

Atti



# SISFA 2014

XXXIV Convegno della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia

Firenze 10-13 settembre 2014  
Museo Galileo, Piazza dei Giudici 1

## Other Venues

Palazzo Strozzi, Sala Ferri (Opening)  
Piazza degli Strozzi, Firenze  
Fondazione Scienza e Tecnica  
Via Giuseppe Giusti 29, Firenze  
Museo di Storia Naturale Sezione 'La Specola'  
Via Romana 17, Firenze

## SISFA Advisory Committee

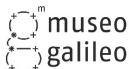
Fausto Barbagli - *Università di Firenze, ANMS*  
Fabrizio Bonoli - *Università di Bologna*  
Paolo Brenni - *CNR, Firenze, FST- Firenze*  
Salvatore Esposito - *INFN, Sezione di Napoli*  
Lucio Fregonese - *Università di Pavia*  
Leonardo Gariboldi - *Università di Milano*  
Massimo Mazzoni - *Università di Firenze*  
Giorgio Strano - *Museo Galileo, Firenze*  
Pasquale Tucci - *Università di Milano*

## Local Organizing Committee

Fausto Barbagli - *Università di Firenze, ANMS*  
Paolo Brenni - *CNR, Firenze, FST, Firenze*  
Anna Giatti - *FST- Firenze*  
Massimo Mazzoni - *Università di Firenze*  
Elena Montali - *Museo Galileo, Firenze*  
Giorgio Strano - *Museo Galileo, Firenze*

## Local Secretariat

Elena Montali - *Museo Galileo, Firenze*  
Laura Mazzucconi - *SAIt*



FONDAZIONE  SCIENZA E TECNICA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
MUSEO DI  
STORIA  
NATURALE

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



Società Italiana degli Storici  
della Fisica e dell'Astronomia

Atti del XXXIV Convegno annuale

*Proceedings of the 34<sup>th</sup> Annual Conference*

a cura di / *edited by*

Pasquale Tucci



Atti del 34. Convegno annuale / Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia ; a cura di Pasquale Tucci = Proceedings of the 34th Annual Conference / Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia ; edited by Pasquale Tucci. – Pavia : Pavia University Press, 2016. – VI, 187 p. : ill. ; 24 cm. – (Atti)

<http://archivio.paviauniversitypress.it/oa/9788869520419>

ISBN 9788869520402 (brossura)

ISBN 9788869520419 (e-book PDF)

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

© 2016 Pavia University Press, Pavia

ISBN: 978-88-6952-041-9

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: *Compasso geometrico e militare di Galileo Galilei (ca. 1606)*

© Museo Galileo, Firenze

Prima edizione: settembre 2016

Publicato 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

## **Astronomia, paleoclima ed evoluzione umana**

Elio Antonello ..... 1

## **Le origini delle ricerche sui fondamenti della meccanica quantistica nel dopoguerra in Italia**

Angelo Baracca, Silvio Bergia, Flavio Del Santo ..... 11

## **J.J. Thomson's Lagrangian approach to thermodynamics**

Stefano Bordoni ..... 19

## **La matematica fisica di Archimede nel 'libro' ad Eratostene e nel *Metrikon* di Erone**

Giuseppe Boscarino ..... 29

## **The Milanese period of Albert Einstein**

Christian Bracco ..... 39

## **A treatise on the plague by Giovanni Battista Baliani**

Danilo Capecechi ..... 47

## **Forty years without Cavendish**

Francesco Castaldi ..... 55

## **Omaggio a Galileo**

Pietro Cerreta ..... 65

## **La temperatura di colore. Ricerca fondamentale e pratica sociale**

Luigi Cerruti, Elena Ghibaudi, Emilio Marco Pellegrino ..... 75

## **La responsabilità dello scienziato. Il contributo di Joseph Rotblat**

Vincenzo Cioci ..... 85

## **La Geografia di carta di Schöner tra Cielo e Terra**

Yara De Leo, Massimo Mazzoni ..... 93

<b>A dozen formulations of quantum mechanics: a mutual comparison according to several criteria</b>	
Antonino Drago.....	103
<b>On the various historical accounts on statistical mechanics</b>	
Antonino Drago.....	113
<b>Al microscopio con gli occhi di Drude nella didattica della conduzione elettrica</b>	
Giuseppe Fera .....	123
<b>Macchine di Fisica testimoni della storia della navigazione</b>	
Laura Franchini .....	131
<b>Entropy from Clausius to Kolmogorov: historical evolution of an open concept</b>	
Emilio Marco Pellegrino, Elena Ghibaudi .....	139
<b>“Newton Geneva” Edition as research programme concerning the relationship physics-mathematics in the history and philosophy of science</b>	
Raffaele Pisano, Paolo Bussotti .....	149
<b>Alternatives to Positivism: Gaston Bachelard and Hélène Metzger</b>	
Arcangelo Rossi .....	157
<b>Gli strumenti di Fisica del Museo di Scienze Naturali “Enrico Caffi” di Bergamo</b>	
Laura Serra Perani.....	161
<b>Gabriele Bonomo nel contesto culturale palermitano del XVIII secolo</b>	
Maria Luisa Tuscano.....	171
<b>Giuseppe Lorenzoni: uomo, astronomo e maestro</b>	
Valeria Zanini .....	181
<i>Abstract</i> .....	189

# Astronomia, paleoclima ed evoluzione umana

Elio Antonello - INAF Osservatorio Astronomico di Brera  
elio.antonello@brera.inaf.it

*Abstract:* Beginning from the mid of the last century, paleoclimatology studies produced a consistent framework for an explanation of the alternation of long cold climate phases and short warm period (such as the present one of the Holocene) during the past five hundred thousand years. The various proxies, or climate indicators, such as those obtained from ocean and ice core drillings, limnology and palynology, have confirmed the relation of the paleoclimate with the insolation changes predicted by the studies of Earth orbital dynamics. Climatologists generally agree on the importