November 1964.



Besides Amaldi's quest for fundamental physics, the new astronomical discoveries, such as quasars (1963) and pulsars (1968), triggered his interest in gravitational radiation. Together with multiwave astronomy, cosmic rays, particles from the solar wind, and neutrinos, gravitational-wave astronomy might open another window on the universe.

And, indeed, during the 1960s Amaldi promoted the opening up of new lines of research in Rome, like space science, plasma physics and astrophysics, calling back at the Institute of Physics scientists as Livio Gratton, for whom the first chair of astrophysics in Rome was established in 1962 (Gratton 2013); encouraging the training abroad of young researchers as Guido Pizzella; stimulating synergies among different expertise and actively contributing to the creation of dedicated laboratories as the Ionized Gas Laboratory in Frascati.<sup>12</sup>

As a young student, Remo Ruffini had a privileged role in those early years. In 1967 Amaldi strongly supported his application for a European Space Research Organization (ESRO) fellowship, which would allow him spending two years in USA. In his letter of July 7 to Reimar Lüst (who was about to become the Vice President of ESRO, in 1968), Amaldi explained that Ruffini would work both “experimentally (Dicke) and theoretically (Wheeler) at Princeton” and would spend “some time at the Maryland University (Weber)”, training on gravitation. Amaldi's explicit aim was to set up “an experimental group working in this field at the return of Ruffini”:

Just to mention one possible line of research, we are considering the possibility of establishing coincidences between detectors of gravitational waves placed at large distances (one in USA and one in Italy).

In a previous letter dated April 14 to CNR, concerning a six-months fellowship of Ruffini in the USA, Amaldi had written explicitly that “the aim of creating an experimental group on gravitation has a great interest for this Institute and in particular for me personally». He believed Ruffini had “the right qualities in order to make this effort with good perspectives of success”.

On February 9 of the following year, Ruffini wrote a letter to Amaldi attaching an activity report he had prepared for ESRO, in order to support the renewal of his fellowship for a second year at Princeton University. Here there is a paragraph particularly significant for our story:

Researches on gravitation are not by any means new at Rome University. Quite apart from earlier work on gravitation theory of Tullio Levi Civita and Enrico Fermi, significant investigation has been carried out in this field in the past few years (measurement of muon and beta decay in non-inertial frames; theory of superdense stars; theory of gravitational radiation).

As we know, the story went differently with respect to Amaldi's expectation: Remo Ruffini had an important role in stimulating the beginning of the research activity in

---

<sup>12</sup> The Ionized Gas Laboratory was instituted in Rome, where it remained for the first three years and then was displaced in Frascati.

GW in Rome and the start-up of the contacts between the American and the Roman groups, but he was not the man who actually founded the experimental group. That man was definitely Guido Pizzella, who undertook with courage, enthusiasm and perseverance the leadership of the new scientific adventure.

### Bibliography

- Ageno M., Amaldi E. (1966). "Experimental search for a possible change of the beta decay constant with centrifugal force". *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei*, Anno CCCLXIII, Memorie. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Serie VIII, Vol. VIII, Sez. 2, Fascicolo 1, pp. 1-35.
- Amaldi E. (1962). "Istituto nazionale di fisica nucleare. Sezione di Roma. Attività svolta durante l'anno 1959-1960". *La Ricerca Scientifica*, 2, pp. 5-16.
- Amaldi E., Pizzella G. (1975). "The gravitational wave experiment in Rome: progress report". Nota Interna n. 645, Istituto di Fisica "G. Marconi", Università di Roma, November 10, 1975.
- Bertotti B. (1962). *The theory of measurement in general relativity*, in Möller C. (ed.), *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi. XX Corso. Verifiche delle teorie gravitazionali*. New York: Academic Press.
- Blum A., Lalli R., Renn J. (2015). "The Reinvention of General Relativity: A Historiographical Framework for Assessing One Hundred Years of Curved Space-time". *Isis*, 106 (3), pp. 598-620.
- Coccia E. (2013). *Edoardo Amaldi and the birth of the gravitational wave research in Italy*, in Ruffini R., Jantzen R. (eds.), *Proceedings of the 13<sup>th</sup> Marcel Grossman Meeting* (Stockholm, July 1-7, 2012). Singapore: World Scientific, pp. 2048-2050.
- Eisenstaedt J. (1989). *The low water mark of general relativity, 1925-1955*, in Howard D., Stachel J. (eds.), *Einstein and the history of general relativity*. Boston: Birkhäuser, pp. 277-292.
- Gratton L. (2013). "Viaggio di un astronomo attraverso il ventesimo secolo". *Coelum Astronomia*, Volumes 157-173.
- Kennefick D. (2007). *Traveling at the speed of thought: Einstein and the quest for gravitational waves*. Princeton: Princeton University Press.
- Hewish A. et al. (1968). "Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source". *Nature*, 217, pp. 709.
- Weber J. (1962). *On the possibility of detection and generation of gravitational waves*, in Lichnerowicz A., Tonnelat M.A. (eds.), *Colloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique: XCI Le theories relativistes de la gravitation* (Royaumont, June 21-27, 1959). Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, pp. 441-450.
- Weber J. (1967). "Gravitational Radiation". *Physical Review Letters*, 18, pp. 498-501.
- Weber J. (1968). "Gravitational-Wave-Detector Events". *Physical Review Letters*, 20, pp. 1307-1308.

- Weber J. (1968b). “Gravitational Radiation from the Pulsars”. *Physical Review Letters*, 21, pp. 395.
- Weber J. (1969). “Evidence for Discovery of Gravitational Waves”. *Physical Review Letters*, 22, pp. 1320-1324.
- Weber J., Wheeler J.A. (1957). “Reality of the Cylindrical Gravitation Waves of Einstein and Rosen”. *Reviews of Modern Physics*, 29, p. 509.
- Wu C. S. (1959). “Parity Experiments in Beta Decays”. *Reviews of Modern Physics*, 31, pp. 783-790.



# At the origins of nanotechnology. Discoveries and tough competition in the field of the carbon nanotubes

Luigi Cerruti - Ricercatore indipendente - lcerruti00@gmail.com

Emilio Marco Pellegrino - Università di Torino

Elena Ghibaudi - Università di Torino

*Abstract:* The present paper discusses some aspects of the research landscape related with nanotechnology, starting from Kroto's announcement of the discovery of fullerene and Iijima's seminal work on carbon nanotubes. In particular, we analyse the issue of competition within the nanotechnology research field, as regards both physical properties and performance of CNTs and the commitments of national states in boosting this research field. We also discuss the inherent interdisciplinary character of nanotechnology research and we offer some reflections on the looseness of disciplinary boundaries.

*Keywords:* Carbon nanotubes, nanotechnology, competition, interdisciplinarity

## 1. Introduction

The nanotechnology field is so wide and varied that its boundaries can hardly be described by a precise definition. In the USA, within the awesome National Nanotechnology Initiative (NNI), the following definition has been proposed: "Nanotechnology is science, engineering, and technology conducted at the nanoscale, which is about 1 to 100 nanometers" (National Nanotechnology Initiative 2015a). This statement suggests that any scientific practice applicable to systems or objects of nanometrical size is part of "nanotechnology"; if so most chemistry would fall within the perimeter of nanotechnology. In using the word nano-technology emphasis should be put not only on the *nano* prefix, but also on *technology*, because the budgetary effort that fuels research is explicitly aimed at the *technological innovation*. Actually, there is some alarm among American funding agencies as regards the "delay" in developing relevant applications, at least in the carbon nanotubes (CNTs) field. This concern underlines the importance of CNTs research. The historical analysis presented hereafter is justified by the relevance of the collective effort focused on CNTs; we also discuss some epistemological aspects, namely those regarding disciplinary boundaries that are a constant aspect of the history of CNTs' research.

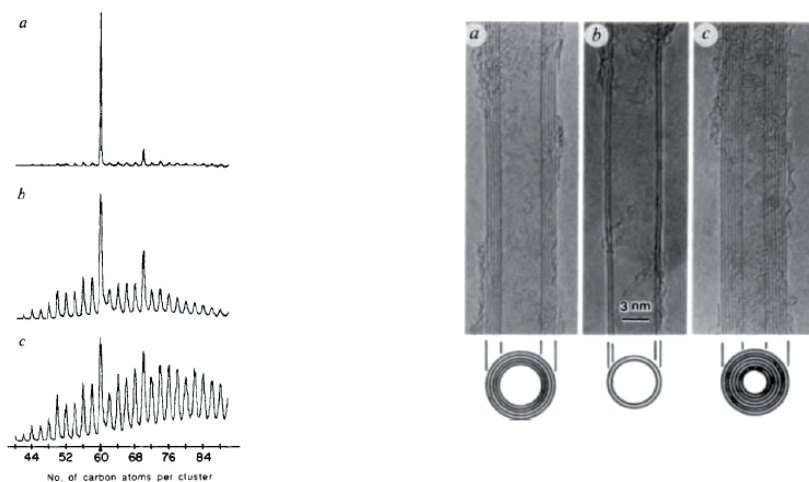
## 2. The discovery of carbon nanotubes

The scientific context wherein the discovery of CNTs took place was dominated by the interest towards another discovery, occurred 6 years earlier. On November 1985 *Nature* published a letter with a bizarre title: “C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene”, and an intriguing image alongside the title. The figure legend was: “A football (in the United States a soccer ball) on Texas grass”. Then, the text clarified the nature of the reported discovery: “The C<sub>60</sub> molecule featured in this letter is suggested to have the truncated icosahedral structure formed by replacing each vertex on the seams of such a ball by a carbon atom” (Kroto *et al.* 1985). The name of the new substance contained an indirect reference to the structure of its molecules, as the American architect Richard Buckminster Fuller (1895-1983) was known for having spread the use of geodesic domes, whose structure is precisely icosahedral. No doubt, the name of the substance, the picture of a soccer ball and the figure legend are by Harold Kroto, a very ironical man, and an excellent chemist.

The experimental procedure applied by Kroto and colleagues was very elegant, as the mass spectra reported in Fig. 1a clearly show. Spectrum *a* was obtained under a low-pressure Helium gas flow: it shows the presence of many Carbon *clusters*. Spectrum *b* was obtained under 1 atm pressure; the increase in the number of collisions favors the more stable structures, C<sub>60</sub> and C<sub>70</sub>. Spectrum *c*, where species C<sub>60</sub> predominates, was obtained by lengthening the pathway swept by the Carbon *clusters* before entering the spectrometer. In this preliminary communication, Kroto and colleagues remarked that the C<sub>60</sub> molecules were hollow. Hence they were able to host other atoms: this opened new interesting structural perspectives. The name proposed by Kroto was quickly simplified in “fullerene”, and the structure of the C<sub>60</sub> molecule became an icon, capable to compete with the centennial icon of benzene.

The discovery of fullerene disclosed the fact that stable molecular structures with a high number of Carbon atoms could be easily obtained; in addition, the existence of C<sub>70</sub> molecules foreshadowed the possibility – for the perfect structure of fullerene – to grow towards still unknown directions. In any case, this was an interdisciplinary research since the very beginning: in fact, the five coauthors of the *Nature* communication were representative of the disciplinary domains of quantum physics, chemistry and engineering.

Sumio Iijima, the discoverer of CNTs, was born in 1939 in the Saitama prefecture, next and partly integrated to the “big Tokyo” area. Date and place of birth were unlucky, but Iijima was spared from the deadly incendiary bombing carried out by the American B29 and managed to get an engineering M.Sc. in 1963 and Ph.D. in solid-state physics in 1968. For a long time, from 1970 to 1982, he was in the USA at the Arizona State University, where he undertook research on electronic microscopy applied to crystalline materials. In 1982 he was back to Japan, where he covered different roles in various sites of the Nippon Electric Company (NEC), an illustrious enterprise founded in 1898, that later became a powerful multinational specialized in informatics technologies.



**Fig. 1.** Left: experimental data by Kroto *et al.* (1985, p. 163). Right: experimental data by Iijima (1991, p. 56)

The paper that made Iijima popular was published in *Nature* on November 1991. The Japanese physicist places his work in the frame of the “intense interest in the structures accessible to graphitic carbon sheets” raised by Kroto’s and Smalley’s discovery (Kroto *et al.* 1985). Experimental data were obtained through a transmission electronic microscope (TEM) and the author reports the high-resolution images of “typical needles” (Fig. 1b). The dark parallel lines correspond to images of graphite reticular plane (002); for the sake of clarity, Iijima added the drawings of the *tubules’* sections: tube *a* is made up of 5 graphitic sheets, tube *b* is made by 2 sheets and tube *c* by seven sheets. Based on a further set of diffractometric data, Iijima states that these objects are actually chiral, a phenomenon justified by the model that describes the formation of CNTs through the “winding” of a monoatomic graphitic sheet.<sup>1</sup> Iijima’s paper has become one of the most cited papers in the recent history of physics: according to Google Scholar, it counts 37715 citations (October 20<sup>th</sup> 2015).

Iijima’s 1991 work was based on excellent instrumentation; nevertheless the Japanese physicist did not mention the specific TEM technical model that he used: he just reported a 200 KeV electron energy. The data was sufficient, to disciplinary experts, for identifying Iijima’s instrument as a Topcon 002B, produced by the Japanese firm Topcon from 1986 on.

As regards the theoretical aspects, both chemists and physicists had studied structures made of pure Carbon well before the fullerene’s discovery (Rao 1995); hence, the reaction of theoretical scientists to the CNT’s discovery was prompt (Table 1). Hamada’s and Harigaya’s groups worked at NEC, so they were within the same institution as Iijima; oddly enough, the first theoretical contribution to be published was from

<sup>1</sup> The model is based on graphene, the allotropic form of Carbon discovered in 2004.

the Naval Research Laboratory in Washington, and the *Physical Review Letters* received it *before* Iijima's paper was published.

(Iijima 1991)	(Mintmire 1992)	(Hamada 1992)	(Harigaya 1992)
<i>August 27th 1991</i>			
	<i>October 9th 1991</i>		
<b>November 7th 1991</b>			
			<i>November 25th 1991</i>
		<i>December 9th 1991</i>	
	<b>February 3rd 1992</b>		
		<b>March 9th 1992</b>	
			<b>May 15th 1992</b>
<i>Italics</i> : submission date of the paper; <b>bold</b> : publication date of the paper			

**Table 1.** Chronology of (Iijima, 1991) and the first theoretical works on CNTs

Another interesting aspect of the papers cited in Table 1 is the uncertainty on the name to be given to the new objects discovered by Iijima. The discoverer himself calls them: *needle-like tubes, needles, tubes, graphitic carbon needles, microtubules, tubules, tubular needles*. In (Mintmire 1992) the privileged term is *fullerene tubules*; Hamada (1992) uses the term *graphitic microtubules*, and Harigaya (1992) writes of *fullerene tubes*. Lexical uncertainty discloses the newness of the discovery and the “elusive” nature of the new objects. The name of CNT, later adopted by the scientific community, appeared for the first time in a paper entitled “Large-scale synthesis of carbon nanotubes”. This work was published in *Nature* on July 1992, and once again it was signed by NEC researchers (Ebbesen, Ajayan 1992).

### 3. The developments of competition and an up-to-date reflection

Data in Table 1 already show that CNTs research could not have been a *made in Japan* enterprise. Many labs immediately set as a goal the production of single-wall CNTs. In fact, this would have simplified the experimental and theoretical investigations of these objects; in addition, the standardization of mass production would have been a (future) realistic task. The competition was immediately manifest, and it was gained on *Nature* by the Japanese NEC researchers against the Americans IBM scientists. The editorial data show that the Americans were beaten to the punch: the communication by Iijima and Ichihashi (1993) was received on April 23<sup>rd</sup>, accepted for publication on June 1<sup>st</sup> and finally published on *Nature* on June 17<sup>th</sup> 1993. Donald Bethune's communication (1993) was received on May 24<sup>th</sup>, accepted on June 3<sup>rd</sup> and published on June 17<sup>th</sup> 1993, in the same issue reporting Iijima's work.

The competition on CNTs may be analyzed from different standpoints. A survey of bibliometric data shows that the landscape of CNTs' research is very dynamic and has



changed along the years as regards a number of aspects, e.g. the relations between disciplines (in terms of competition and/or collaboration), the national states commitments towards the CNTs research field (in the last few years, nations like Iran and India have gained prominent positions in the field, overriding many European countries), the change in research trends within the nanotechnology area (since 2008, graphene has overtaken CNTs as research topic). A detailed analysis of all these aspects would take too long. We will briefly comment the data in Table 2, that show the changes occurred in the distribution of the contributions to CNTs research from distinct disciplinary sub-fields. Data are extracted from the SCOPUS bibliographic database.

Subject area	Physics and Astronomy	Materials Science	Chemistry	Chemical Engineering	Engineering	Energy	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology
1991-2004	53.8 %	36.1 %	26.1 %	4.8 %	9.7 %	1.0 %	0.9 %
2005-2014	39.8 %	52.9 %	44.9 %	17.9 %	30.3 %	6.1 %	5.8 %

The percentages in each line sum up to more than 100%, because SCOPUS may assign a same article to distinct subject areas, depending on the interdisciplinary character of the corresponding journals. Hence each article may count for more than one contribution, depending on the disciplinary tags assigned to it.

**Table 2.** Distribution of the disciplinary contributions over the 67,726 papers published on CNTs in the time ranges 1991-2004 (9137 articles) and 2005-2014 (58589 articles)

In the 1991-2014 period, a total of 67,726 articles on CNTs have been published. Each article is associated with one or more disciplinary field. Data in Table 2 show that, in the earliest time of CNTs research, physics played the main role; but, over the years, it was outclassed by materials science and chemistry. Chemistry and chemical engineering almost doubled their contributions in the later period with respect to the earlier one. The level of inter-disciplinarity of CNTs research has grown over time: SCOPUS data show that, shifting from the 1991-2004 to the 2005-2014 period, the average disciplinary contributions *per article* grew from 1.37 to 2.13.

As far as the physical properties of CNTs are concerned, an important issue seems to be their length. Different labs seem to be engaged in an “athletic” competition. At present, the pole position for the longest CNT is held by a Chinese team of the Beijing Key Laboratory of Green Chemical Reaction Engineering and Technology, Dept. of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China (Zhang *et al.* 2013). Conversely, the smallest diameter was obtained by researchers of the Dept. of Materials Science and Engineering, Meijo University, Nagoya, Aichi, Japan. This record was established in 2004 and still holds: in fact, it seems hardly possible to go lower than 3 Å diameter, due to the inherent size of Carbon atoms (Zhao *et al.* 2004).

Despite its many records, CNTs research has not yet delivered the output expected by the funding agencies. In the USA, an alarm has been raised on the delay in commer-

cializing CNTs-containing products (National Nanotechnology Initiative 2015b). The main obstacles are the standardization of CNTs production and the present impossibility to assure a mass production (Aldrich CNTs samples are 20-fold more expensive than gold). A further criticism is the delay in the investigation of the interaction between nanotechnological products, environment and health. This issue is so critical that 10% of the \$1.5 billion budget assigned to NNI have been recently redirected towards nanotechnological risk assessment (Morrison 2015).

#### 4. A hint of epistemic analysis

We have seen that CNTs research is inherently inter-disciplinary. Scientometric data confirm that it is the object of research<sup>2</sup> that attracts the researchers' commitment. Scientists have not become transgressive, by trespassing their own disciplinary boundaries; they have rather fully exploited all the available cognitive tools, regardless of their academic labels. Let's consider the experimental data that led to the discovery of fullerenes and CNTs. In both cases, instrumentation is "physical" (a time-of-flight mass spectrometer and a powerful TEM). The expert that examines Fig. 1a being aware of the instrument employed to get it, infers the presence of distinct entities with a well defined mass, i.e. molecules. Even an inexperienced person that looks at Fig. 1b would notice the reference scale (3 nm) and could not avoid thinking that the figure reports nanometric objects, whose structure is clarified by the section reported at the bottom of the figure. No chemical investigation could possibly demonstrate that Iijima's objects are tubes. This might uphold the separation between chemistry, that infers properties from collective behaviors, and physics that sees the microscopic objects. History shows that this was not the case. A recent paper by Zhang et al. (2013), appeared on Physical Review Letters, foreshadows the production of CNTs of macroscopic length and states – in the title – the use of the Schulz-Flory function. This function describes the molecular weight distribution of linear condensation polymers obtained through a kinetics-controlled reaction, where the monomers are assumed to be equally reactive. The application to CNTs of a statistic function aimed at modeling polymer synthesis indicates that – in the nanotechnological field – it is impossible to discern whether one is doing "physics" or "chemistry".

#### References

- Bethune D.S., Kiang C.H., de Vries M.S., Gorman G., Savoy R., Vazquez J., Beyers R. (1993). "Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls". *Nature*, 363, pp. 605-607.

---

<sup>2</sup> These are "social objects" whose ontology is enriched by the network of connections built around them by the scientific community, by the heads of funding agencies, by the press, etc.

- Ebbesen T.W., Ajayan P.M. (1992). “Large-scale synthesis of carbon nanotubes”. *Nature*, 358, pp. 220-222.
- Hamada N., Sawada S., Oshiyama A. (1992). “New one-dimensional conductors: Graphitic microtubules”. *Physical Review Letters*, 68, pp. 1579-1581.
- Harigaya K. (1992). “From C60 to a fullerene tube: Systematic analysis of lattice and electronic structures by the extended Su-Schrieffer-Heeger model”. *Physical Review*, B 45, pp. 12071-12076.
- Iijima S. (1991). “Helical microtubules of graphitic carbon”. *Nature*, 354, p. 56-58.
- Iijima S., Ichihashi T. (1993). “Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter”. *Nature*, 363, pp. 603-605.
- Kroto H.W., Heath J.R., O’Brien S.C., Curl R.F., Smalley R.E. (1985). “C60: Buckminsterfullerene”. *Nature*, 318, pp. 162-163.
- Mintmire J.W., Dunlap B.I., White C.T. (1992). “Are fullerene tubules metallic?”. *Physical Review Letters*, 68, pp. 631-634.
- Morrison J. (2015). “C&EN Talks With Michael Meador”. *Chemical & Engineering News*, 93 (17), p. 24.
- National Nanotechnology Initiative (2015a). *What is Nanotechnology?* [online]. URL: <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition> [access date: 01/04/2016].
- National Nanotechnology Initiative (2015b). *Realizing the Promise of Carbon Nanotubes: Challenges, Opportunities, and the Pathway to Commercialization* [online]. URL: [http://www.nano.gov/sites/default/files/pub\\_resource/2014\\_nni\\_cnt\\_tech\\_meeting\\_report.pdf](http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2014_nni_cnt_tech_meeting_report.pdf) [access date: 01/04/2016].
- Rao C.N.R., Seshadri R., Govindaraj A., Sen R. (1995). “Fullerenes, nanotubes, onions and related carbon structures”. *Materials Science and Engineering*, R15 (6), pp. 209-262.
- Zhang R., Zhang Y., Zhang Q., Xie H., Qian W., Wie F. (2013). “Growth of Half-Meter Long Carbon Nanotubes Based on Schulz–Flory Distribution”. *ACS Nano*, 7 (7), pp. 6156-6161.
- Zhao X., Liu Y., Inoue S., Suzuki T., Jones R., Ando Y. (2004). “Smallest Carbon Nanotube is 3 Å in Diameter”. *Physical Review Letters*, 92 (12), p. 125502.



# Photon-electron scattering: some contributions by Ettore Majorana

Marco Di Mauro - Dipartimento di Fisica “E.R. Caianiello”, Università di Salerno -  
marcodm83@gmail.com

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

Adele Naddeo - Dipartimento di Fisica “E.R. Caianiello”, Università di Salerno -  
adelenaddeo@yahoo.it

*Abstract:* Relevant contributions by Majorana regarding Compton scattering off free or bound electrons are here presented, where a full quantum generalization of the Kramers-Heisenberg dispersion formula is derived. The role of intermediate electronic states is pointed out in recovering the standard Klein-Nishina formula (for free electron scattering) by making recourse to a limpid physical scheme. For bound electron scattering, a quantitative description of the broadening of the Compton line is obtained for the first time by introducing a finite mean life for the excited state of the electron system. Finally, a generalization aimed to describe Compton scattering assisted by a non-vanishing applied magnetic field is considered.

*Keywords:* Ettore Majorana, free electron scattering, bound electron scattering, magnetic field.

## 1. Introduction

Among the different phenomena that paved the way to the emergence of the quantum world, the Compton effect certainly played a key role in the acceptance of the photon as the quantum counterpart of an electromagnetic wave (Compton 1961). Indeed, a standard kinematical analysis of this process, just based on the relativistic energy-momentum conservation, directly led to the Compton formula for the wavelength shift. However, already Compton realized in his experiments that the appearance of an incoherent scattered radiation with a different frequency, in addition to the coherent scattering radiation with the same frequency, was not the only novelty with respect to the classical Thomson scattering of soft X-rays. A key result was the increasing of the relative importance of the incoherent scattering with the hardness of the X-rays employed and with the corresponding scattering angle: in particular, for very hard X-rays impinging on an atomic substance with small atomic weight, at large scattering angles practically only the incoherent radiation is present.

The intensity of the scattering of light waves by a charged particle with mass  $m$  and charge  $e$  was earlier calculated within Maxwell electrodynamics by Thomson in 1904, obtaining the classical value for the total cross-section:

$$\sigma = \frac{8\pi}{3} \frac{e^4}{m^2 c^4}. \quad (1)$$

However, scattering of hard radiation did not follow this simple relation, and Compton himself in 1923 proposed an *ad hoc* formula (Compton 1923) within a classical picture, but with some non-classical ingredients about the frequency shift in order to take into account the experimental observations. Some pioneering works then followed, by Kramers and Heisenberg in 1925 (Kramers, Heisenberg 1925), who succeeded in obtaining from the correspondence principle a dispersion formula for the radiation scattered by atoms, and by Dirac (1926) and, independently, Gordon (1926). For the first time the latter authors applied quantum mechanics to the Compton problem: the quantized current of the (scalar) electron was calculated (by means of the Schrödinger or Klein-Gordon equation, respectively) and then used as source of the retarded potential entering the classical expression for the scattering intensity.

Klein and Nishina (1929) shared the same strategy of Gordon, but the appearance at the start of 1928 of the Dirac equation allowed the electrons to be described by this relativistic equation, with the obvious consequence that now the electron spin was automatically taken into account. In terms of the differential cross-section, i.e. the ratio of the number of scattered photons into the unit solid angle over the number of incident photons, the result was the following:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2} \frac{e^4}{m^2 c^4} \left( \frac{v'}{v} \right)^2 \left( \frac{v'}{v} + \frac{v}{v'} - \sin^2 \theta \right), \quad (2)$$

in agreement with the experimental data about the absorption of X-rays by matter but still obtained by means of a semi-classical method. A full quantum approach (quantized radiation and matter fields) appeared soon after, in 1930, when Waller (1930) and, especially, Tamm (1930) re-derived the Klein-Nishina formula in a fully consistent approach, by adopting the newly discovered quantum field theory formalism of Heisenberg and Pauli (1929). The main point was that, in contrast with the approach of Klein and Nishina, the Compton scattering revealed to be a second-order effect, where electron intermediate states are present to bridge from the photon absorption process to that of re-emission of another photon by the electron. This result followed from the application of the time-dependent perturbation scheme of Dirac (1927), the intermediate states being required by the interaction term linear in the electromagnetic field that prevents a direct transition from the initial to the final state. The surprising feature was the necessity to sum also over negative energy intermediate states of the electron in order to obtain the correct Klein-Nishina formula. Summing up, the calculation of the Compton cross-section served as a powerful illustration of the attainment of a consistent and also manifestly covariant perturbation evaluation of QED processes. Furthermore, the intensive experimental study, carried out for more than a decade following Compton's initial discovery in 1923, just supported this new theory (and disclosed novel processes, such as pair creation and annihilation), but the natural improvement and refinement of the

experimental setups also led to the observation of precision effects (in those years, the name Compton effect referred to the scattering of a photon on a free electron as well as on bound electrons), which as well called for a theoretical explanation.

In the present contribution we unveil the unknown contributions about this subject made by Ettore Majorana around the same years (end of 1920s), as resulting from the study of his unpublished research notes (Esposito *et al.* 2003; Esposito *et al.* 2008). The interest in them, indeed, is not only historical in nature but, as common for this author, pertains also to modern theoretical physics research, given the particularity of the approaches employed, both for the time and for today.

## 2. Free electron scattering

The key idea of the scattering process as a series of successive absorption and emission processes, introduced by Waller and Tamm, is at the basis also of the computations performed by Majorana (Esposito *et al.* 2008, p. 104). It is not known whether he was aware of the papers of those authors, with whom he shared also the general application of Dirac's theory of dispersion to the radiation scattering problem, but, as a matter of fact, Majorana's approach to the calculation is quite different from Waller's and Tamm's.

As in Waller, the interaction between the quantized electromagnetic radiation and free electrons is described by the Dirac equation, which is, then, the starting point also of Majorana's calculations. In order to perform perturbative calculations, the complete Hamiltonian of the system considered by Majorana is split in two parts as follows:

$$\begin{aligned} H &= H_0 + I \\ H_0 &= -c\rho_1\boldsymbol{\sigma}\cdot\mathbf{p} - \rho_3mc^2 + \sum_s \hat{n}_s \hbar\nu_s, \\ I &= -e\rho_1\boldsymbol{\sigma}\cdot\mathbf{C} \end{aligned} \quad (3)$$

where  $\boldsymbol{\sigma}$  are Pauli matrices,  $\rho_1$  and  $\rho_3$  are suitable  $4\times 4$  block matrices characterized by the presence of the 2-dimensional identity matrix on each off diagonal block and diagonal block, respectively,  $\mathbf{C}$  is the electromagnetic field operator and  $\hat{n}_s$  is the number operator. Let us notice that, in the free term  $H_0$ , a quantized electromagnetic field contribution has already been taken into account.

Since the Compton process is the scattering of one photon off one electron, the initial and final states in Majorana's calculations are given by  $|1\rangle = |a;1,0\rangle$  and  $|2\rangle = |b;0,1\rangle$ , respectively, where  $a$  and  $b$  label the initial and final electron states, while the photon occupation numbers refer just to the generic  $s$ -th and  $t$ -th modes of the quantized radiation field, the other modes being empty. Then he found that the matrix element of the perturbation Hamiltonian  $I$  between these two states vanishes, so that no first-order contribution is present, as realized also by Waller and Tamm. The necessity to push the approximation up to second-order terms evidently call for the presence of intermediate states in the matrix element calculations, but here Majorana – differently from Waller and Tamm – realized that only two possible intermediate states exist that lead to non-vanishing matrix elements of the perturbation Hamiltonian. They refer to 0- and 2-photon states. Let us recall that, in the modern QED formalism, the existence of

only two (at second-order) intermediate states corresponds to the fact that only two Feynman diagrams contribute to the Compton scattering. Majorana then proceeded with his calculations by applying Dirac's time-dependent perturbation theory, just as Waller and Tamm did, and obtained the following dispersion formula for the transition probability from the initial state to the final one:

$$P_{12} = |a_2|^2 = 4 \frac{\sin^2 \left[ \pi (E_2 - E_1) t / \hbar \right]}{(E_2 - E_1)^2} \left| \sum_k \frac{I_{2k} I_{k1}}{E_k - E_1} \right|^2, \quad (4)$$

where the summation is over all the intermediate states. The pre-factor in the above formula is sharply peaked around  $E_2 - E_1 = 0$ , so that the dominant contribution to the probability comes from near the resonance  $E_1 \sim E_2 = 0$ , obviously ensuring the conservation of energy. The subsequent calculations of the transition probability for the Compton process make explicit reference to both positive and negative energy states for the intermediate states and Majorana's final result (averaged over initial and summed over final electron spins and photon polarizations) reproduces the standard Klein-Nishina formula

$$P_{12} \propto \left( \frac{v_t}{v_s} + \frac{v_s}{v_t} - \sin^2 \theta \right). \quad (5)$$

### 3. Bound electron scattering

In the decade following the Compton discovery it became clear that X-ray photons interact with atomic electrons substantially in three different ways: 1) the photon may be coherently scattered and no change intervenes in the electron state; 2) the photon may be incoherently scattered by the electron, which undergoes a transition to a continuum state; 3) the photon may be incoherently scattered by the electron, which jumps to another bound state. As a consequence, for softer radiation the electron binding had to be taken into account and a relaxation of the basic assumptions behind the Klein-Nishina formula was required. Furthermore, it was detected that the probability of incoherent scattering is decreased at low scattering angles: the energy transfer to a bound atomic electron is suppressed unless the electron gains that amount of energy required for a transition to some available higher energy state. Conversely, the probability of coherent scattering is increased at low angles since, for increasing binding energy, the whole atom absorbs photon momentum, and the probability for coherent Rayleigh scattering increases. It was realized that, for extremely large binding, the Thomson scattering cross section is recovered.

The theoretical analysis of such effects started very early, but remained at a semi-quantitative stage, lacking a general Klein-Nishina like formula for scattering off bound electrons, which of course depends definitively on the given binding, i.e. on the particular atom considered. In 1927, by the use of non-relativistic quantum mechanics, Wentzel (1927) succeeded in obtaining a generalization of the Kramers-Heisenberg dispersion formula to low-energy X-rays and bound electrons (incoherent scattering), showing that the modified line for bound electron scattering is a small continuous spec-



tral distribution ascribed to scattering electrons whose initial state is a discrete (negative energy) level and whose final state is one of the continuum (positive energy) levels. Wentzel's dispersion formula was corrected, for some peculiarities of incoherent radiation, two years later by Waller and Hartree (1929), who performed a quantum mechanical calculation of the intensity of total (coherent plus incoherent) scattering of X-rays by atoms of a mono-atomic gas. The result was that the many-electron problem cannot be obtained as the sum of one-electron problems, since several transitions are forbidden by Pauli principle, some final states being not allowed by it. In the same influential paper of 1930 (Waller 1930) providing the first quantum derivation of the Klein-Nishina formula, Waller considered as well the scattering off bound electrons, but neglecting relativistic and spin effects, and without going further in particular calculations. The major general achievement came in 1934, when Bloch (1934) relaxed Wentzel's original assumptions for bound electrons, by describing the motion of the electrons in the atom by hydrogen wave-functions.

Majorana did not address all the open questions mentioned above (Esposito *et al.* 2008, p. 112) but, quite interestingly, he provided quantitative general results in particular cases, whose physical interpretation has revealed to be long lasting and particularly illuminating. In particular he dealt with the scattering of photons on a system of  $f$  bound electrons described by the collective wave-function  $\psi_a(\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_f)$  with energy  $E_a$  ( $a$  labels the corresponding state of the electronic system). He started with the computation of the matrix elements of the interaction Hamiltonian (see Eq. (3), third line) between states whose number of photons in a given mode  $s$  differs by one and adopted the long wavelength approximation for the incident radiation. The physical situation he considered was that with the same initial and final energy of the electron system; that is, if the system goes into an excited state, it re-emits exactly the excitation energy. Thus, two possible ways exist for the process to occur, corresponding to two different intermediate states: 1) resonant scattering case, with the intermediate state containing no photons; 2) non-resonant scattering case, with the intermediate state containing two photons.

Then, again by means of standard time-dependent perturbation theory, he got the following formula for the transition probability between the initial and the final state:

$$P_{12} = |a_2|^2 = 4 \frac{\sin^2 \left[ \pi (E_2 - E_1) t / \hbar \right]}{(E_2 - E_1)^2} \left| \sum_k \frac{I_{2k} I_{k1}}{E_k - E_1 + (\hbar / 4\pi i T)} \right|^2, \quad (6)$$

which generalizes Eq. (4) to the case of a non vanishing lifetime  $T$ . Also here the dominant contribution to the probability comes from near the resonance  $E_1 \sim E_2 = 0$ .

For some unknown reason, Majorana went on in his analysis by including the effect of a time-varying magnetic field on the bound electrons system. Such a problem was not in the agenda (at the time) for those experimenting on Compton scattering and, then, also for theoretical physicists, so that it is unlikely that Majorana was here stimulated by practical problems. Indeed, any appreciable influence of a magnetic field on the Compton process has some chance to manifest only for very strong magnetic fields,

such as – in the laboratory case, for sinusoidal fields – for laser-assisted scattering<sup>1</sup> or, rather, in astrophysical environments (Gonthier *et al.* 2000). Even for the simplest case of a constant magnetic field, the only indirect effect is through polarization effects on the electron system (Franz 1938) – that is the magnetic field interacts directly with the electrons, upon which the Compton scattering takes place – but, again, such phenomenon was considered only later and, in any case, was not the main concern of Majorana's calculations. Instead, Majorana's work seems to have some contact points with another paper of him (Majorana 1932), published some years later and related to a different experimental situation studied by his friend and colleague Segrè (Recami 2011; Esposito 2008; Esposito 2009), or even, alternatively, related to the Raman scattering studied, at the end of 1920's, by Amaldi, Segrè and Rasetti (Amaldi 1929).

#### 4. Conclusions

At the emergence of the quantum description of Nature, quite a relevant role – though not unique – was played by the Compton process for the direct detection of photons, i.e. the quanta of the electromagnetic field, as well as for the dynamical description of the effect, which called for a suitable theoretical prediction for the scattering cross section. The experimental validation of the Klein-Nishina formula revealed that quantum mechanics applied successfully also to this electron-photon scattering problem, but the theoretical problem remained of a fully quantum description of the phenomenon, whose solution was the first bench test of the quantum field theory applied to electrodynamics. Indeed, although the QED results obtained by Waller and Tamm just confirmed the semi-classical prediction of the Klein-Nishina formula, the change of perspective was not at all negligible: Compton scattering resulted to be mediated by electronic intermediate states relating the initial photon absorption process to the final re-emission of another photon by the intervening electron. Also, for the first time, the relevant role of negative energy Dirac states was proved in order to obtain physically meaningful results. Further precision effects revealed by experiments, including scattering off bound (rather than free) electrons, also called for a thorough theoretical description but, here, detailed quantitative predictions were generally obscured by mathematical (and physical) technicalities. In this scenario, quite intriguing emerge the unpublished contributions by Majorana, whose elegant and modern treatment of the basic scattering process reveals very clearly the key physical ideas behind the phenomenon under study. Indeed, if his derivation of the Klein-Nishina formula mathematically resulted just from a full quantum form of the Kramers-Heisenberg dispersion formula he derived, the limpid physical scheme he realized mimicked quite close the later Feynman diagrams approach, based on the existence of only two intermediate electronic states at leading approximation. Major achievements were obtained also for the problem of bound electron scattering, where Majorana was able (for the first time) to quantitatively describe the broadening of the Compton line, by introducing a finite mean life of the excited state of

---

<sup>1</sup> For a recent review see (Seipt, Kampf 2014) and references therein.

the electron system. He was probably led to such an approach by his own pioneering studies about quasi-stationary states in nuclear physics. Finally, and even more intriguing, Majorana unexpectedly studied also the scattering process by bound electrons when a non-vanishing time-varying magnetic field is applied to the system, this phenomenon being considered only in more recent times, when its relevance in some astrophysical environments and in laboratory laser-assisted scattering came out.

## References

- Amaldi E. (1929). “Sulla teoria quantistica dell’effetto Raman”. *Rendiconti dell’Accademia dei Lincei*, 9, pp. 876-881.
- Bloch F. (1934). “Contribution to the theory of the Compton-line”. *Physical Review*, 46, pp. 674-687.
- Compton A.H. (1961). “The scattering of X rays as particles”: *American Journal of Physics*, 29, pp. 817-820.
- Compton A.H. (1923). “A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements”. *Physical Review*, 21, pp. 483-502.
- Dirac P.A.M. (1926). “Relativity Quantum Mechanics with an Application to Compton Scattering”. *Proceedings of the Royal Society*, A111, pp. 405-423.
- Dirac P.A.M. (1927). “The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation”. *Proceedings of the Royal Society*, A114, pp. 243-265.
- Esposito S., Majorana E. Jr., van der Merwe A., Recami E. (2003). *Ettore Majorana - Notes on Theoretical Physics*. Dordrecht: Kluwer.
- Esposito S. (2008). *Annalen der Physik* (Leipzig), 17, pp. 302-318.
- Esposito S., Recami E., van der Merwe A., Battiston R. (2008). *Ettore Majorana - Unpublished Research Notes on Theoretical Physics*. Heidelberg: Springer.
- Esposito S. (2009). *La cattedra vacante - Ettore Majorana, ingegno e misteri*. Naples: Liguori.
- Franz W. (1938). “Die Streuung von Strahlung am magnetischen Elektron”. *Annalen der Physik (Berlin)*, 425, pp. 689-707.
- Gonthier P.L., Harding A.K., Baring M.G., Costello R.M., Mercer C.L. (2000). “Compton scattering in ultrastrong magnetic field: numerical and analytical behavior in the relativistic regime”. *Astrophysical Journal*, 540, pp. 907-930.
- Gordon W. (1926). “Der Comptoneffekt nach der Schrödingerschen Theorie”. *Zeitschrift für Physik*, 40, pp. 117-133.
- Heisenberg W., Pauli W. (1929). “Zur Quantendynamik der Wellenfelder”, *Zeitschrift für Physik*, 56, pp. 1-61.
- Klein O., Nishina Y. (1929). “Über die Streuung von Strahlung durch freie Elektronen nach der neuen relativistischen Quantendynamik von Dirac”. *Zeitschrift für Physik*, 52, pp. 853-868.
- Kramers H.A., Heisenberg W. (1925). “Über die Streuung von Strahlung durch Atome”. *Zeitschrift für Physik*, 31, pp. 681-708.

- Majorana E. (1932). "Atomi orientati in campo magnetico variabile". *Nuovo Cimento*, 9, pp. 43-50.
- Recami E. (2011). *Il Caso Majorana - Epistolario, Documenti, Testimonianze*. Rome: Di Renzo.
- Seipt D., Kampf B. (2014). "Laser-assisted Compton scattering of x-ray photons". *Physical Review*, A89, pp. 023433.
- Tamm I. (1930). "Über die Wechselwirkung der freien Elektronen mit der Strahlung nach der Diracschen Theorie des Elektrons und nach der Quantenelektrodynamik". *Zeitschrift für Physik*, 62, pp. 545-568.
- Waller I., Hartree D.R. (1929). "On the Intensity of Total Scattering of X-Rays". *Proceedings of the Royal Society*, A124, pp. 119-142.
- Waller I. (1930). "Die Streuung von Strahlung durch gebundene und freie Elektronen nach der Diracschen relativistischen Mechanik". *Zeitschrift für Physik*, 61, pp. 837-851.
- Wentzel G. (1927). "Zur Theorie des Comptoneffekts. II.". *Zeitschrift für Physik*, 43, pp. 779-787.

# Una nota sulla critica storica alle trasformazioni di Lorentz in relatività speciale

Pietro Di Mauro<sup>1</sup> - Liceo Scientifico Statale “E. Fermi”, Paternò (CT) -  
pietro.dimauro@istruzione.it

Angelo Pagano<sup>2</sup> - INFN & Dipartimento di Fisica e Astronomia  
dell’Università di Catania - angelo.pagano@ct.infn.it

*Abstract:* Lorentz transformation is widely used in modern relativistic physics in interpreting phenomena and predicting new experiments. In these fields, as commonly understood, this transformation establishes a linear correspondence between two four-dimensional space-time reference systems in relative (uniform) motion by connecting two set of coordinates that both correspond to the same physical event, so changing the classical notion of absolute time chronology. However, as firstly pointed out by C. Somigliana in Turin on 1922, since the early theoretical developments given by Voight on 1887, and well before the appearance of Einstein’s work on special relativity on 1905, Lorentz transformation has played a key note in describing Doppler effects of wave propagation in moving media. A critical analysis of foundation of Lorentz transformation in relativity is discussed with respect to the early Somigliana’s observation about Einstein’s relativity.

*Keywords:* Lorentz transformation, relativity

## 1. Introduzione

Le trasformazioni di Lorentz (LT) si trovano esaminando le proprietà invarianze di una tipica equazione d’onda di D’Alembert. Un esempio classico è dato dalla propagazione dell’onda elettromagnetica nel vuoto o in mezzi isotropi ed omogenei. Le stesse trasformazioni (LT) si trovano anche in acustica o nella teoria dell’elasticità e, comunque, in tutte le branche della fisica nelle quali il modello adottato per la descrizione del fenomeno conduce all’equazione d’onda classica. È evidente, dunque, come già osservato nel 1922 e nel 1923 da Carlo Somigliana, che le LT non sono una caratteristica peculiare della teoria della relatività. Esse trovano vaste applicazioni nella moderna teoria delle onde acustiche o, più in generale, in modelli newtoniani di propagazione di onde meccaniche (Morse, Ingard 1986, pp. 698-777). Sia l’effetto Doppler acustico che quello elettromagnetico, propriamente, si descrivono con la stessa trasformata che si

---

<sup>1</sup> Also at: INFN & Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’università di Catania; Associazione Culturale “Salvatore Notarigo” Mondotre – La Scuola Italiana.

<sup>2</sup> Also at: Associazione Culturale “Salvatore Notarigo” Mondotre – La Scuola Italiana; Accademia degli Zelanti e dei Dafnici di Acireale.

suole chiamare di Lorentz che, invece, dovrebbe chiamarsi di Voigt, dal nome dello studioso che per primo la stabilì nel 1887. La priorità del Voigt rispetto alla paternità delle trasformazioni di Lorentz è stata riconosciuta dal Pauli (Pauli 2008), nella sua presentazione della relatività di Einstein e da tanti altri importanti autori del passato.<sup>3</sup> Per questo, come già suggerito dal Somigliana, le trasformazioni in questione dovrebbero chiamarsi del Voigt-Lorentz. Una revisione dei libri di testo è auspicabile, non solo per questioni legate alla priorità, ma – e soprattutto – per indicare che le trasformazioni Lorentz si applicano a campi del sapere che sono molto diversi tra loro. Esse non sono, in contrasto a come generalmente percepite, caratteristiche particolari della teoria relatività speciale.

Nel paragrafo 2, accenneremo alla critica del Somigliana alle trasformazioni di Lorentz come interpretate in relatività speciale. Nel paragrafo 3 è discusso il ruolo della trasformazione di Lorentz sul concetto di contemporaneità tra eventi. Nel paragrafo 4, infine, vengono date alcune conclusioni.

## **2. La critica di Carlo Somigliana alle trasformazioni di Lorentz applicate alla relatività dei corpi in movimento.**

La critica del Somigliana all'usuale interpretazione relativistica delle LT parte dalla considerazione che questa trasformazione rappresenta il legame necessario (nel caso lineare) tra due insiemi di coordinate  $(x,y,z,t)$  e  $(x',y',z',t')$  rispetto alle quali, rispettivamente, è descritta la propagazione di onde vibranti di natura fisica anche diversa, purché tale propagazione venga descritta da un'equazione d'onda di D'Alembert per il vettore vibrante  $E$  (campo elettrico, magnetico, ampiezza acustica, elastica, ...). Tutte le proprietà matematiche che si deducono dall'equazione di D'Alembert sono valide sia in modelli meccanici di tipo newtoniano che in modelli elettromagnetici di tipo maxwelliano. Ciò è dimostrato dal fatto che già l'acustica fornisce un esempio importante di queste proprietà nella descrizione dell'effetto Doppler, come mostrato per la prima volta dal Voigt (1887). Purtroppo, il lavoro del Voigt era (e rimane) in pratica sconosciuto ai più (Heras 2014). Il Somigliana si chiede: qual è il significato della trasformazione di Lorentz nell'ordinaria meccanica newtoniana? La risposta che ne dà nel 1922 è semplice (Somigliana 1922):

Una questione di tal fatta è già stata risolta, molto tempo prima che si parlasse di relatività, in una memoria del Voigt del 1887 nella quale viene studiato il problema della propagazione delle onde provenienti da sorgenti che si muovono uniformemente in linea retta e vien data una dimostrazione del principio di Doppler. E lo strumento di cui l'autore si serve è appunto una trasformazione lineare, che si riduce subito a quella di Lorentz. Questa Memoria non è generalmente citata nei trattati

<sup>3</sup> La rivista «Scientia» dedicò la pubblicazione dell'anno 1923 alla raccolta d'importanti contributi di studiosi italiani ed europei che si schierarono pro o contro la relatività.

sulla relatività; vi si accenna incidentalmente nella *Relativitätstheorie* di Pauli, contenuta nella Enciclopedia delle Scienze matematiche (vol. V (2), fasc. 4°).

E, riprendendo la questione nel 1923, più esplicitamente così si esprime (Somigliana 1923):

Se si considerano due spazi  $S$  ed  $S'$  nei quali si propagano onde provenienti da certe sorgenti, fisse nell'uno e animate invece da moto uniforme nell'altro, la perturbazione che in un tempo  $t$  avviene in un punto  $P$  del primo spazio, si riproduce, in un certo tempo  $t'$ , in un certo punto  $P'$  del secondo. In linguaggio matematico ciò si può esprimere dicendo che è possibile stabilire una corrispondenza fra i punti-tempo dei due spazi in modo che nei punti corrispondenti le perturbazioni siano uguali, od abbiano una certa relazione tra loro.

Quindi, la trasformazione di Lorentz collega punti del fronte d'onda che nei due spazi si presentano con una ben definita differenza di fase. La stessa cosa si ha in elettromagnetismo con la propagazione della luce e nell'interpretazione dell'effetto Doppler. Ed ecco, allora, le conclusioni di Somigliana (1922):

È chiaro che tutte le proprietà che nella teoria della relatività sono risultanti dalla trasformazione lorentziana, sono generalmente suscettibili di una interpretazione, analoga alla precedente, di carattere nettamente newtoniano. E che per conseguenza qualunque eventuale verifica sperimentale di tali proprietà non potrà in via generale essere citata come decisiva a favore dell'una piuttosto che dell'altra interpretazione.

Conclusione di grande importanza soprattutto inserita nel contesto storico degli anni '20 e '30 del novecento che vide un aspro dibattito tra i sostenitori della teoria della relatività (3). Tuttavia, notiamo che Einstein non introduce la famosa trasformazione a partire dalle proprietà dell'equazione d'onda di D'Alembert, bensì dalla critica fondamentale del concetto di contemporaneità *assoluta* di Galileo-Newton. Le due derivazioni (classica e einsteiniana) sono concettualmente diverse. E, pertanto, pur riconoscendo il grande valore scientifico dell'analisi del Somigliana, notiamo che quest'ultimo aspetto, il più significativo nel lavoro di Einstein (a nostro avviso) non viene esplicitamente affrontato nel suo lavoro. È questo l'aspetto sul quale ci soffermiamo brevemente nel paragrafo seguente.

### 3. Sul concetto di contemporaneità

È noto che Einstein, nel suo famoso articolo del 1905 (Einstein 1905), ritrova le LT, apparentemente, in modo indipendente da modelli particolari (modello newtoniano o modello elettromagnetico), ma attingendo solo ai principi primi di omogeneità ed isotropia dello spazio e del tempo, assumendo una geometria euclidea per le lunghezze con l'aggiunta dell'importante postulato sulla invarianza del valore della velocità della luce rispetto a trasformazioni di coordinate tra due sistemi inerziali (o, come sarebbe meglio dire, assumendo l'indipendenza della velocità della luce dalla sorgente e dal

rivelatore). Le LT sono dedotte ricercando le coordinate corrispondenti a un evento, definito in un sistema *in quiete*, che venga descritto rispetto ad un sistema *in moto* relativo al primo. La trasformazione, svincolata così da particolari modelli, assume un ruolo fondamentale nell'interpretazione dei fatti sperimentali e, di fatto, diventa il fondamento della teoria della relatività speciale. Il punto che a noi pare essenziale nelle due diverse interpretazioni delle LT sta nel fatto che nel caso newtoniano (modello di propagazione di onde elastiche in mezzi isotropi e omogenei) la trasformazione fa corrispondere due *diversi eventi* fisici (descritti da coordinate relative a due osservatori che assumono il tempo come variabile assoluta). Mentre nel caso relativistico (einsteiniano) la corrispondenza presume di collegare le coordinate di uno *stesso evento* (che assume un significato assoluto) descritto da due set di coordinate (relative a due osservatori che procedono alla definizione di un tempo locale – non assoluto – attraverso una procedura di sincronizzazione di orologi solidali ai rispettivi assi di coordinate). Nel caso newtoniano il tempo scorre in modo assoluto – cioè indipendente dall'osservatore – e, pertanto, il parametro temporale è l'unico criterio di ordine degli eventi. Nel caso relativistico, un tempo assoluto non è definito e, pertanto, la corrispondenza tra i due insiemi di coordinate (relative a osservatori in moto relativo uniforme) seguirebbe dal postulato della indipendenza della velocità della luce dall'osservatore e dalla sincronizzazione di orologi in quiete nei rispettivi sistemi. È noto che Einstein assume un procedimento di sincronizzazione degli orologi, in un dato sistema di coordinate, con raggi di luce e definendo che il tempo di andata e ritorno del raggio che percorra lo spazio tra due rivelatori posti nelle vicinanze degli orologi da sincronizzare sia uguale. Questa sincronizzazione si assume priva di contraddizione e per quanti si vogliano orologi che siano in quiete nei rispettivi sistemi. Sincronizzati gli orologi rispetto a un dato sistema di coordinate non è possibile procedere ad un confronto tra i tempi di eventi relativi al sistema dato e quelli relativi ad un altro sistema di coordinate che sia animato di moto uniforme rispetto al primo, senza una qualche convenzione. Einstein (6) applicando la cinematica del moto uniforme a un raggio di luce che si fa propagare come un oggetto balistico e assumendo il postulato dell'indipendenza della velocità della luce dal moto dell'osservatore, deduce che eventi spazialmente distinti che sono contemporanei in un sistema di coordinate (considerato in quiete) non sono più contemporanei quando osservati dal sistema di coordinate in moto relativo rispetto al primo. E che quindi alla nozione di *contemporaneità tra due eventi* non può essere attribuito nessun significato assoluto. La dimostrazione di Einstein appare disarmante e non ha incontrato (a nostra conoscenza) obiezioni. Senza entrare nei dettagli di questa dimostrazione, notiamo che i semplici calcoli cinematici prodotti da Einstein richiedono (senza che ne sia data alcuna nota esplicativa) delle ipotesi nascoste per nulla innocenti. In primo luogo, la caratteristica ondulatoria della propagazione è del tutto trascurata nel procedimento di Einstein. Non vien fatto riferimento allo stato di quiete o di moto della sorgente che produce il raggio di luce. Né si fa riferimento allo stato di quiete o di moto dei rivelatori (o degli specchi riflettenti). Pertanto il procedimento di Einstein trascurando completamente la natura ondulatoria della luce e la natura fisica di sorgenti e rivelatori, evita del tutto l'effetto Doppler sulla variazione delle frequenze dell'onda rispetto ai moti relativi tra sorgente e rivelatore. Un tale procedimento puramente ci-



nematico obbliga a trascurare del tutto i processi fisici di rivelazione/emissione della luce da parte di rivelatori/sorgenti sensibili alla frequenza.

#### 4. Conclusioni

Abbiamo accennato alla critica del Somigliana sull'interpretazione della trasformazione di Lorentz in relatività speciale. Questa critica mostra la priorità storica del Voigt (1887) nell'introduzione della trasformazione di Lorentz nello studio dei fenomeni ondulatori – acustici ed elettromagnetici – in special modo per l'interpretazione dell'effetto Doppler. Il Somigliana, partendo da queste considerazioni, nega che dalle proprietà della trasformazione di Lorentz possa dedursi un'interpretazione in favore della relatività einsteiniana. Riteniamo che la conclusione cui perviene il Somigliana abbia una validità logico-sperimentale rilevante, alla quale non è stato dato il giusto riconoscimento. Ma il lavoro del Somigliana spinge ad altre considerazioni non contenute in modo esplicito nella sua critica. Riteniamo che l'aspetto più importante tra le due diverse interpretazioni delle LT, e cioè l'interpretazione newtoniana e interpretazione einsteiniana, consista nel fatto che la prima porta a considerare la corrispondenza stabilita dalla LT, come corrispondenza tra *eventi diversi*, mentre l'interpretazione einsteiniana stabilisce una corrispondenza tra coordinate relative allo *stesso evento*, con ciò azzerando la nozione di contemporaneità degli eventi come assunta nella fisica classica. Questa diversità d'interpretazione rende inconciliabile il punto di vista classico con quello relativistico anche nel limite estremo di valori della velocità di particelle trascurabili in rapporto alla velocità della luce. D'altra parte il procedimento di sincronizzazione di Einstein trascura completamente la natura ondulatoria della luce e con questa l'effetto Doppler sulle frequenze. A nostro avviso, una tale *idealizzazione* del processo è in contrasto con le proprietà fisiche delle sorgenti e dei rivelatori. Pertanto concludiamo con una importante osservazione di P.W. Bridgmann (1977, p. 163):

... Praticamente tutto il nostro pensiero intorno ai fenomeni ottici (propagazione della luce) si impernia su un modello, mediante il quale questi fenomeni vengono assimilati a quelli dell'esperienza meccanica ordinaria e così resi più accessibili all'esperienza... Dal punto di vista operativo è privo di senso l'attribuire una realtà fisica alla luce nello spazio intermedio tra sorgente e rivelatore e bisogna riconoscere che la luce come cosa che viaggia è soltanto un'invenzione... questa idea della luce è fondamentale in tutto lo svolgimento della relatività ristretta.

#### Bibliografia

- Bridgmann P.W. (1977). *La logica della fisica moderna*. Torino: Boringhieri.
- Einstein A. (1905). “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”. *Annalen der Physik*, 17, pp. 891-921.
- Heras R. (2014), *Voigt's transformations in the beginning of the relativistic era* [online]. URL: < <http://arxiv.org/abs/1411.2559> > [data di accesso: 01/04/2016].

- Morse P.M., Ingard K.U. (1986). *Theoretical Acoustics*. Princeton: Princeton University Press.
- Pauli W. (2008). *Teoria della relatività*. Torino: Boringhieri.
- Somigliana C. (1922). “Sulla trasformazione di Lorentz”. *Rendiconti dell’Accademia dei Lincei*, XXXI, pp. 471-472.
- Somigliana C. (1923). “I fondamenti della relatività”. *Scientia*, 17 (34), pp. 1-3.
- Voigt W. (1887). *Über das Doppler’sche Prinzip*. Göttingen: Nachrichten der Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.

# The three formulations of quantum mechanics founded on the alternative choices

Antonino Drago - University of Naples "Federico II" - drago@unina.it

*Abstract:* A previous paper obtained a classification of around dozen formulations of quantum mechanics according to the four choices on the two dichotomies constituting the foundations of science. The great majority of them correspond to the dominant choices, i.e. to the Newtonian choices. Only three formulations are recognised as linked to the alternative choices: Heisenberg-Born-Jordan's one, F. Jordan's recent one and Bub's one. These formulations are examined. No one is recognised as consistently formulated according to the alternative choices. As a conclusion, the formulation of quantum mechanics that is alternative to the dominant ones has still to be invented. An appendix gives reason of the general use of both analogies and the correspondence principle during the first period of the history of quanta; they constituted the sole resource for reasoning. Actually they belong to intuitionist logic.

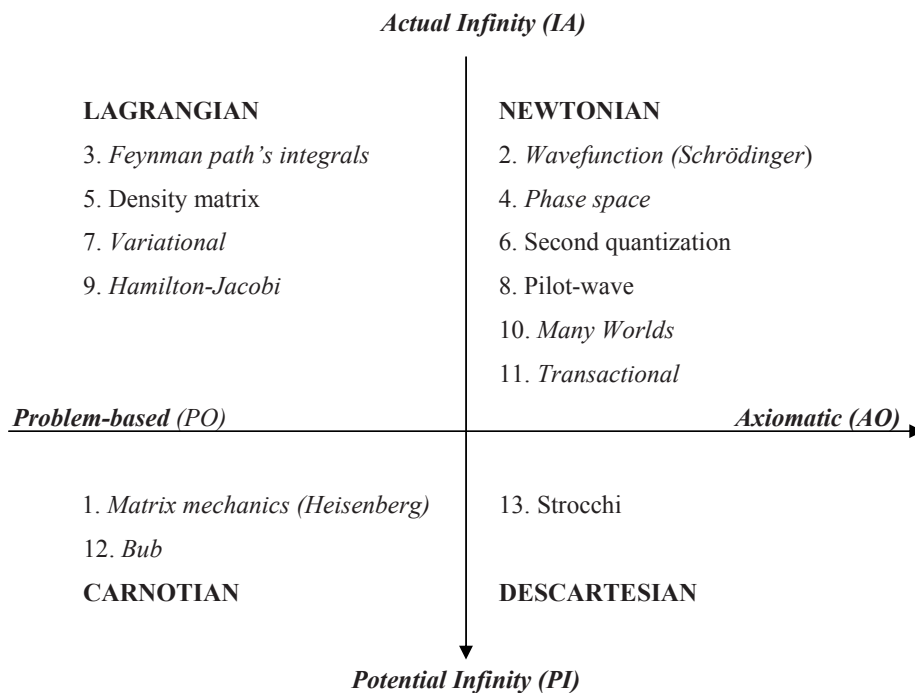
*Keywords:* Quantum mechanics, formulations, fundamental choices, alternative choices, Heisenberg, Born, Jordan, F. Jordan, Bub, analogies, correspondence principle, intuitionist logic

## 1. Introduction

In the literature around dozen formulations of quantum mechanics (QM) are known, their number being different according to what one means for "formulation". Previous my papers have suggested that the foundations of a scientific theory are constituted by two dichotomies; one on the kind of infinity, either the actual one (AI) or the potential one (PI); another on the kind of a theory organization, either one deducing logical consequences from certain axioms (AO), or one looking for a new method capable to solve a crucial problem (PO), or, equivalently, either an organization using the classical logic or the intuitionist logic (Drago 1990).

A detailed and long analysis is usually required for arriving to decide which are the basic choices of a physical theory (recall how difficult was to decide the basic notions and choices of Newtonian mechanics). However, already some scholars have suggested categories capable to class the variety of QM formulations. In a previous paper (Drago 2014), these categories have been compared to the two basic dichotomies. This comparison allows to roughly characterize the two basic choices of each QM formulation. The result is represented by the following wind rose graph (where each of the names –

Lagrangian, Newtonian, Carnotian and Cartesian – characterizes a pair of choices on which of the more celebrated theory by each of these physicists was founded).



**Fig. 1.** Different formulations of Quantum Mechanics. In Italics the formulations to which the attribution of the two choices is more certain

Let us remark that, out of the represented 13 formulations, the great majority of them (10) belong to the two higher quadrants. This means that almost all the formulations choose an idealistic mathematics (AI); their authors seem to ignore any alternative in mathematics. Rather, they choose between the Newtonian model and the Lagrangian model – actually between AO and PO – only for technical reason of higher theoretical efficiency.

The majority of these 10 formulations (6) belong to the Newtonian model. This fact means that the revolutionary step of the 20<sup>th</sup> Century – to have overcome Newton's mechanics – did not led the QM theorists to abandon its model; in particular, the usual formulation 2 of QM agrees with the Newtonian model.

Only one formulation belongs to the lower right quadrant, and three formulations to the other lower quadrant. In sum, this distribution shows that the dominant formulations of QM represent a backwards theoretical attitude, and moreover that they as a whole insufficiently represent the essential pluralism of theoretical physics.

In the lower left quadrant are located three formulations sharing, *grosso modo*, the same two fundamental choices, which are the alternative choices to the dominant ones: the constructive mathematics, instead of the classical one; and the problem-based organization, instead of the deductive one; or, equivalently, the use of the intuitionist logic instead of the classical logic. In the following these formulations will be analysed in order to verify how much their theoretical developments are consistent with their two basic choices.

An appendix gives reason of the use of mainly analogies and the correspondence principle during the first period of the history of quanta; they were the sole resource for reasoning; actually they belong to intuitionist logic.

## 2. Heisenberg's Matrix Mechanics

In the history of QM Heisenberg-Born-Jordan's Matrix Mechanics, (van der Waerden 1968, pp. 261-415) was the first formulation. The original idea was suggested by Heisenberg, and then developed by Born and Jordan by means of the matrix formalism.

The basic assumption of Heisenberg's formulation is to rely on the observable magnitudes only, hence to conform the theory to an operative attitude; in philosophical terms, this requirement equates the constructivity of the mathematics. In fact, the subsequent Born and Jordan's choice was the mathematics of discrete matrices, i.e. mathematical objects based on PI, and presumably manipulated in agreement with constructive mathematics. However an undecidable problem may arise in the case of multiple solutions of the eigenvalue problem of a matrix equation, unless more properties allow splitting them (Aberth 1971). An analysis has to be performed about the occurrence of this problem in matrix mechanics.

Surely, the kind of the organization is a PO for several reasons. The formulation is developed in order to solve a problem, i.e. the great problem of describing quantum reality. As a fact, the principle of indeterminacy – of course a limitation principle – plays a basic role. Heisenberg's paper lucidly states a different, but equivalent problem:

The question therefore arises whether, through a more precise analysis of these kinematic and mechanical concepts, it may be possible to clear up the contradictions evident up to now in the physical interpretations of quantum mechanics and to arrive at a physical understanding of the quantum-mechanical formula (Heisenberg 1927, p. 63).

He made use of doubly negated propositions of non-classical logic, as for instance in the first period of the celebrated 1927 paper.

We believe we understand the physical content of a theory when we can see its qualitative experimental consequences in all simple cases and when at the same time we have checked that the application of the theory never contains contradiction. (Heisenberg 1927, p. 62) (here and in the following emphasis is added in or-

der to make apparent the two negative words of a doubly negated proposition) (Heisenberg 1927, p. 63).

In the first part of the same paper some more doubly negated statements are easily recognized; yet they do not play crucial roles in the development of the paper. The author reasons by means of non-classical logic – i.e. an *ad absurdum* argument – also when requiring the observability:

... one must specify definite experiments with whose help one plans to measure the “position of the electron”, otherwise this word has no meaning (Heisenberg 1927, p. 64).

More important is the fact that the entire development is aimed to obtain an *analogy* with the classical description:

All concepts which can be used in classical theory for a description of a mechanical system can also be defined exactly for atomic processes in analogy to classical concepts (Heisenberg 1927, p. 68).

This kind of organization, a PO, was confirmed by subsequent Born and Jordan’s papers.

In sum, both choices of Heisenberg formulation appear to be the alternative ones. Heisenberg was aware of the distance of his theoretical framework from the classical one, whose reference formulation was Newton’s theory. In the introduction of his 1927 paper he underlines that in the change from the classical to the new framework some magnitudes undergo radical variations in meaning or even in the existence. Yet, he did not explicitly name Newton; worst, he founds QM on the magnitudes defining a state in the classical Newtonian framework, i.e. the position and then the velocity. Hence, his formulation is not consistently founded on the alternative couple of choices.

Rather, the subsequent Bohr-Jordan’s paper made use of more adequate variables, i.e. the generalized  $p$ ,  $q$  and the Hamiltonian function, which is essentially the energy of the system, i.e. the basic magnitude of the Carnotian theories. No surprise if a comparative analysis of the two papers gave very different basic assumptions. (Fedak, Prentis 2009, pp. 135-136).

However, Beller stressed that the original program remained incomplete: “Born and Heisenberg abandoned their original program” (Beller 1983, p. 475). Hence no definite formulation was achieved.

At present, after Born’s introduction of the state function, the matrix mechanics is considered as a picture, precisely that picture in which the operators (observables and others) incorporate a dependence on time, but the state vectors are time independent, i.e. an arbitrary fixed basis rigidly underlying the theory. It represents an opposition of a complementary kind, to Schrödinger’s picture, in which the operators are constant and the state evolves in time. All that corresponds to the difference between the active and the passive transformations. The Heisenberg picture is the formulation of matrix mechanics in an arbitrary basis, in which the Hamiltonian is not necessarily diagonal. But this correspondence with Schrödinger equation depends from the Stone-von Neu-

mann theorem about the limiting space of functions; at glance, this limit appears a non constructive one. Hence this formulation appears to be unconcluded.

### 3. The re-formulation of matrix mechanics by T.F. Jordan

Thomas Jordan attempted to reformulate in a radically simpler way the previous formulation. His basic idea was to simplify the basic notion of this formulation, i.e. the matrix, which, by requiring cumbersome calculations, was antipathetic to the theoretical physicists. By exploiting the fact that at present the spin is a common notion and moreover its matrices (i.e. Pauli matrices) are usual, Jordan starts from these notions for illustrating the basic of his formulation, i.e. the notion of probability, the basic rules of the spin and magnetic moment and other quantities, the measurement process, the uncertainty relation. With this machinery, not so much difficult, he can present the applications of QM to a series of cases: quantized oscillator, Bohr's model of atom, hydrogen atom, small rotations and even changes in location, time and velocity. This list is overlapping with the list of successful cases of the original theory; see Beller (1983, p. 487).

The structure of the formulation, entirely devoted to some applications, is the alternative one, i.e. a PO. In fact, its basic problem is clearly how overcome the indeterminacy relation, to which the author gives emphasis both in its historical origin and in its theoretical role. Moreover, Jordan exploits the Hamiltonian, in which the commutation rules correspond to the commutators in the classical framework. In such a way, he can tackle by means of a simple theoretical procedure a series of important applications without calculus, so that this formulation can be presented to even high schools students. Hence, it is obvious that Jordan's mathematics is the constructive one (PI).

Yet, this formulation meets three basic criticisms. In the case the variables are continuous, the applications of his formalism are bounded to intervals of these variables. The finite operators cannot achieve, by a limit process, the continuum. This point was underlined by a reviewer (Jagannatan 1986). Second, since the theoretical apparatus is so centred on the simplification of the matrix formalism, the theoretical development, requiring of course more than the simpler matrices, is disregarded and a complete theoretical framework is missed. Third, he does not make use of doubly negated propositions.

### 4. Bub's informational quantum mechanics

This author claimed that his formulation is organized as a "principle theory" (in Einstein's sense). Beyond this analogy, one can show (Drago 2014) that its choice is the PO for three reasons. It is based on a problem, the quantum measurement. Its principles are methodological principles and are expressed as doubly negated propositions, i.e. they belong to the intuitionist logic. His principle (iii) is proved by an *ad absurdum* theorem. Moreover, it appears to be bounded to use the constructive mathematics (PI) for two reasons. Its mathematics, being related to information theory, is constructive. In

addition, it is located in a  $C^*$  algebra with bounded operators; this boundedness assures the constructivity (Pour-El & Richards 1989).

However, also this formulation meets a radical criticism. Being the information a non-physical magnitude, the entire formulation may be considered an artful.

## 5. Conclusion

The previous analysis of the three formulations of QM relying upon the alternative couple of basic choices shows that no one of them is consistently based on this couple (the case of matrix mechanics) or is completely developed (the case of Jordan formulation) or is free of a basic criticism to be an artful (the case of Bub formulation). Hence an alternative formulation of QM has to be still suggested. The basic choices suggest the foundations, but its theoretical development has to be still invented.

### Appendix: The analogical reasoning and the correspondence principle as evidence for a reasoning in intuitionist logic

The analogy suggested by Heisenberg deserves attention. Heisenberg's 1927 paper at its beginnings underlines the radical variations in meaning of the basic notions, a variation so much radical to make insecure any traditional notion. Hence, there is no more sure propositions to be analytically investigated, and hence no more deductive path of arguing. Moreover, theoretical physicists had to tackle an at all unknown microscopic world, where the new phenomena and new concepts were so surprising that both the traditional intuition and the traditional conceptual framework could no more preserve as absurd the classical absurd facts. Hence, also a basic argument belonging to the context of the discovery was missed, the *ad absurdum* argument.

In the time of the beginnings of QM, the only way of reasoning in a PO theory remained to produce analogies, those more closely as possible to both known facts and classical physics. Notice that an analogy is a doubly negated proposition: "It is not true that it is not the case...". Hence, unwarily quantum theorists reasoned in intuitionist logic. Hence, theoretical physicists had to reason not only through new concepts, but, very much more importantly, *inside a truncated logic; which, even worse, was the unknown intuitionist logic.*

In his celebrated 1905 paper on quanta first Einstein put an analogy – between a particles gas and a quanta gas – as the aim of his theory.<sup>1</sup> Then was Bohr's analogy of

---

<sup>1</sup> The crucial roles played by the analogy and the correspondence principle in the beginning period of QM was underlined by a book (Darrigol 1992). He accurately studies three cases: i) Planck radiation theory; 2) Bohr atom and Heisenberg matrix mechanics; iii) Dirac quantum mechanics. He qualified Planck's case as "not a quantum discontinuity" and hence, in my opinion, it is improperly included in the list. Rather he dismissed Einstein's paper, which properly the first paper on quantum mechanics and was based on an analogy (Drago 2014).



the atom as a solar system, which played a decisive role, notwithstanding it is incorrect with respect to the indeterminacy principle. In 1924 De Broglie was addressed by an analogy to state that “material particles in motion behave as waves and wavelength associated with material particle is given by  $\lambda = h/mv$ ”. Matrix mechanics was constructed by an analogy that it had to be “as close to the mechanics of classical theories as could reasonably be hoped” (Heisenberg *et al.* 1926, p. 322). Even Schrödinger’s equation was suggested by an analogy with the classical differential equation of the mathematical Physics; so much that for a long time he tried to characterize in material terms the current described by this equation.

The basic fact was illustrated by Jammer:

Despite its high-sounding name and its successful solutions of numerous problems in atomic physics, quantum theory, and especially the quantum theory of polyelectronic systems, prior of 1925, was, from the methodological point of view, a lamentable hodgepodge of hypotheses, principles, theorems and computational recipes rather than a logical consistent theory. Every single quantum theoretic problem had to be solved first in terms of classical physics; its classical solution had then to pass through the mysterious sieve of the quantum conditions or, as it happened in the majority of cases, the classical solution had to be translated into the language of quanta in conformance with the correspondence principle. Usually, the process of find “the correct solution” was a matter of skilful guessing and intuition rather than of deductive and systematic reasoning. In fact quantum theory became the subject of a special craftsmanship or even artistic technique, which was cultivated at the highest possible degree of perfection in Göttingen and Copenhagen. In short, quantum theory still lacked two essential characteristics of a full-fledged scientific theory, conceptual autonomy and logical consistency...

This discrepancy [between orbital frequencies of a atom and classical frequencies] was smoothed over by Bohr’s heuristically invaluable principle of correspondence (Jammer 1966).

In 1913 this general practice was promoted by Bohr to a basic principle, i.e. the *correspondence principle*. A historian of physics summarizes what the important historian Max Jammer wrote about it (Bokulich 2010):<sup>2</sup>

“[T]here was rarely in the history of physics a comprehensive theory which owed so much to one principle as quantum mechanics owed to Bohr’s correspondence principle” (Jammer 1966, p. 118). The correspondence principle not only played a pivotal role in the discovery of quantum mechanics but was also the cornerstone of Bohr’s philosophical interpretation of quantum mechanics, being closely tied to his better known thesis of complementarity and to the Copenhagen interpretation...

---

<sup>2</sup> In this paper the history, the historical interpretations and the present interpretations of the correspondence principle are listed and illustrated.

According to Jammer, the correspondence principle, interpreted as the frequency relation, applies by fiat to all quantum numbers and hence obtains the status of a “principle,” even though it is an “approximate” relation that is only exact for large quantum numbers.

Jammer is rather dismissive of Bohr’s claim that the correspondence principle should be thought of as a law of quantum theory. He writes,

For taking resort to classical physics in order to establish quantum-theoretic predictions, or in other words, constructing a theory whose corroboration depends on premises which conflict with the substance of the theory, is of course a serious inconsistency from the logical point of view. Being fully aware of this difficulty, Bohr attempted repeatedly to show that “the correspondence principle must be regarded purely as a law of the quantum theory”. (Jammer 1966, p. 116)

On Jammer’s view, Bohr’s claim that the correspondence principle is a law is simply an attempt to cover up the inconsistent foundations of the old quantum theory. In opposition to Bohr’s claim that quantum theory is a rational generalization of classical mechanics, Jammer interprets Bohr as viewing quantum and classical mechanics as irreconcilable, and hence interprets the correspondence principle as only a “formal analogy of heuristic value.” At the end of his discussion of the correspondence principle, Jammer concludes “his [Bohr’s] numerous and often somewhat conflicting statements, made from 1920 to 1961, on the essence of the correspondence principle make it difficult, if not impossible, to ascribe to Bohr a clear-cut unvarying conception of the principle” (Jammer 1966, p. 117).

I conclude that the analogy was the basic way of rationally arguing of quantum theoretical physicists before the achievement of the final formulation of QM. Surprisingly, never a similar collective theoretical behaviour occurred in the previous history of physics – not even in the special relativity –, and, even more surprisingly, its logical causes have been ignored, as well as its belonging to intuitionist logic.

## References

- Aberth O. (1971). “The concept of effective method applied to computational problems of linear algebra”. *Journal of Computer and System Sciences*, 5, pp. 17-25.
- Beller M. (1983). “Matrix Theory before Schrödinger. Philosophy, Problems, Consequences”. *ISIS*, 74, pp. 469-491.
- Bokulich A. (2010). *Bohr’s Correspondence Principle*, in Zalta E.N. (ed.). *Stanford Encyclopaedia of Philosophy*. Stanford: Stanford University.
- Bub J. (2005). “Quantum Mechanics is About Quantum Information”. *Foundations of Physics*, 35, pp. 54-560.
- Darrigol O. (1992). *From c-number to q-numbers. The classical analogy in the history of Quantum Mechanics*. Berkeley: University of California Press.
- Drago A. (1990). “I quattro modelli della realtà fisica”. *Epistemologia*, 13, pp. 303-324.

- Drago A. (2013). *The emergence of two options from Einstein's first paper on quanta*, in Pisano R., Capecchi D., Lukesova A. (eds.). *Physics, Astronomy and Engineering. Critical Problems in the History of Science and Society*. Siauliai: Scientia Socialis.
- Drago A. (2014). *A dozen formulations of quantum mechanics: a mutual comparison and the search for a new formulation as a 'principle theory'*, in *Atti del XXXIV Congresso Sisfa* (Firenze 10-13 settembre 2014). To appear.
- Fedak W.A. and Prentis J.J. (2009). "The 1925 Born and Jordan's paper on quantum mechanics". *American Journal of Physics*, 77, 128-139, pp. 135-136.
- Hanson N. (1961). *Are Wave Mechanics and Matrix Mechanics Equivalent Theories?*, in Feigl, H. and Maxwell G. (eds.). *Current Issues in the Philosophy of Science*. New York: Holt, Reinhart and Winston.
- Heisenberg W. (1927). "Ueber den anschaulichen Inhalt den Quantentheoretischen Kinematik und Mechanik". *Zeitschrift fur Physik*, 43, pp. 172-198. English translation in (van der Waerden 1968, pp. 62-84).
- Heisenberg W., Born M., Jordan F. (1926). "On Quantum Mechanics II". *Zeitschrift fur Physik*, 35, pp. 557-615. English translation in (van der Waerden 1968, pp. 221-285).
- Jagannathan K. (1986). "Review of (Jordan 1985)". *American Journal of Physics*, 54, pp. 1154-1155.
- Jammer M. (1966). *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill.
- Jordan T.F. (1985). *Quantum Mechanics in Simple Matrix Form*. New York: Wiley & Sons.
- Pour-El M.B., Richards J.I. (1989). *Computability in Analysis and Physics*. Berlin: Springer.
- van der Waerden B.L. (1968). *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover.



# **Il centenario della pubblicazione di *La formazione dei continenti e degli oceani* e le ricerche di Alfred Wegener durante la Prima Guerra Mondiale**

Laura Franchini - AIF Napoli 1 & Associazione Amici di Città della Scienza -  
franchinila@libero.it

*Abstract:* In 1915 Alfred Wegener used the time of a long convalescence caused by a shot in his neck to revise and extend his evidence for the theory of continental drift, which appeared that year as a book entitled *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (The origin of the Continents and the Oceans). He spent the rest of the war in the army weather service on the Eastern Front, where he studied tornados, investigated the impact of a very large meteor, and wrote a truly wartime paper: "On the Formation of Hoar frost on Horse Corpses". The post war book *Die Entstehung der Mondkrater*, published in 1919, was an investigation about the origin of the moon craters. Like several million other veterans of the 1914-18 war, he was an expert on the impact craters. Today Wegener is the name of an impact moon crater.

*Keywords:* Wegener, Continental drift, Craters

## **1. Introduzione**

Il 2015 ha visto in tutto il mondo lo svolgersi di celebrazioni di un centenario importante, cioè la prima pubblicazione da parte di Einstein della sua teoria della relatività generale. Accanto a questo conviene anche ricordarne un altro ugualmente significativo per gli studiosi di scienze naturali, ovvero la pubblicazione del volume di Alfred Wegener *La formazione dei continenti e degli oceani*, in cui egli sviluppava la teoria della deriva dei continenti. Quella teoria avrebbe rivoluzionato le interpretazioni correnti sul passato geologico della Terra e sulla sua evoluzione, al punto che alcuni storici videro in Wegener il Copernico della geologia. Ma, nonostante l'importanza e l'interesse che ebbe l'intuizione di Wegener sulla deriva dei continenti, lo scienziato per almeno 40 anni dopo la sua morte è stato citato solo per altri suoi contributi scientifici. La teoria del *continental drift* era stata formulata in momento storico che non era pronto ad accettarla, per la mancanza di evidenze sperimentali, per cui ottenne il meritato consenso solo tra il 1954 e 1960 grazie ai risultati di test in diversi continenti sulla ricerca dei poli paleomagnetici dell'età Permo-Carbonifera, Mesozoica e Cenozoica ed alle esplorazioni del fondo oceanico.

## 2. Wegener astronomo, meteorologo ed esploratore

Wegener fu l'esempio vivente di scienziato e naturalista a tutto tondo, una visione che si era costruito lavorando nel campo dell'astronomia, geologia, paleontologia, meteorologia ed oceanografia. La sua vita scientifica iniziò nell'osservatorio astronomico di Berlino dove nel 1905 conseguì il Ph.D. in astronomia computazionale. Subito dopo decise di lasciare questi studi perché era convinto che per dare contributi nuovi ed originali all'astronomia era necessario possedere «talento matematico, carattere stanziale, ed una costosa attrezzatura» ed egli non aveva nessuno di questi requisiti. Così cominciò a collaborare con il fratello Kurt, meteorologo ed aeronomo presso l'Osservatorio Aeronautico Prussiano. Iniziò così lo studio della Meteorologia, una scienza che a quell'epoca era in pieno sviluppo. Per raccogliere dati si usavano aquiloni e si facevano spesso delle ascensioni in pallone: i due fratelli erano diventati così bravi in questo sport, che nel 1906 riuscirono a battere il record mondiale per un'ascensione durata 52 ore. Finalmente il giovane Wegener riusciva a svolgere attività più dinamiche ed adatte al suo carattere, per cui fu ben contento di accettare la proposta di partecipare come meteorologo ad una spedizione danese, "Danmark", nel nord-est della Groenlandia. Un continente, questo, da secoli meta di esplorazioni, che sembrava conservare le risposte a numerosi enigmi relativi all'evoluzione geologica e alle trasformazioni climatiche del nostro pianeta. Wegener trascorse in Groenlandia due anni durante i quali installò una stazione meteorologica, misuratori aerei e diversi palloni aerostatici per l'osservazione del clima artico, raccogliendo una gran quantità di dati sulle sue osservazioni meteorologiche, che dopo quella spedizione negli anni dal 1908 al 1911 pubblicò in circa 40 lavori e che in seguito furono raccolti nel volume *Termodinamica dell'atmosfera*. Intanto il giovane Wegener era diventato professore di Meteorologia a Magdeburgo, dove sviluppò una intensa collaborazione scientifica con il grande Wladimir Köppen, oggi famoso per la sua classificazione dei climi, e la figlia Else, la sua futura moglie, che lo aiutava nelle traduzioni dei articoli scientifici anche dal polacco, che ella parlava fluentemente.

La teoria del *continental drift* fu esposta da Wegener pubblicamente per la prima volta il 6 gennaio del 1912 a Francoforte all'Associazione geologica durante una conferenza dal titolo "La formazione dei continenti e degli oceani in base alla geofisica". L'idea che la configurazione attuale dei continenti derivasse dalla frantumazione di un blocco continentale, Pangea, in parti che continuano lentamente ad allontanarsi, sembra gli fosse venuta notando su un planisfero, avuto in dono per il Natale del 1910, gli straordinari incastri che ci sarebbero tra il nord America e la concavità del golfo di Guinea o tra la penisola Arabica ed il nord Africa. Egli sosteneva che molte interpretazioni geologiche sarebbero state semplificate dalla conferma di questa sua ipotesi, alla quale però non fu dato molto credito, anche perché a quell'epoca Wegener era più noto come meteorologo che come geologo. Dal 1912 al 1913 Wegener partecipò ad un'altra spedizione in Groenlandia, dove insieme al danese Johan Peter Koch (1870-1928) portò a termine la più lunga traversata a piedi della calotta polare groenlandese. Anche allora raccolse molti dati meteorologici e fece osservazioni geodetiche sul possibile slittamento della Groenlandia verso ovest, una delle possibili prove sperimentali del *continental drift*.

A quel tempo Wegener era ormai divenuto famoso grazie al *Thermodinamik der Atmosphäre*, libro che nasceva dalla raccolta delle sue lezioni di meteorologia, piuttosto che per la sua originale ma controversa ipotesi sullo spostamento dei continenti.

### 3. La produzione scientifica di Wegener durante la Prima Guerra Mondiale

Intanto era iniziata la prima guerra mondiale, Wegener si arruolò, andò al fronte e fu ferito per ben due volte, la seconda volta al collo e più gravemente. Durante una lunga convalescenza a causa delle ferite riportate, nel 1915 decise di pubblicare la sua teoria sulla deriva dei continenti in un volume nella collezione Viegand dal titolo *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, ovvero *La formazione dei continenti e degli oceani*. Durante il resto della guerra gli fu assegnato il servizio meteorologico del Fronte Est dove ebbe la possibilità di studiare i tornado e gli impatti dei grandi meteoriti. In quel periodo scrisse anche il trattato *On the formation of Hoar frost on horse Corpse*: uno studio sulla formazione di cristalli di ghiaccio a forma di aghi (brina), che si formavano sulle carcasse dei cavalli a temperature inferiori al punto di gelo. Le esperienze vissute negli anni trascorsi al fronte furono significative anche per la pubblicazione nel 1919 del saggio *Die Entstehung der Mondkrater*, ovvero *L'origine dei crateri lunari* nel quale Wegener confronta le diverse teorie sull'origine dei crateri lunari e dimostra che i crateri lunari sono stati provocati dall'impatto di meteoriti. Come molti veterani della prima guerra mondiale era particolarmente allenato a riconoscere le caratteristiche dei crateri generati da un impatto, che sono ben diversi da quelli provocati da una eruzione vulcanica. Le sue osservazioni sulla Luna erano anche connesse all'interesse per l'evidenza sperimentale della teoria geologica del *continental drift*: uno dei metodi, che avrebbero permesso la verifica dello spostamento dei continenti, era misurare le variazioni delle posizioni apparenti della Luna rispetto alle stelle fisse.

### 4. Il dopoguerra e l'ultima spedizione in Groenlandia

Dopo la guerra, grazie a Köppen, Wegener fu assunto presso l'Osservatorio Meteorologico di Amburgo. La fondazione dell'Università di Amburgo contribuì alla formazione della sua carriera. Seguirono anni di intensa produzione scientifica. Intanto anche Köppen, dopo essere andato in pensione, cominciò ad occuparsi dell'evidenza sperimentale del *continental drift*: su questo argomento nel 1924 Köppen e Wegener pubblicarono insieme un autorevole lavoro. Una delle critiche al lavoro di Wegener era che aveva utilizzato, per le conferme sperimentali, dati vecchi rilevati durante le osservazioni in pallone. Furono perciò fatte successive edizioni aggiornate de "La formazione dei continenti e degli oceani", una nel 1920, e la terza edizione, del 1922, tradotta in 5 lingue, diventò un veicolo per la sua notorietà. L'interesse per la sua teoria e i lavori sul paleoclima gli valsero la cattedra all'Università di Graz. La sua ipotesi geologica era molto controversa e discussa, tanto è vero che nel 1926 l'Associazione Americana dei Geologi del petrolio organizzò a New York un convegno su questo tema, ma Wegener non

intervenne per non esporsi ad altre eventuali critiche, che avrebbero riguardato il ritardo nelle risposte alle posizioni prese nella I e II edizione del libro e poi abbandonate nella III. Egli intanto aveva iniziato una nuova revisione alla luce di nuove pubblicazioni sull'argomento, ma preferì che fosse suo fratello Kurt (1878-1964) a completarla. Nel 1927 gli fu proposto di dirigere una spedizione tedesca in Groenlandia. Accettò ben contento di allontanarsi dal mondo accademico e seguire, ancora una volta, la sua natura di esploratore. Fece una spedizione preliminare nel 1929 e poi l'anno successivo ripartì definitivamente per questa difficile spedizione dalla quale non fece mai ritorno. Fu ritrovato seppellito nel ghiaccio chiuso nel suo sacco a pelo, con gli sci che marcavano la fossa. La moglie non volle che il corpo fosse riportato nel suo paese.

### 5. Spunti per la didattica

Leggere come i grandi scienziati raccontano la scienza è una delle esperienze più ricche che si possano proporre agli allievi. Gli scritti di Wegener sono particolarmente adatti a questo scopo, dal momento che egli esprime le sue idee e giustifica le argomentazioni sempre in una maniera molto intuitiva e di facile comprensione anche per i non addetti ai lavori. La lettura di alcune parti del *The origin of lunar craters*, tradotto dal tedesco, sarebbe in linea con le attuali normative scolastiche sull'insegnamento in inglese delle discipline scientifiche, ed offrirebbe uno spunto interdisciplinare. Particolarmente interessanti sono le pp. 216-218 del saggio, dove viene fatto un confronto tra i crateri terrestri e quelli lunari: i primi hanno diametri al massimo di 18 Km e, se hanno picchi, come il Vesuvio, sono sempre più alti rispetto alla base, invece i crateri lunari possono essere estesi per centinaia di chilometri ed i loro picchi, se ci sono, si trovano più in basso rispetto all'edificio del cratere. In laboratorio si potrebbero riproporre agli allievi gli esperimenti che Wegener fece con la polvere di cemento, per studiare le caratteristiche dei crateri lunari. Lanciando cucchiaiate di polvere in una scatola riempita dalla stessa polvere, egli otteneva delle forme simili ai crateri lunari, le cui dimensioni dipendevano dallo spessore della base. Quella polvere era stata scelta a causa del suo basso grado di coesione, che permetteva ai detriti, nell'impatto, di risalire al centro del cratere, formando un picco, come quando una goccia, cadendo sul suo liquido, lo fa innalzare intorno al punto di impatto. Oggi il cratere della Luna 5015 h3 porta il nome di Wegener.

### Bibliografia

- Accordi B., Lupia Palmieri E. (1991). *Il globo terrestre e la sua evoluzione*. Bologna: Zanichelli.
- Greene M.T. (1984). "Alfred Wegener". *Social Research*, 51, pp. 739-761.
- Hess H.H. (1962). *History of Ocean Basins*, in *Petrological Studies - Buddington Memorial Volume*. New York: Geological Society of America, pp. 599-662.
- Hoffman P. (2012). "The tooth of time: Alfred Wegener". *Journal of the Geological Association of Canada*, 39, pp. 102-137.



- Koerberl C. (2001). “Craters on the moon from Galileo to Wegener”. *Earth, Moon and Planets*, 85-86, pp. 209-224.
- Lake P. (1923). “Wegener’s Hypothesis of Continental Drift”. *The Geographical Journal*, 61, pp. 179-187.
- Platt J. (1922). “The displacement of continents. The Wegener Theory”. *The Geographical Teacher*, 11, pp. 367-369.
- Wegener A. (1942). *La formazione dei continenti e degli oceani*. Torino: Einaudi.
- Wegener A. (1975). “The origin of lunar craters”. *The Moon*, 14, pp. 211-236.

### Sitografia

- [Biography of Harry Hess] URL: <[www.pbs.org/wgbh/aso/databank/entries/bohess.html](http://www.pbs.org/wgbh/aso/databank/entries/bohess.html)> [data di accesso: 01/04/2016].
- [Umbria Musei] URL: <[http://www.regione.umbria.it/cridea/ambiente@scuola/suo\\_sel/morf.htm](http://www.regione.umbria.it/cridea/ambiente@scuola/suo_sel/morf.htm)> [data di accesso: 01/04/2016].



# The neutron before the neutron: Pontremoli's compound models

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

*Abstract:* Rutherford's 1920 Bakerian Lecture was the first attempt to advance the existence of the neutron as a proton-electron compound structure, similar to but much smaller than a hydrogen atom. The first attempts to detect the formation of compound neutrons in hydrogen-filled discharge tubes were due to Glasson in 1921. The negative result was not considered definitive because of the general lack of knowledge about the neutron's properties. Aldo Pontremoli, at that time at the Cavendish Laboratory, was aware of both theoretical and experimental problems concerning the existence of the neutron. Once back to Rome he faced the theoretical analysis of the problem of the neutron's compound structure in the framework of Bohr's atomic theory. The smallest permitted stable orbital radius prevented the existence of a compound state with an electron in orbit around a positive nucleus at a much smaller distance. Pontremoli advanced two models. According to the first one, the neutron was a compound system with the electron tangent to the nucleus. Using Silberstein's relativistic formula of the electromagnetic mass of compound systems, Pontremoli calculated the difference in mass between the neutron and the hydrogen atom. The second model advanced by Pontremoli considered the neutron as an extremely contracted hydrogen molecule with the nuclei in orbit around the two electrons. The consequent modification of the dynamical formulae of the hydrogen molecule made Pontremoli able to confirm the neutron's nuclear dimensions. This result appeared promising of an experimental study of the spectral lines of the two nuclei's transitions, for a spectroscopic confirmation of the model. Furthermore, a comparison of the mass defects with the electromagnetic mass due to the close charges proximity would have been a confirmation of the electromagnetic origin of matter.

*Keywords:* Pontremoli, neutron, quantum theory

## 1. Rutherford's Neutron

In his 1920 Bakerian Lecture, Ernst Rutherford (1920) devoted part of his talk about the nuclear constitution of atoms to the possible existence of neutral compound structure, later called neutron by Rutherford himself. The simplest advanced compound structure, a 1-mass neutron, was an extremely shrunk hydrogen atom with the electron

orbiting around the nucleus on an orbit very close to it. The combination of some doublets of this kind would correspond to neutrons of mass 2 or greater.

Rutherford's compound neutron had therefore a zero electrical charge and nuclear dimensions. Except for the points very close to the nucleus, the external electric field of the compound structure was null. This fact, together with its smallness, made the compound neutron able to freely go through matter and hardly contained inside a vessel. Interacting with matter, the neutron could penetrate into an atomic nucleus. Were it captured by the nucleus, then the neutron could transform it into the nucleus of an isotope of the same element. Were it disintegrated by the nucleus' electric field, then the neutron would emit the electron (as a  $\beta$  decay) and change the nucleus'  $Z$  number.

The then accepted hypothesis on heavy elements synthesis considered a positive charge (a proton) hitting a nucleus and being captured by it against the action of its electric field. Rutherford's compound neutron would permit its capture and disintegration by a nucleus even at low energies.

Being an anomalous hydrogen atom, the compound neutron would not have a behaviour typical of normal hydrogen. Since it was thought to be an extremely stable system, it would have been hardly discovered with standard spectroscopic analyses.

Glasson, a member of Rutherford's team at the Cavendish Laboratory, tried to detect the creation of compound neutrons amongst the positive rays in a hydrogen discharge tube (Glasson 1921). Inside a tube of this kind, a large number of free electrons and hydrogen nuclei could be found. Some of the fast nuclei might capture one free electron giving birth to a neutron doublet. According to Glasson, a neutron hitting a heavy element nucleus would cause the neutron and/or the neutron to break; the fragments distributions could have been detected as a local ionization. After various attempts with different experimental settings, Glasson concluded by stating that no positive evidence was found.

## 2. Pontremoli's First Compound Model

Aldo Pontremoli<sup>1</sup> was born in Milano in 1896 and graduated in Physics in Rome in 1920 with Orso Mario Corbino. He volunteered to the First World War and was honoured with some military decorations. Thanks to his military activity he won a 8.000 Italian liras scholarship from the National Fighters Association to spend a research period at the Cavendish Laboratory in Cambridge. There he studied with Joseph Larmor, Joseph John Thomson, Arthur Eddington, Rutherford and Charles Galton Darwin. He worked in theoretical and experimental nuclear physics (McAulay 1921) in Rutherford's group; he was therefore aware of the latter's suggestion of the existence of a neutron. On December 1<sup>st</sup> 1920 he was appointed assistant to the Physics Institute in Rome, where he worked on the birefringence in fluids, spectroscopy and electromagnetism with Corbino. He also envisaged two possible models of neutron following Rutherford's ideas.

---

<sup>1</sup> For more details on Pontremoli see (Finzi 1928; Gariboldi 2011; Giordana 1933; Pugno Vanoni 1930).

Pontremoli's criticism on Glasson's experiment highlighted the lack of knowledge about the energy necessary to form compound neutrons from free electrons and hydrogen nuclei. The voltage applied to Glasson's hydrogen tube varied between 2 and 50 kV so that it might have been insufficient to create a compound neutron. Furthermore, even if compound neutrons had been created, the ignorance about tentative formation statistics would have prevented to know if they were created in a detectable number.

According to Bohr's theory of the hydrogen atom, Rutherford's compound neutron could not be considered a hydrogen atom. The smallest orbit, with  $r \sim 0.5 \text{ \AA}$ , was not of nuclear dimensions. No other smaller orbit was permitted by Bohr's theory unless to refute the angular momentum quantization postulate.

Pontremoli advanced a first model of the compound neutron by changing the its structure: the electron would not have been in orbit around the hydrogen nucleus but tangent to it giving birth to a neutral doublet.

From the relativistic energy-mass relation  $E = mc^2$ , the mass of Pontremoli's first neutron would have been  $m = E/c^2$  with  $E$  potential energy of the electric fields of both charges:  $m_n = m_1 + m_e + \Delta m$  (with  $m_n$  = neutron mass,  $m_1$  = hydrogen nucleus mass,  $m_e$  = electron mass).

Pontremoli supposed the electron and the hydrogen nucleus to be spherical in shape. He was therefore able to apply Silberstein's formula (Silberstein 1911) to find the mass defect ( $\Delta m$ ) of a system made by two electric distributions. Ludwik Silberstein proposed his formula in December 1910 in Naples at the Conference of the Italian Society for the Advancement of Sciences. According to Lorentz, the usual distances between any two electrons was too large for making the mass defect detectable; he suggested to study the macroscopic effects of the superposition of very close electrons. Silberstein thus found the solution for a couple of spherical electrons of uniform charge density with spherical radiuses  $r_1$  and  $r_2$ , at a distance  $a$ :

$$\Delta m = \frac{e_1 e_2}{ac^2} \left( 1 - \frac{1}{5} \frac{r_1^2 + r_2^2}{a^2} \right)$$

Pontremoli used Silberstein's formula with the electromagnetic radiuses of the nucleus and the electron:  $r_e = 3e^2/5m_e c^2$ ;  $r_1 = 3e^2/5m_1 c^2$ . Since the electron was tangent to the hydrogen nucleus the distance  $a$  was equal to  $a = r_e + r_1$ . The ratio between the nucleus and the electron masses was found to be  $m_1 = \alpha m_e$  with  $\alpha = 1846.9$  and the hydrogen nucleus mass was  $m_1 = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$  from spectroscopic measurements of Rydberg's number variation due to the nuclear motion around the atomic mass centre (Flamm 1917).

By the combination of Silberstein's formula with Flamm's results, Pontremoli obtained the formula for the mass defect:

$$\Delta m = -\frac{4}{3} m_1 \frac{\alpha + 2(1 + \alpha)^2}{(1 + \alpha)^3} = -2.396 \times 10^{-27} \text{ g}$$

corresponding to  $\Delta E = -2.156 \times 10^{-6} \text{ erg}$ . The latter is the energy emitted during the creation of one neutron. The energy emitted due to the creation of one mole of neutrons ( $-1.31 \times 10^{18} \text{ erg}$ ) would be easily detected altogether in a calorimetric experiment. The radiation quantum would instead not be actually detectable with spectroscopic measurements since its wavelength would have been extremely short ( $0.009 \text{ \AA}$ ).

A comparison with the helium nucleus (as a compound structure of four hydrogen nuclei and two electrons) showed that the energy necessary for the creation of any given mass of helium was about 200 times that for the creation of the same mass of neutrons. Pontremoli's first neutron was therefore much less stable than the helium nucleus and could have been disintegrated by hitting it with the RaC-emitted  $\alpha$  particles (which has a kinetic energy of  $8.1 \times 10^{18}$  erg/mol).

### 3. Pontremoli's second compound Model

Given the experimental problems concerning the stability and the detection of the first model neutron, Pontremoli advanced a second model following Rutherford's suggestion of the existence of possible neutrons with mass greater than and multiple of 1. Also in this case, the charge distribution had to be compatible with Bohr's postulates. The simplest model with mass 2 was similar to a plane hydrogen molecule with two nuclei and two electrons whose positions were exchanged: the hydrogen nuclei were held in orbit around the two electrons placed on the orbital axis. This second neutron had also a null electric charge and nuclear dimensions. Pontremoli used Sommerfeld's formulae (Sommerfeld 1922) to calculate: the radius of the nuclear orbits ( $2.75 \times 10^{-12}$  cm), the distance between the two electrons ( $1.59 \times 10^{-12}$  cm), the angular speed and the total energy of any orbit, the dissociation work and the ionization potential.

According to Bohr's theory, the transition of the hydrogen nuclei between any two possible orbits caused the emission (or absorption) of an X-ray spectrum whose lines were like those of the hydrogen spectrum multiplied by 1846.9.

Because of calculus difficulties, Pontremoli was not able to find the mutual mass corresponding to the superposition of the four electrostatic fields. If this mass were equal to the experimentally determined mass defect, then, according to Pontremoli, this would confirm the electromagnetic origin of matter.

The experimental search for the neutron will be pursued by James Chadwick. In 1930, Walther Bothe and Herbert Becker discovered that the interaction of Polonium-emitted  $\alpha$ -rays with Beryllium did not produce protons but a highly penetrating radiation, which they identified as nuclear  $\gamma$ -rays. In 1932, Irène Curie and Frédéric Joliot found that this highly penetrating radiation make protons free from hydrogenated matter. Chadwick understood that this radiation was made of neutral particles with a mass similar to the proton's one somehow corresponding to Pontremoli's first model.

### References

- Finzi B. (1928). "Aldo Pontremoli". *Rendiconti del Seminario Matematico e Fisico di Milano*, II, pp. xi-xii.
- Flamm L. (1917). "Die charakteristischen Maßzahlen für das Elektron in ihrer Verknüpfung mit den Strahlungskonstanten". *Physikalische Zeitschrift*, 18, pp. 515-521.

- Gariboldi L. (2011). *Aldo Pontremoli e l'Istituto di fisica di Milano*, in Giannetto E., Giannini G., Toscano M., *Intorno a Galileo: la storia della fisica e il punto di svolta galileiano*. Bergamo: Guaraldi.
- Giordana G. (1933). *Vita di Aldo Pontremoli*. Roma: Formiggini.
- Glasson J.L. (1921). "Attempts to Detect the Presence of Neutrons in a Discharge Tube". *Philosophical Magazine*, 42, pp. 596-600.
- McAulay A.L. (1921). "The Recoil of Hydrogen Nuclei from Swift  $\alpha$  Particles". *Philosophical Magazine*, 42 pp. 892-904.
- Pontremoli A. (1923). "Sul neutrone del Rutherford". *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti*, 32, pp. 277-280.
- Pugno Vanoni E. (1930). "Aldo Pontremoli. Note biografiche". *Il Nuovo Cimento*, VII, pp. 41-49.
- Rutherford E. (1920). "Nuclear Constitution of Atoms". *Proceedings of the Royal Society*, A 97, pp. 374-400.
- Silberstein L. (1911). "Über die gegenseitige Masse kugelförmiger Elektronen". *Physikalische Zeitschrift*, 12, pp. 87-91.
- Sommerfeld A. (1922). *Atombau und Spektrallinien*. Braunschweig: Vieweg.





# On the concept of degenerate stars: the case of white dwarfs

Michael Rotondo - Istituto di Istruzione Superiore Statale "Pacinotti-Archimede",  
Roma - michael.rotondo\_2014@libero.it

*Abstract:* In this work we briefly review the history of degenerate stars from the first introduction of Fermi-Dirac quantum statistics to the first unified approach of white dwarfs, based on the relativistic generalization of the Feynman-Metropolis-Teller of compressed atoms, which takes into account consistently the gravitational, the weak, the strong and the electromagnetic interactions.

*Keywords:* History of astrophysics, Compact stars, Degenerate Fermi gas

## 1. Prologue: Adams and Eddington

Exactly one century ago Walter S. Adams published a paper entitled "The Spectrum of the Companion of Sirius" in which he concludes that:

... the companion of Sirius has a color index not appreciably different from that of the principal star (Adams 1915, p. 237).

This conclusion would lead to a dramatic consequence as summarized by Arthur S. Eddington:

... a ton of [companion of Sirius] material would be a little nugget that you could put in a match-box. What reply can one make to such a message? The reply which most of us made in 1914 was - 'Shut up. Don't talk nonsense' (Eddington 1927, p. 50).

Nine years later, in 1924, Eddington published a paper entitled "On the Relation between the Masses and Luminosities of the Stars" in which he suggested a new test to confirm (or reject) the exceptionally high density of the companion of Sirius:

... the question could probably be settled by measuring Einstein shift of the spectrum... (Eddington 1924, p. 322).

In 1925 Adams, following the suggestion of Eddington, published a paper entitled "The Relativity Displacement of The Spectral Lines in the Companion of Sirius" (Adams 1925) in which he

... killed two birds with one stone. He has carried out a new test of Einstein's general theory of relativity, and he has shown that matter at least 2,000 times denser than platinum is not only possible but actually exists in the stellar universe (Eddington 1927, p. 52).

## 2. Fowler

After Adams results and Eddington theoretical considerations the existence of such compact stars, called white dwarfs by Willem J. Luyten (1922, p. 357), became one of the major puzzles of astrophysics. An important turning point came out on December of 1926 when Ralph H. Fowler published a paper entitled "On Dense Matter" in which the fundamental connection between the energy and the temperature in such high matter density systems is investigated (Fowler 1926). In particular Fowler wrote:

... The excessive densities involved suggest that the most exact of statistical mechanics must be used to discuss the relationship between the energy, temperature and density of the material. This is a form suggested by the properties of atoms and the new quantum mechanics, which has been already applied to simple gases by Fermi and Dirac (Fowler 1926, p. 115).

Fowler explicitly refers to two papers published respectively on May of 1926 by Enrico Fermi (1926) and on August of 1926 by Paul A. M. Dirac (1926).

Fowler then shown that the equilibrium of very dense matter in white dwarf stars depends on the so-called *degeneracy* formula in which the electron pressure is related to the power  $5/3$  of the electron number density: the concept of degenerate star was born (Fowler 1926, p. 121).

## 3. Thomas and Fermi

Fowler introduced the Fermi-Dirac statistics to describe the interiors of dense stars pointing out the concept of degenerate star which

... is strictly analogous to one gigantic molecule in its lowest quantum state. We may call the temperature than zero (Fowler 1926, p. 115).

Fowler however did not attempt to determine the equilibrium properties of such a star apparently because he was unaware that on November 1926 Llewellyn H. Thomas had sent a paper to the Royal Society in which he developed a method to solve this problem for a complex atom (Thomas 1927). Further on December 1927 at the "Accademia dei Lincei" in Rome was presented a note in which Fermi developed the same idea of Thomas (Fermi 1927). The method is a notable simple approximation of the Schrödinger theory of many electron atom (after termed as Thomas-Fermi model), which works particularly well in the case of compressed atoms i.e. degenerate matter at high densities.

#### 4. Frenkel

The first application of the Thomas-Fermi model in order to describe degenerate matter at high densities was done by Y. I. Frenkel in a paper entitled “Anwendung der Pauli-Fermischen Elektronengastheorie auf das Problem der Kohäsionkräfte” (“Application of the Fermi-Pauli Theory of Electron Gas to the Problem of Binding Forces”) published in 1928 (Frenkel 1928) where he describes the dense matter in degenerate stars as arranged in a lattice where the elementary cell can be treated as a globally neutral Wigner-Seitz cell filled of degenerate electrons. Then developing a traditional Thomas-Fermi model for an atom Frenkel gives the Coulomb corrections with respect to the uniform electron distribution. He straightforward predicts two types of degenerate stars which consist respectively of the non-relativistic and ultra-relativistic degenerate electron gas and the stars of the second type should be massive, i.e.  $M \gtrsim M_{\odot}$ .

#### 5. Stoner and Anderson

Following the work of Fowler (and ignoring the work of Frenkel) Edmund C. Stoner in a paper entitled “The Limiting Density in White Dwarfs” published in 1929 gives the equilibrium properties of white dwarfs (such as masses and radii) in the non relativistic limit for electrons, assuming a constant matter density approximation (Stoner 1929). Wilhelm Anderson in a paper published in 1929 entitled “Über die Grenzdichte der Materie und der Energie” (“On the Limiting Density of Matter and Energy”) noticed that in a white dwarf with a mass comparable to or higher than a solar mass electrons become relativistic, re-obtaining one of the conclusions of Frenkel (Anderson 1929). Stoner, following the *suggestion* of Anderson, in 1930 published a new paper entitled “The Equilibrium of White Dwarfs” in which, introducing the effect of special relativity, discovered the critical mass of white dwarfs (Stoner 1930).

#### 6. Chandrasekhar and Landau

Following Stoner’s work, Subrahmanyan Chandrasekhar, in a paper published in 1931 and entitled “The Highly Collapsed Configurations of a Stellar Mass” (Chandrasekhar 1931), pointed out the relevance of describing white dwarfs by using an approach initiated by Edward A. Milne (Milne 1930) of using the mathematical method of the solutions of the Lane-Emden polytropic equations (Emden 1907). The same idea of using the Lane-Emden equations taking into account the special relativistic effects to the equilibrium of stellar matter for a degenerate system of fermions, came independently to Lev D. Landau (Landau 1932). Both the Chandrasekhar and Landau treatments were clear in pointing out the existence of the critical mass.

### 7. Kothari, Feynman-Metropolis-Teller, Wheeler-Harrison-Wakano

In 1938 Daulat S. Kothari published an article entitled “The Theory of Pressure-Ionization and its Applications” rediscovering the Frenkel approach (Kothari 1938). In 1949 Richard P. Feynman, Nicholas C. Metropolis and Edward Teller published an article, entitled “Equations of State of Elements Based on the Generalized Fermi-Thomas Theory”, where the correct application of the Thomas-Fermi model is considered in order to describe the equation of state of matter at high pressures and at various temperatures without and with the exchange terms (Feynman *et al.* 1949). In 1958 John A. Wheeler, Kent B. Harrison and Masami Wakano incorporated in the equation of state for degenerate matter at high density the inverse beta decay (Wheeler *et al.* 1958).

### 8. Salpeter and Hamada

Edwin E. Salpeter in 1961 published a paper entitled “Energy and Pressure of a Zero-Temperature Plasma” in which all of the elements introduced separately by Kothari in 1938, Feynman, Metropolis and Teller in 1949, Wheeler, Harrison and Wakano in 1958, are simultaneously present, in order to describe the equation of state of dense matter at zero temperature (Salpeter 1961). The article is followed by a second one (with Tetsuo Hamada) entitled “Models for Zero-Temperature Stars” where the equation of state derived in the preceding paper is applied to derive the equilibrium configurations of white dwarfs in the Newtonian limit (Hamada 1961). In particular here it is found that the critical mass of white dwarfs is a function of the chemical composition of stars and that this mass occurs, because of the inverse beta decays, at finite central density.

### 9. White dwarfs in general relativity

The authors mentioned in the above sections performed the analysis of the equilibrium of the internal structure of white dwarfs within the Newtonian theory of gravity. Nevertheless, the first treatment of white dwarfs in general relativity goes back to 1949 when Samuil A. Kaplan published an article, entitled “Sverkhplotnyè Zvezdy” (“Superdense Stars”), where it is shown that the general relativity induces a dynamical instability of a white dwarf when its radius become smaller than  $1.1 \cdot 10^3$  km (Kaplan 1949). The general relativistic instability for white dwarfs was rediscovered by Chandrasekhar in 1964 (Chandrasekhar 1964). In 1968, using the criterion given by Chandrasekhar, Annie Baglin claims that:

... the dynamical instability is reached very much before the instability due to the electron capture... (Baglin 1968, p.143).

In the same year Craig J. Wheeler, Carl J. Hansen and John P. Cox published a paper entitled “General Relativistic Instability in White Dwarfs” in which they conclude that:

... the actual demise of the star will not be clearly be attributable to either electron capture or general relativistic instability but may be due to the nearly simultaneous onset of both effects (Wheeler *et al.* 1968, p. 255).

In that time the stability of white dwarfs near the Stoner-Chandrasekhar-Landau limit remains an open problem.

## 10. The necessity of a self-consistent approach

From 1968 onward several papers on the equation of state for degenerate matter in general relativity have been published.<sup>1</sup> However the various adopted equations of state present inconsistencies (Rotondo *et al.* 2011a). In order to avoid these inconsistencies a new approach based on the relativistic generalization of the Feynman, Metropolis, Teller equation of state has been developed (Rotondo *et al.* 2011b). From a theoretical physics point of view, this is the first unified approach of white dwarfs taking into account consistently the gravitational, the weak, the strong and the electromagnetic interactions and it answers open theoretical physics issues in this matter. No analytic formula for the critical mass of white dwarfs can be derived and, on the contrary, the critical mass can be obtained only through the numerical integration of the general relativistic equations of equilibrium together with the relativistic Feynman-Metropolis-Teller equation of state. New equilibrium configurations are obtained leading to the possibility of a direct confrontation with observations especially in the case of low mass white dwarfs. Further the theoretical base presented establishes also the correct framework for the formalism of the more general cases when uniformly rotations, magnetic fields and finite temperatures are present (Boshkayev *et al.* 2013a, Boshkayev *et al.* 2013b, de Carvahlo *et al.* 2014).

## References

- Adams S.W. (1915). “The Spectrum of the Companion of Sirius”. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 27, pp. 236-237.
- Adams S.W. (1925). “The Relativity Displacement of the Spectral Lines in the Companion of Sirius”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 11, pp. 382-387.
- Anderson W. (1929). “Über die Grenzdichte der Materie und der Energie”. *Zeitschrift für Physik*, 54, pp. 851-856.
- Baglin A. (1968). “White Dwarfs and Type I Supernovae”. *Astrophysical Letters*, 1, pp. 143-144.

---

<sup>1</sup> See, e.g.. (Rotondo *et al.* 2011a) and references therein.

- Boshkayev K., Rueda J.A., Ruffini R., Siutsou I. (2013a). “SGR 0418+5729, Swift J1822.3-1606, and 1E2259+586 as Massive Fast Rotating Highly Magnetized White Dwarfs”. *Astrophysical Journal*, 762, p. 117.
- Boshkayev K., Izzo L., Rueda J.A., Ruffini R. (2013b). “On General Relativistic Uniformly Rotating White Dwarfs”. *Astronomy and Astrophysics*, 555, p. A151.
- Chandrasekhar S. (1931). “The Highly Collapsed Configurations of a Stellar Mass”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 91, pp. 456-466.
- Chandrasekhar S. (1964). “Dynamical Instability of Gaseous Masses Approaching the Schwarzschild Limit in General Relativity”. *Physical Review Letters*, 12, pp. 114-116.
- de Carvahlo S.M., Rotondo M., Rueda J.A., Ruffini R. (2014). “Relativistic Thomas-Fermi Treatment of Compressed Atoms and Compressed Nuclear Matter Cores of Stellar Dimensions”. *Physical Review*, C89, p. 015801.
- Dirac P.A.M. (1926). “On the theory of Quantum Mechanics”. *Proceedings of the Royal Society of London*, A112, pp. 661-677.
- Eddington A.S. (1927). *Stars and Atoms*. Oxford: Clarendon Press.
- Eddington A.S. (1924). “On the Relation between the Masses and Luminosities of the Stars”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84, pp. 308-332.
- Emden R. (1907). *Gaskugeln Anwendungen der Mechanischen Wärmetheorie auf Kosmologische und Mechanische Probleme*. Leipzig-Berlin: Teubner.
- Fermi E. (1926). “Zur Quantelung des Idealen Einatomigen Gases”. *Zeitschrift für Physik*, 36, pp. 902-912.
- Fermi E. (1927). “Un metodo statistico per la determinazione di alcune proprietà dell’atomo”. *Rendiconti dell’Accademia Nazionale dei Lincei*, 6, pp. 602-607.
- Feynman, R.P., Metropolis N., Teller E. (1949). “Equations of State of Elements Based on the Generalized Fermi-Thomas Theory”. *Physical Review*, 75, pp. 1561-1573.
- Fowler R.H., (1926). “On Dense Matter”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 87, pp. 114-122.
- Frenkel Y.I., (1928). “Anwendung der Pauli-Fermischen Elektronen Gas Theorie auf das Problem der Kohäsionskräfte”. *Zeitschrift für Physik*, 50, pp. 234-248.
- Hamada T., Salpeter E.E. (1961). “Models for Zero-Temperature Stars”. *Astrophysical Journal*, 134, pp. 683-698.
- Kaplan S.A. (1949). “Sverkhplotnyè Zvezdy”. *Naukov Zapiski*, 15, pp. 109-115.
- Kothari D.S. (1938). “The Theory of Pressure-Ionization and its Applications”. *Proceedings of the Royal Society of London*, 165, pp. 486-500.
- Landau L.D. (1932). “On the Theory of Stars”. *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*, 1, pp. 285-288.
- Luyten J. W. (1922). “Third Note on Faint Early Type Stars With Large Proper Motion”. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 34, pp. 356-357.
- Milne E.A. (1930). “The Analysis of Stellar Structure”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 91, pp. 4-55.
- Rotondo M., Rueda J.A., Ruffini R., Xue S.-S. (2011a). “Relativistic Thomas-Fermi Treatment of Compressed Atoms and Compressed Nuclear Matter Cores of Stellar Dimensions”. *Physical Review*, C83, p. 045805.

- Rotondo M., Rueda J.A., Ruffini R., Xue S.-S. (2011b). “The Relativistic Feynman-Metropolis-Teller Theory for White Dwarfs in General Relativity”. *Physical Review*, D84, p. 084007.
- Salpeter E.E. (1961). “Energy and Pressure of a Zero Temperature Plasma”. *Astrophysical Journal*, 134, pp. 669-682.
- Stoner E.C. (1929). “The Limiting Density in White Dwarfs”. *Philosophical Magazine*, 7, pp. 63-70.
- Stoner E.C. (1930). “The Equilibrium of White Dwarfs”. *Philosophical Magazine*, 9, pp. 944-963.
- Thomas L.H. (1927). “The Calculation of Atomic Fields”. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 35, pp. 542-548.
- Wheeler C.J., Hansen C.J., Cox J.P. (1968). “General Relativistic Instability in White Dwarfs”. *Astrophysical Letters*, 2, pp. 255-256.
- Wheeler J.A., Harrison K.B., Wakano M. (1958). *Matter-Energy at High Density: End Point of Thermonuclear Evolution*, in Harrison K.B., Thorne K.S., Wakano J.A., Wheeler J.A. (eds.), *Solvay-Onzième Conseil de Physique - La Structure et l'Évolution de l'Univers*. Bruxelles: Stoops.





## SCIENCE AND EDUCATION IN SCHOOLS AND MUSEUMS



# “Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria”: un approccio al pensiero scientifico nella scuola primaria

Alberto De Toni,<sup>1</sup> Marcella Giulia Lorenzi,<sup>1</sup> Marisa Michelini,<sup>1</sup> Alberto Pratelli,<sup>1</sup>  
Alberto Stefanel,<sup>1</sup> Beatrice Boccardi,<sup>2</sup> Franco L. Fabbri,<sup>2</sup> Giovanna Parolini,<sup>2</sup>  
Renato Sartori,<sup>2</sup> Matteo Torre,<sup>2</sup> Victor Tosoratti,<sup>3</sup> Silvia Donati De Conti,<sup>4</sup>  
Tullia Guerrini Rocco,<sup>4</sup> Laura Bertoli,<sup>5</sup> Ariella Bertossi,<sup>5</sup> Patrizia Pavatti<sup>5</sup> -  
Franco.Fabbri@esplica.it

*Abstract:* The challenge to the introduction in the classes of the first school cycle of elements of approach to scientific thinking has been proposed several times but never completed. In fact, an organic structured response has been missing. The mission of the project “Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria” (“Adopt Science and Art in the primary school”) is precisely to promote, from the very first level of the first cycle of compulsory education, a teaching based on experiments on physical phenomena (in this case optics) that, in the ordinary school practice, bring the students closer to scientific thought. The teaching practice offered does not have features of specialty or of an occasional nature. Instead it is closely linked to other cultural and educational issues, involving at the same time the cognitive sphere and of critical thinking with the emotional and affective sphere, so inextricably intertwined at this stage of human development. Science and Art appear to meet these requirements. This is the origin of the idea of the project, both educational and for the popularisation of science, “Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria”.

*Keywords:* Science in primary school, Teaching education, Science and art in school

## 1. Il progetto

“Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria” è un progetto didattico-divulgativo realizzato in versione pilota durante l’anno scolastico 2013-2014 da: Cird - Università di Udine, Esplica no profit - Associazione per la divulgazione culturale e scientifica nell’era digitale, MediaExpo e Circolo Nuovi Orizzonti. Nasce sulla linea ispiratrice di

---

<sup>1</sup> Università di Udine.

<sup>2</sup> Esplica - no profit.

<sup>3</sup> Circolo Nuovi Orizzonti.

<sup>4</sup> MediaExpo.

<sup>5</sup> Istituti Comprensivi di Faedis, Aquileia, Codroipo (UD).

“Adotta Scienza e Arte nella tua classe” (Fabbri *et al.* 2012, pp. 59-68), progetto realizzato da Esplica no-profit per le scuole secondarie, ora alla sua quarta edizione. “Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria” in versione pilota si è svolto in 5 scuole del triveneto con la partecipazione di 18 docenti e 412 alunni dalla II alla V classe.



**Fig. 1.** Difendi il tuo disegno, Università di Udine

Il tema scientifico affrontato è quello dei fenomeni della luce con integrazione nei percorsi didattici di esperimenti di ottica realizzati in classe. L'attività di sperimentazione è inserita, quasi un gioco, all'interno di consuete attività scolastiche che si avviano con la ricerca e reperimento di elementi (foto e disegni) sulla luce affidate ai bambini e da svolgere a casa. In classe, dopo classificazione condivisa dei materiali raccolti, si svolgono semplici esperimenti sui fenomeni ottici. Le pratiche didattiche comprendono anche un'escursione nell'arte. I vari fenomeni oggetto della sperimentazione svolta vengono “riscoperti” nelle opere di pittura, nelle foto e nelle installazioni di grandi artisti classici e moderni. Così la scienza della luce è introdotta con discrezione nell'attività di classe, e al tempo stesso viene affermato il suo legame con l'arte. Il percorso didattico si completa con una pratica creativa. I ragazzi esprimono un pensiero sull'esperienza svolta e lo rappresentano con un disegno che ricompona le conoscenze e le emozioni che essa ha stimolato. Il progetto non termina con il percorso didattico a scuola. Esce dalla scuola e si diffonde sulla rete telematica. Ogni opera realizzata (frase e disegno) è condivisa sui social networks e partecipa a due competizioni: quella dei “mi piace” assegnati dai web-nauti, e quella della valutazione da parte di una Giuria di Qualità composta di educatori, scienziati, artisti e esperti dell'età infantile. Tutti gli studenti partecipano a “Difendi il tuo disegno”, fase finale pubblica nella quale illustrano le loro opere. I migliori sono premiati con attestati e premi. Nel progetto si distinguono quindi varie attività.

- a. L'attività di formazione degli insegnanti partecipanti al progetto.  
Essa è indispensabile ad attrezzarli della competenza necessaria per realizzare in classe il percorso didattico di ottica e attuare gli esperimenti.
- b. L'attività che precede la sperimentazione.  
L'insegnante avvia un percorso che, partendo dalla raccolta di materiale fotografico, conduce gradualmente gli studenti a reali esperimenti di ottica.

- c. Lo svolgimento di esperimenti sui processi ottici e di visione.  
Vengono svolti semplici esperimenti sulla riflessione, sulla rifrazione, sulla scomposizione della luce, sul percorso lineare della luce.
- d. La realizzazione da parte degli studenti di una loro opera.  
I ragazzi esprimono in una frase e nell'associato disegno l'esperienza vissuta dando spazio alla creatività.
- e. La pubblicazione delle opere sui social networks.  
Fase divulgativa. Coinvolge la comunità allargata della scuola (alunni, docenti, famiglie, amici) e divulga, *peer-to-peer*, il progetto e la sua missione.
- f. Difendi il tuo disegno.  
Fase finale nella quale gli studenti presentano in pubblico e “difendono” le loro opere. Si svolge in luogo deputato alla scienza o all'arte: nell'università o in un museo. Amplia la partecipazione emozionale e contribuisce a fissare la globalità dell'esperienza nella memoria del ragazzo e della famiglia.

Questa comunicazione al congresso illustra concisamente il percorso di formazione dei docenti, l'architettura del percorso didattico in classe e le tipologie dei disegni con statistiche ed esempi. Tutti i disegni sono accessibili sulla rete telematica (Esplica 2014). Approfondimenti su questi tre aspetti, così come sulle specifiche pratiche di classe svolte dai docenti e sulla fase nei social networks saranno trattati in successive pubblicazioni.

## 2. La formazione degli insegnanti

La necessaria formazione degli insegnanti è stata svolta dall'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica CIRD dell'Università di Udine. Nel modello teorico sviluppato da Duit (2006) è stato realizzato un Modulo di Intervento Formativo per la formazione in servizio, che integra i tre modelli *metaculturale*, *esperienziale* e *situato* discussi in letteratura (Oakes *et al.* 2000; Michelini *et al.* 2013). Il Modulo è stato impostato in termini multi-prospettici (interpretativo, storico, didattico, formale...) rispetto alla fenomenologia ottica attenta all'arte pittorica e con una forte interazione tra formatori e corsisti per la progettazione didattica basata sul *Design Based Research*. Hanno partecipato 79 insegnanti delle 5 scuole che hanno preso parte al progetto “Adotta Scienza e Arte nella scuola primaria”: 18 di Aquileia (UD), 20 di Codroipo (UD), 7 di Faedis (UD), 12 di Crema (CR), 22 di Trescore Cremasco (CR). Il corso è articolato in:

- a. Seminario metaculturale multiprospettico (3 ore).
- b. Esplorazione in piccolo gruppo di semplici esperimenti (3 + 2 ore)
- c. Test PCK sui nodi concettuali dell'ottica studiati in letteratura (1 ora) (Michelini, Stefanel 2014; Michelini *et al.* 2014).
- d. Riflessione su concetti e nodi (individuale e collettiva; 3 ore).
- e. Linee guida per il progetto didattico, discussione di proposte.
- f. Analisi di proposte progettuali (ricercatori-docenti discutono percorsi didattici proposti dagli insegnanti; 3 ore).
- g. Sperimentazione didattica in classe, interazione a distanza con i formatori.
- h. Documentazione.

Il seminario meta-culturale multi-prospettico ha guardato alla fenomenologia in termini problematizzanti seguendo un percorso storico, con esempi di attività per i bambini, elementi culturali, discussione di teorie, modelli, spiegazioni e interpretazioni, analisi di aspetti quotidiani, artistici e sperimentali. I contenuti proposti sono descritti nella Tabella 1.

• Le sorgenti luminose.
• Fenomeni di propagazione della luce.
• Rilevamento: interazione luce-materia.
• Interpretazione dei fenomeni:
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ottica geometrica (modello di luce alla Newton o fotoni - processi meccanici e particelle): propagazione rettilinea, la scomposizione dei colori? Riflessione, rifrazione? (lenti ottiche, ...), assorbimento.</li> <li>➤ Ottica fisica (modello onda): diffrazione, interferenza, polarizzazione, di emissione, riflessione, rifrazione, assorbimento.</li> <li>➤ MQ: principio di complementarità.</li> </ul>

**Tabella 1.** Ottica, contenuti per gli insegnanti

Le principali prospettive sono state: 1) Natura della luce: eidola degli atomisti, raggi visivi, fluido aristotelico, geometria e modello di raggio, vortici cartesiani, particelle, onde e visione artistica di Buonarroti nella Cappella Sistina e dei vortici, particella; 2) Tipologia di fenomeni nell'esperienza comune e nell'arte; 3) La visione e i relativi meccanismi, le immagini formate nei diversi fenomeni, il ruolo del tipo di radiazione nella visione e le conseguenze cromatiche con esempi nell'arte; 4) Fenomeni di propagazione nell'interazione luce materia; 5) Processi energetici per vari tipi di assorbimento (elettronico, strutturale e nanostrutturato); 6) Spiegazioni geometriche di fenomeni di propagazione: il minimo percorso di Erone per la riflessione, la camera oscura ed Alhazen, la rifrazione di Cartesio e Fermat; 7) Applicazioni ottiche: specchi, lenti, fibre ottiche; 8) Sorgenti di luce (incandescenti, a scarica di gas, chemio e bioluminescenti, fluorescenti, fosforescenti, diodi, laser) e caratteristiche della luce prodotta, ricordo con la dispersione; 9) Esperimenti, curiosità e giochi. La parte esperienziale si basa su esperimenti e proposte di ottica della mostra interattiva GEI - Giochi, Esperimenti, Idee Esperimenti (Bosatta *et al.* 2001). Esse seguono un percorso di esperimenti finalizzati a: riconoscere il meccanismo (scientifico) della visione; caratterizzare operativamente le più comuni sorgenti luminose; esplorare i principali fenomeni di propagazione della luce per costruire la propagazione rettilinea; utilizzare questo costruito concettuale per esplorare i principali fenomeni di propagazione, la riflessione e la rifrazione in primis, ma anche la diffusione, la trasmissione, l'assorbimento; costruire le leggi della riflessione e rifrazione; usare queste leggi e il modello di propagazione rettilinea per ricostruire le immagini di riflessione e di rifrazione; sperimentare la scomposizione della luce bianca nei colori, esplorando il colore degli oggetti come risultato della interazione della luce con gli oggetti stessi e quindi della luce riflessa/diffusa nei nostri occhi (Michellini, Stefanel 2014).

### 3. Strutturazione delle attività di classe

L'attività di classe è suddivisa nella strutturazione del progetto in 6 moduli.

1° modulo - L'insegnante assegna agli alunni una ricerca di fotografie e disegni sulla luce da effettuare a casa. Il materiale è esaminato in classe, discutendo la varietà di aspetti in cui la luce si manifesta: colori, intensità, sorgenti. Le immagini vengono ripartite per similitudine in gruppi secondo le percezioni dei ragazzi. I gruppi d'immagini sono affissi sulla lavagna. La suddivisione risponderà senza forzature alla domanda "com'è la luce?".

2° modulo - Dopo una settimana di esposizione, l'insegnante propone di rivedere tutta la classificazione da "come la luce é" a "cosa la luce fa". Si individueranno: sorgenti primarie, secondarie, riflessioni e altri semplici processi ottici. Si registrano le scelte degli studenti per un successivo utilizzo nella fase di analisi.

3° modulo - L'insegnante realizza in classe una serie di esperimenti sui fenomeni ottici tra i quali: propagazione rettilinea della luce, formazione delle ombre (ombre cinesi, controluce, ombra, penombra) riflessione, rifrazione, scomposizione della luce. Gli esperimenti sono realizzati con materiali poveri e consentono l'accesso sicuro degli studenti che devono poter effettuare l'istallazione guidati dall'insegnante.

4° modulo - Nuova revisione delle rappresentazioni esposte in base agli esperimenti svolti. Ogni studente decide la classificazione più adatta tra una serie di scelte proposta dall'insegnante. Dopo registrazione delle scelte effettuate l'insegnante guida una riflessione condivisa che giunge alla classificazione finale in base al processo ottico prevalente in ciascuna immagine.

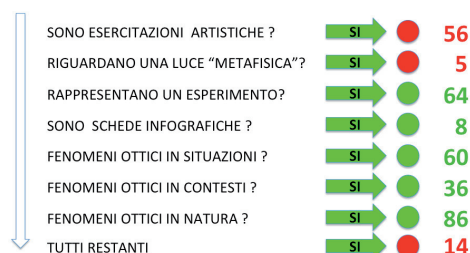


Fig. 2. La ripartizione in categorie

5° modulo - La luce nell'arte: ricerca in classe utilizzando immagini dell'arte classica e moderna. L'insegnante fa notare come i vari artisti raffigurano diversamente i vari fenomeni fisici della luce.

6° modulo - In questa fase ogni studente esprime in una frase (massimo 140 caratteri) un concetto sulla luce, o sugli esperimenti realizzati, o su quanto appreso. La frase è accompagnata da un disegno che la illustra. La frase viene definita in classe, il disegno impostato e terminato in classe, può essere sviluppato parzialmente a casa. Disegno e frase sono quindi caricati sulla rete.

#### 4. I disegni dei ragazzi

I disegni pubblicati in rete sono 329 (Esplica 2014). Una iniziale selezione individua quelli riconducibili a “mera” esercitazione di disegno, riproducendo di fatto una nota opera d’arte, e quelli che rappresentano la luce “metafisica” (dell’amore, dell’amicizia, della fede...). Entrambi i gruppi sono esclusi dalla successiva analisi. I restanti 268 disegni sono filtrati come illustrato nello schema in Fig. 2. A ogni *step* i disegni per i quali la risposta alla domanda posta è positiva sono attribuiti a una specifica categoria. Se la risposta è negativa, i disegni passano al filtro successivo. Sono infine esclusi anche i 14 disegni residui – in genere riferiti alla luce come fonte di energia – poiché non inerenti i processi ottici della luce. Le categorie della classificazione sono:

- Esperimento* - L’immagine riproduce uno degli esperimenti realizzati in classe. Da notare che questo gruppo sono sempre rappresentati gli studenti.
- Info-grafica* - L’immagine de-ambientata riproduce schematicamente il processo fisico con tratti geometrici. Scheda grafica descrittiva.
- Situazione* - Il fenomeno fisico è rappresentato in un ambiente (esterno o interno) in cui sono presenti esseri viventi che svolgono un’azione.
- Contesto* - Come sopra ma il commento scritto collega la situazione a un vissuto personale del ragazzo con partecipazione emozionale evidente.
- Natura* - Il fenomeno fisico è rappresentato in un ambiente naturale esterno senza presenza di esseri viventi.

Di ogni disegno sono individuati il processo ottico prevalente, un eventuale secondo processo e altre caratteristiche quali: sorgenti luminose, raffigurazione delle ombre e del Sole.

**I --Processo ottico --I ---Note-----I**

	RIF LES SIO NE	RIF RAZ IO NE	TRA ETT ORI A	DIS PER SIO NE	SCO MPO SIZI ONE	ASS ORB IME NTO	LUCE DIFF USA	OMB BRA	CON TRO LUCE	SOLE	TRA MON TO
<b>Categorie</b> <b>Natura</b>	56	2	19	0	2	3	6	12	2	49	9
<b>Situazioni</b>	35	3	12	0	0	0	3	13	1	31	2
<b>Contesti</b>	20	2	6	0	0	1	2	16	0	21	0
<b>Esperimenti</b>	7	2	15	0	1	0	0	4	0	11	0
<b>Info-grafiche</b>	10	3	13	2	5	2	3	14	0	28	0

Fig. 3. Classificazione dei disegni

L’analisi dei disegni si è svolta finora a “scatola chiusa”, cioè ignorando volutamente altri parametri determinanti per uno studio sull’approccio al pensiero scientifico del ragazzo quali: l’età, il genere, la classe di appartenenza e le specifiche pratiche di classe ricevute. A questo stadio è comunque evidente il valore didattico del progetto, educativo alla scienza scoperta nel vissuto quotidiano, con capacità di interessare il bambino promovendo conoscenza e emozione. I disegni sono tutti visibili in facebook (Esplica 2014).



Nelle Figg. 4-9 si riportano alcuni disegni per le varie categorie di catalogazione. In essi è evidente la forte partecipazione dei ragazzi (Figg. 5-7), in altri (Fig. 8) si può notare l'esitante tentativo di applicare alla luce della luna l'icona radiante, testimonial del percorso rettilineo, così spesso invece associata al sole senza problemi. Interessante è nella categoria infografiche, l'analisi della percezione del processo fisico raggiunta dal ragazzo, scevra da elementi del vissuto personale che affiora in altri disegni specie della categoria contesti.

Una versione del progetto “Adotta Scienza ed Arte nella scuola primaria” estesa a tutto il territorio nazionale scuole in è in preparazione.



**Figg. 4-9.** Disegni delle varie categorie. Da basso a sinistra, in senso orario: 4) Il colore dei corpi opachi (*Infografica*); 5) Il fascio di luce passa tra i fori fatti sui cartoncini perché è rettilineo (*Esperimento*); 6) Dalla scogliera ammiro la propagazione rettilinea dei raggi luminosi e la riflessione del sole (*Contesto*); 7) L'ombra è dalla parte opposta al sole, all'ombra però non c'è nessuno perché tutti sono in mare a fare il bagno (*Contesto*); 8) La luna è sorgente di luce secondaria e le stelle sono una sorgente primaria (*Situazione*); 9) È primavera. Un sole splendente illumina e riscalda ogni cosa... (*Contesto*)

## Bibliografia

- Bosatta G. et al. (2001). *Games, Experiments, Ideas from low-cost material to the computer on-line: 120 simple experiments to do and not only to see*, in Bandiera M., Caravita S., Torracca E., Vicentini M., *Research in Science Education in Europe*. Roma: Springer, pp. 481-492.
- Duit R. (2006). *Science Education Research* [online]. URL: <http://www.naturfagsenteret.no/esera/summerschool2006.html> [data di accesso: 01/04/2016].

- Esplica (2014). *Disegni realizzati per Adotta Arte e Scienza nella scuola primaria* [online]. URL: <<http://tinyurl.com/n98e44c>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Fabbri F.L. et al. (2012). “Adotta Arte e Scienza nella tua classe, a Project of Mathematics and Physics in Italian Middle and High Schools”. *Aplimat Journal of Applied Mathematics*, V (1), pp. 59-68.
- Gess-Newsome J. (1999). *PCK: an introduction and orientation*, in Gess-Newsome J., Lederman N.G., *Examining PCK*. Dordrecht: Kluwer, pp. 1-17.
- Michelini M. (2004). *Physics in context for elementary teacher training*, in Buchberger F. et al., *Quality Development in the Teacher Education and Training*. Udine: Forum Editrice Universitaria Udinese, pp. 389-394
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2013). “La formación docente: un reto para la investigación”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, pp. 846-870.
- Michelini M, Stefanel A. (2014). *Research based activities in teacher professional development on optics*, in Fazio C., Sperandeo R.M., *Proceedings of GIREP-MPTL 2014 International Conference* (Palermo, July 7-12, 2014), pp.853-862.
- Liederman A., Miller L. (2001). *Teachers caught in the action*. New York: Teachers Press.
- Oakes J. et al. (2000). *Becoming good American schools*. S. Francisco: Jossey-Bass.
- Wayne A.J. et al. (2008). “Experimenting with Teacher Professional Development: Motives and Methods”. *Educational Researcher*, 37 (8), pp. 469-479.

# Strumenti e metodi per l'apprendimento della diffrazione ottica: un fenomeno ponte nella storia della fisica

Marisa Michelini - Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università di Udine - marisa.michelini@uniud.it

Lorenzo Santi - Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università di Udine - lorenzo.santi@uniud.it

Alberto Stefanel - Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università di Udine - alberto.stefanel@uniud.it

*Abstract:* La diffrazione ottica rappresenta un fenomeno ponte nella storia della fisica. fissa il limite risolutivo di strumenti ottici e delle osservazioni stellari; fonda la base interpretativa per una molteplicità di applicazioni, come la diffrazione del suono, dei raggi X, di elettroni e di neutroni. Nel curriculum di fisica dei giovani può giocare un ruolo importante come referente concettuale su diversi piani: epistemologico, formale e di costruzione del pensiero teorico, applicativo. Le proposte didattiche della tradizione scolastica e dei libri di testo non ne focalizzano il ruolo centrale soprattutto per le difficoltà insite in una trattazione formale. Con apparati semplici, si possono effettuare semplici esplorazioni fenomenologiche di tipo tradizionale per rilevare con incertezze accettabili le posizioni dei minimi e dei massimi. Per un'analisi della distribuzione di intensità, oggi, si possono utilizzare le opportunità offerte dall'uso delle nuove tecnologie e in particolare da sensori collegati in linea con l'elaboratore. Abbiamo sviluppato un sistema di acquisizione dati di intensità luminosa e posizione e ambienti software per simulazioni costruite su modelli basati su principi primi. Una proposta didattica utilizza tali strumenti per l'analisi della distribuzione di intensità luminosa, allo scopo di costruire le leggi del fenomeno ed un parallelo lavoro di interpretazione da principi primi per quel confronto tra teoria ed esperimento che costituisce una delle basi epistemiche della fisica. La sperimentazione didattica effettuata in diversi contesti ha permesso di mettere a punto specifiche indicazioni per la scuola.

*Keywords:* Ricostruzione didattica, Diffrazione, Modelli storici, Natura della luce.

## 1. Introduzione

La diffrazione ottica rappresenta un fenomeno ponte nella storia della fisica: ha tracciato il passaggio tra il modello corpuscolare e quello ondulatorio nell'interpretazione della natura della luce e propone la comprensione dell'interferenza quantistica in un conte-

sto familiare. Essa è l'esempio reale di interferenza, fissa il limite risolutivo degli strumenti ottici sia nelle osservazioni microscopiche, sia in quelle stellari. Fonda la base interpretativa per una molteplicità di applicazioni, come la diffrazione del suono, dei raggi X, di elettroni e di neutroni. Permette, inoltre, di comprendere nella sua potenzialità interpretativa il principio di Huygens-Fresnel, offrendo significativa occasione di raccordo tra ipotesi interpretative (modellizzazione e simulazione) ed esperimento. (Gonzales 1993; Michelini *et al.* 2006).

Nel curriculum di fisica dei giovani può giocare un ruolo importante come referente concettuale su diversi piani: epistemologico, formale e di costruzione del pensiero teorico, applicativo. Le proposte didattiche della tradizione scolastica e dei libri di testo non ne focalizzano il ruolo centrale soprattutto per le difficoltà insite in una trattazione formale. Semplici esplorazioni fenomenologiche, di tipo tradizionale, possono essere condotte con materiali di basso costo come puntatori laser, un capello, fenditure auto-costruite o i bordi di lame. Tali esperimenti permettono di rilevare con incertezze accettabili le posizioni dei minimi e dei massimi. Difficili e costosi diventano esperimenti con strumentazione tradizionale, in cui siano misurabili le intensità di massimi e minimi. È questo il caso in cui le tecnologie dell'informazione e comunicazione possono dare un contributo significativo e importante per la didattica (Mascellani *et al.* 1988; Hirata 1985).

Come contributo di Ricerca e Sviluppo (Lijense 1995), abbiamo messo a punto un sistema di acquisizione dati di intensità luminosa in funzione della posizione collegato alla porta USB dell'elaboratore (Gervasio, Michelini 2009). Software e ambienti di simulazione sono stati appositamente progettati, affinché gli studenti possano implementare modelli basati su principi primi concentrandosi sulle assunzioni concettuali alla base del modello e sul confronto con gli esiti sperimentali, sgravandoli della gestione degli aspetti computazionali (Santi *et al.* 1993). Lo sviluppo di tali strumenti didattici ha consentito di mettere a punto una proposta di percorso didattico, che prospetta l'analisi dei dati allo scopo di costruire le leggi del fenomeno e un parallelo lavoro di interpretazione da principi primi, per quel confronto teoria-esperimento che costituisce base epistemica della fisica (Corni *et al.* 1993; Mascellani *et al.* 1988, 1992; Michelini 2010b; Michelini *et al.* 2002, 2006).

In questo lavoro se ne presentano le caratteristiche generali, discutendo le basi teoriche dell'approccio di ricerca seguito. Si presentano infine le specifiche indicazioni per la scuola emerse dalle sperimentazioni di ricerca condotte con gli studenti sulle seguenti domande: RQ1: Come descrivono gli studenti i fenomeni quotidiani di diffrazione? RQ2: Qual è il ruolo dell'esplorazione qualitativa di fenomeni di diffrazione? RQ3: Quale è il ruolo di un'analisi quantitativa della figura di diffrazione di luce?

## 2. Impostazione dell'approccio di ricerca

Il nostro lavoro si basa sullo sviluppo di proposte basate sulla ricerca didattica in prospettiva culturale, focalizzando sulla fondazione dei concetti di base così come sui metodi e le applicazioni nella ricerca in fisica. Pur con carattere fortemente innovativo, tali

proposte sono progettate per integrarsi nel curriculum di fisica. Offrono esperienza di come la fisica moderna opera nella ricerca attiva e recupera conoscenze e modelli della fisica classica integrandoli con approcci basati sulle teorie sviluppate nel '900 (Michellini *et al.* 2015). Nei progetti didattici, si identificano percorsi verticali, che fungono da corridoi di proposte didattiche (Di Sessa 2004; Meheut, Psillos 2004) per traiettorie di apprendimento individuali e modalità di appropriazione per micro-passi concettuali (Michellini 2010a).

Il nostro approccio, secondo il riferimento teorico del *Model of Educational Reconstruction* (Duit *et al.* 2005), si basa su: A) l'individuazione della rilevanza disciplinare del contesto di studio; B) l'analisi delle modalità con cui gli studenti tipicamente apprendono, ragionano, si rapportano all'ambito disciplinare specifico; C) la ricostruzione in chiave didattica dei concetti fondanti tenendo conto di A) e B).

Si ri-analizza in termini problematici il contenuto scientifico, che si vuole affrontare, ri-costruendolo successivamente in prospettiva didattica. Ciò si integra con diversi tipi di ricerca: ricerche empiriche sui ragionamenti degli studenti durante l'apprendimento; *Design Based Research* (DBR) nella progettazione didattica; ricerca-azione in dialettica collaborativa scuola-università (Lijnse 1995; Di Sessa 2004). Gli approcci nel nostro lavoro sono basati non solo sul contenuto disciplinare (Fischer, Klemm 2005) per identificare strategie di cambiamento concettuale (Vosniadou 2008). Si pone attenzione a identificare angoli strategici e dettagli critici usati dalla conoscenza di senso comune per interpretare la fenomenologia (Viennot 1996), studiare in termini dinamici i ragionamenti dei ragazzi (Michellini 2010a), trovare nuovi approcci alla conoscenza della fisica (Viennot 1996; McDermott 2006; Michellini 2010a). Si sceglie di evitare il riduzionismo, per offrire coerenti percorsi formativi, occasioni per costruire personali apprendimenti, gestire concetti fondamentali, acquisire competenze di strumenti e metodi.

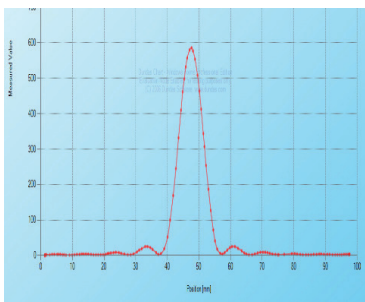
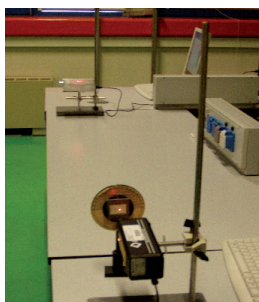
Nel caso specifico, si è già delineata nell'introduzione la rilevanza della diffrazione ottica sia nella vita quotidiana, sia nella storia della conoscenza scientifica e nelle applicazioni dell'ottica. L'interpretazione del fenomeno della diffrazione della luce richiede un'ipotesi ondulatoria sulla natura della luce e l'assunzione del solo principio di Huygens-Fresnel, secondo cui, ciascun punto di un fronte d'onda si comporta come una sorgente puntiforme secondaria. L'onda propagata è data punto per punto dalla sovrapposizione di tutte le onde sferiche secondarie. In genere la trattazione elementare della diffrazione viene effettuata nelle condizioni semplificate di Fraunhofer che si realizzano quando ad interferire sono onde piane, oppure in modo approssimato per grandi distanze  $D$  fenditura-schermo ( $D > 2m$  per fenditure  $a < 0,5$  mm). Un'analisi più completa del fenomeno richiede una trattazione alla Fresnel in cui si assumono fronti d'onda sferici (o di forma arbitraria), aperture e ostacolo qualsiasi, distanze arbitrarie. Nel nostro approccio, si propongono simulazioni che si basano sull'applicazione del principio di Huygens-Fresnel a un numero finito  $N$  di sorgenti puntiformi posizionate lungo la fenditura e che generano onde secondarie, la cui somma interferenziale (al quadrato) nel punto di osservazione ha come esito l'intensità della luce rilevata in quel punto. Al software è devoluto il calcolo della somma della sovrapposizione delle onde secondarie,

implementate indifferentemente come onde piane, sferiche o di forma arbitraria (Santi *et al.* 1993).

Sul piano dei processi di apprendimento, in questo ambito, la letteratura ha evidenziato tra i principali nodi: la tendenza degli studenti ad usare il modello geometrico per interpretare fenomeni di diffrazione, o modelli ibridi o contraddittori in situazioni diverse (Ambrose *et al.* 1999; Rabe, Mikelskis 2006); difficoltà a includere in uno schema coerente i concetti di fronte d'onda e raggio (Colin, Viennot 2000); difficoltà a considerare un'onda come una perturbazione che si propaga, esito dello spostamento dall'equilibrio del mezzo di propagazione (Wittmann 2002). Il nostro approccio, oltre che affrontare questi nodi, affronta le difficoltà legate all'uso del formalismo matematico, essenziale per la comprensione del fenomeno, ma complesso nella gestione analitica, alla rappresentazione spazio-temporale del fenomeno, al riconoscimento della relazione fra cammino ottico e fase, al ruolo fondamentale della fase nella determinazione della figura di interferenza.

### 3. La proposta didattica

La proposta didattica si basa sull'impiego del dispositivo Lucegrafo (Fig.1) (Corni *et al.* 1993; Gervasio, Michelini 2009), di specifici software di modellizzazione (Santi *et al.* 1993), di schede tutoriali di lavoro basate su un approccio *Inquiry Based Learning* (McDermott 2006; Michelini, Stefanel 2015). Mira a rendere familiari gli studenti con i tipici fenomeni dell'ottica fisica, far guadagnare loro competenza nel processo di costruzione di modelli e avere esperienza nel processo di costruzione di interpretazioni, imparare a formulare ipotesi e confrontarle con gli esiti sperimentali (Michelini 2010).



**Fig. 1.** L'apparato Lucegrafo e la distribuzione dell'intensità di luce diffratta

Il monitoraggio dei percorsi di apprendimento degli studenti viene effettuato con schede tutoriali stimolo di tipo IBL, che implementano il ciclo Previsione-Esperimento-Confronto (ciclo PEC) e questionari a risposte aperte progettati per essere utilizzati come pre/post test (McDermot 2006; Michelini 2010; Michelini, Stefanel 2015).

Nel percorso didattico, la diffrazione ottica viene proposta come contesto rilevante di per sé e come esemplificazione delle caratteristiche dei diversi fenomeni di diffrac-

zione. Si richiamano alcuni contesti in cui si osservano fenomeni di diffrazione, a partire dai più comuni fenomeni di diffrazione della luce (la luce diffratta da un CD, dalle foglie degli alberi), alla diffrazione di onde meccaniche sonore o sulla superficie dell'acqua, alla diffrazione su cristalli di raggi X o particelle quali elettroni o neutroni. Si presentano le principali conseguenze della diffrazione legate al limite del potere risolutivo degli strumenti ottici, come i microscopi, telescopi, ma anche l'occhio umano, come è stato ad esempio sfruttato dai puntinisti a cui erano noti gli studi sulla percezione del colore in particolare come esito di sovrapposizione della luce prodotta da pennellate accostate.

Lo studio specifico delle caratteristiche della diffrazione ottica viene effettuato a partire dalla acquisizione di una distribuzione di intensità di luce laser diffratta da singola fenditura con il sistema Lucegrafo (Gervasio, Michellini 2009). L'esame qualitativo della figura di diffrazione, permette di individuare le caratteristiche globali della figura quali simmetria e regolarità della distanza tra minimi (massimi). Questo motiva ad un'analisi quantitativa della distribuzione di intensità individuando le relazioni tra numero d'ordine  $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , e posizione dei minimi  $x_m$  e rispettivamente posizione dei massimi  $X_M$ .

Si riconosce in tale modo che tra  $(x_m - X_0)/D$  e  $m$  vi è una relazione di proporzionalità diretta (Fig. 2a). Al variare della larghezza  $a$  della fenditura, si ottengono rette interpolanti di pendenza diversa, il cui coefficiente angolare  $\kappa$  è inversamente proporzionale ad  $a$ . Il prodotto costante  $\kappa a$ , cambia al cambiare della sorgente laser, caratterizzando quindi una lunghezza tipica della luce utilizzata (la lunghezza d'onda  $\lambda$ ).

L'analisi svolta sui minimi suggerisce di costruire il grafico di  $(x_M - X_0)/D$  in funzione di  $M$ . Per varie fenditure si trova che il coefficiente angolare è uguale a  $\lambda/a$  ed è sempre di un valore circa doppio dell'intercetta (Fig. 2b). L'analisi dei massimi evidenzia che il picco centrale è tanto più stretto quanto più è larga la fenditura e che l'intensità dei massimi varia come l'inverso del quadrato di  $(x_m - X_0)/D$  (Fig. 2c). Nel caso ci si fermi a questa esplorazione fenomenologica, si usa la simulazione per fittare i dati e valutare i parametri in gioco (ad esempio  $\lambda$  o  $a$ ). Per proseguire invece si può o assumere  $[\sin a/a]^2$  (con  $\alpha = a \sin \theta/\lambda$ ), come funzione che rappresenta la distribuzione di intensità verificandone la sovrapposibilità con la simulazione di 50 sorgenti e/o si può attuare un approccio tramite una modellizzazione numerica o il metodo dei fasori (Michellini 2010b).

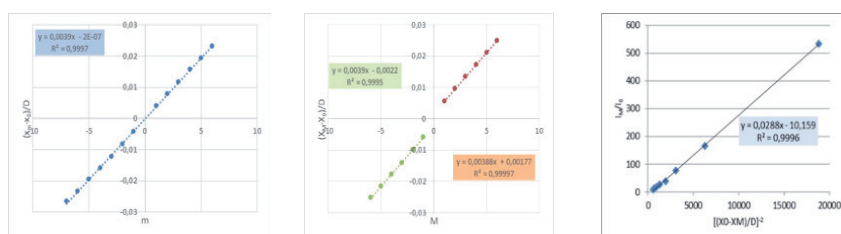


Fig. 2. Elaborazioni dei dati

#### 4. Le sperimentazioni di ricerca nelle scuole

Sono state condotte sperimentazioni di ricerca in diverse scuole e ambiti. Qui si possono riepilogare i dati comuni a un insieme omogeneo di 85 studenti di quattro classi di 5 Liceo Scientifico con cui sono state condotte sperimentazioni controllate basate sullo stesso percorso e un numero confrontabile di 10-11 ore di attività laboratoriale e pre-post test.

L'analisi degli strumenti di monitoraggio ha evidenziato che un'ampia maggioranza di studenti acquisisce competenza nel caratterizzare l'andamento qualitativo della distribuzione di intensità della diffrazione ( $>80\%$ ), come nel descriverla con le adeguate relazioni lineari tra posizione di massimi/minimi e numero d'ordine (80%). La relazione inversa tra intensità e posizione dei massimi è gestita correttamente dalla maggioranza (60%), è problematica per chi resta ancorato alla proporzionalità (40%).

È emerso più frequentemente che gli studenti caratterizzano la diffrazione come "allargamento" della luce, piuttosto che come successione di massimi e minimi (aspetto che emerge successivamente). In qualche sporadico caso nelle descrizioni viene utilizzato il concetto di raggio o che la diffrazione è associata alla formazione dei colori, non distinguendola dalla rifrazione (RQ1). Emerge come indicazione che nel percorso didattico è importante estendere l'osservazione qualitativa di situazioni in cui si ha diffrazione, ma anche di situazioni in cui non si ha diffrazione, ma che può essere con essa confusa.

In merito al ruolo dell'esplorazione qualitativa di fenomeni di diffrazione, emerge che tale esplorazione influenza il modo con cui viene effettuata l'analisi delle misure sperimentali e l'impatto che detta analisi ha sulle concezioni degli studenti (RQ2). Nel percorso didattico è, quindi, importante dedicare più tempo e attenzione all'esplorazione fenomenologica e alla discussione di ipotesi alla base delle previsioni.

L'analisi quantitativa della figura di diffrazione di luce laser da singola fenditura viene effettuata con differente attenzione agli aspetti rilevanti e senza gerarchia di quelli caratteristici del fenomeno. Il riconoscimento della regolarità della distribuzione attiva negli studenti l'esigenza di individuare come renderne conto. Il ciclo PEC e l'analisi della distribuzione di intensità attivano in modo generalizzato un cambiamento nel modo di osservare la fenomenologia della luce, nella capacità di effettuare previsioni corrette. Attiva solo in pochi (15%) la necessità di un cambiamento di modello sulla natura della luce (RQ3). Un'attività di modellizzazione e fit di dati può aiutare gli studenti a cambiare il proprio paradigma sulla natura della luce. (Michelini, Stefanel 2015).

#### 5. Conclusioni

Con l'obiettivo di costruire l'identità del fisico, è stata progettata, messa a punto e sperimentata una proposta didattica che contribuisca a dare esperienza su diversi piani:

- Epistemologico, in merito al significato di una legge del fenomeno (alla Fourier), al ruolo di un modello interpretativo e del *fitting* dei dati sperimentali, alle potenzialità predittive di una teoria



- Storico, nell'andare a vedere i limiti dell'ottica geometrica, il potere interpretativo del modello ondulatorio, le potenzialità e i limiti di ciascuna di tali interpretazioni, il dibattito sul piano storico
- Disciplinare, costruendo una proposta didattica che contribuisca a dare esperienza sui diversi piani
- Dei contenuti, discutendo le caratteristiche del fenomeno sul piano qualitativo e quantitativo, le leggi che lo caratterizzano, i modelli che lo consentono di interpretare sulla base di ipotesi teoriche di tipo ondulatorio classico (nei limiti di Fraunhofer, Fresnel), come pure basandosi su modelli puramente quantistici.
- Dei metodi, con metodologie di misure, di previsione teorica, di analisi di potenzialità e limiti di una interpretazione, potere analogico del formalismo ondulatorio
- Didattico, nel costruire una proposta organica, basata su una metodologica di ricerca (il MER) e che mira al superamento dei nodi concettuali noti in letteratura.

Ci serve il contributo di altre competenze qualificate per completarlo sul piano storico.

## Bibliografia

- Ambrose B.S., Shaffer P.S., McDermott L.C. (1999). "An investigation of students understanding of single slit diffraction". *American Journal of Physics*, 67, pp. 146-155.
- Colin P., Viennot L. (2000). "Les difficultés d'étudiants post-bac pour une conceptualization cohérente de la diffraction et de l'image optique". *Didaskalia*, 17, pp. 29-54.
- Corni F., Mascellani V., Mazzega E., Michelini M., Ottaviani G. (1993). *A simple on-line system employed in diffraction experiments*, in Pereira L.C., Ferreira J.A., Lopes H.A. (eds.), *Light and Information*. Braga: Univ. do Minho, pp. 381-388.
- Di Sessa A. (2004). *Contextuality and conceptual change*, in Redish E., Vicentini M. (eds.), *Research on Physics Education*. Bologna-Amsterdam: Italian Physical Society-IOS Press, pp. 137-150.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U. (2005). *Toward science education research: The MER*, in Fisher H.E. (ed.), *Developing Standard in RSE*. London: Taylor, pp. 1-9.
- Fischer H.E., Klemm K. (2005). "Framework for Empirical Research on Science Teaching and Learning". *Journal of Science Teacher Education*, 16, pp. 309-349.
- Gervasio M., Michelini M. (2009). *Lucegrafo. A Simple USB Data Acquisition System for Diffraction Experiments*, in Lamboune B., Mathelitsch L., Michelini M. (eds.), *MPTL14 Proceeding, CD-ROM* [online]. URL: <<http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>> [data di accesso: 01/04/2016].
- Gonzales A.M. (1993). *Light stories: a brief history of light*, in Pereira L.C., Ferreira J.A., Lopes H.A. (eds.), *Light and Information*. Braga: Univ. do Minho, pp. 38-80.

- Hirata K. (1985). *How can we use microcomputers effectively in teaching and learning physics?* In Marx G., Szucs P. (eds.), *Microcomputers in Science Education*, Vol. 1. Veszprem: International Center for Education Technology, pp. 79-84.
- Lijnse P.L. (1995). "Developmental research as a way to an empirically based didactical structure of science". *Science Education*, 79, pp. 189-199.
- Mascellani V., Mazzega E., Michelini M. (1988). *L'elaboratore on-line per lo studio di figure di diffrazione ottica*, in Vicentini M. (a cura di), *Atti del Convegno GNDF*. Pavia: SIF, pp. 251-262.
- Mascellani V., Mazzega E., Michelini M. (1992). "Un sistema per esperienze di ottica on-line". *La Fisica nella Scuola*, XXV (1), p. 132.
- McDermott L.C. (2006). "Preparing K-12 teachers in physics: Insights from history, experience, and research". *American Journal of Physics*, 74, pp. 758-762.
- Meheut M., Psillos D. (2004). "Teaching-learning sequences". *IJSE*, 26 (5), pp. 515-535.
- Michelini M. (2010a). *Building bridges between common sense and physics description*, in Menabue L., Santoro G. (eds.), *New Trends in STE*. Bologna: CLUEB, pp. 257-274.
- Michelini M. (2010b). *Diffrazione: appunti per l'attività sperimentale*, in Michelini M. (a cura di), *Proposte didattiche sulla fisica moderna*. Udine: Lithostampa, pp. 127-141
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2002). *Un percorso di esperimenti con sensori*, in Dileo V. (a cura di), *Nuovi obiettivi, curricoli e metodologie didattiche*. Bari: ADT, p. 146.
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2006). *Esperimenti e modelli in ottica fisica*, in Griggio C. (a cura di), *Incontri di discipline per la didattica*. Milano: Franco Angeli, pp. 365-392.
- Michelini M., Stefanel A. (2015). *Upper secondary students face optical diffraction using simple experiments and on-line measurements*, in Kajfasz E. Masson T., Triay R. (eds.), *Proceedings of the Conference "Frontiers of Fundamental Physics"* (Marseille, July 15-18) [online]. URL: <[http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/240/FFP14\\_240.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/240/FFP14_240.pdf)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2015). *Teaching modern physics in secondary school*, in Kajfasz E. Masson T., Triay R. (eds.), *Proceedings of the Conference "Frontiers of Fundamental Physics"* (Marseille, July 15-18) [online]. URL: <[http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/231/FFP14\\_231.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/231/FFP14_231.pdf)> [data di accesso: 01/04/2016].
- Rabe T., Mikelkis H.F. (2007). *The Role of Language in Learning Physics*, in Pintò R., Couso D. (eds.), *Science Education Research*. Barcelona: Springer, pp. 489-502.
- Santi L., Mazzega E., Michelini M. (1993). *Understand Interference by means of computer model*, in Pereira L.C., Ferreira J.A., Lopes H.A. (eds.), *Light and Information*. Braga: Univ. do Minho, pp. 372-380.
- Viennot L. (1996). *Raisonnement en physique*. Paris-Bruxelles: De Boeck Université.
- Vosniadou S. (2008). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge.
- Wittmann M.C. (2002). "The object coordination class applied to wave pulses: analysing student reasoning". *International Journal of Science Education*, 24 (1), pp. 97-118.

**SISFA – Società Italiana degli Storici della Fisica e dell’Astronomia**  
**Proceedings of the 35<sup>th</sup> Annual Conference – Arezzo 2015**

*Edited by Salvatore Esposito*

**Abstract**

The XXXV annual SISFA conference has developed through different sections, touching a number of key topics in history of science, ranging from antiquity to the 20<sup>th</sup> and even 21<sup>st</sup> century. Also, science and education in schools and museums, as well as scientific instruments and collections, have been the focus of dedicated sessions.

In addition to such “institutional” sections, which form the core subjects of the Society, the SISFA Congress has also focused on special topics related to the 2015 International Year of Light and Light-based Technologies (special session “History of Light”) and the different anniversaries having occurred during 2015, that is the centenary of Italy’s intervention in the First World War conflict (special session “Science and World War I”), the centenary of the Theory of General Relativity and the 70<sup>th</sup> anniversary of Hiroshima and Nagasaki bombing.

In particular, the session “History of Light” has stimulated reflections on important steps and aspects of the scientific approach to light as well as on some of its spectacular uses and social outcomes. The history of light has been also investigated as a fruitful resource for new ways of dealing with light and light-related subjects in science education.

Also, the session “Science and World War I” has focused mainly on the positions of Italian scientists examining important issues such as their attitude towards the War, their interaction with foreign contexts and the effects on scientific research up to the post-war period.

*Salvatore Esposito, former member of the Governing Council and secretary of the Italian Society of the Historians of Physics and Astronomy, is Full Professor (qualification) in Didactics and History of Physics and Associate Professor (qualification) in Theoretical Physics of Fundamental Interactions. His research interests range from theoretical physics, to scientific and museum popularization, to history of physics. He is considered one of the world experts on Ettore Majorana’s work.*

E-mail: [sesposit@na.infn.it](mailto:sesposit@na.infn.it)

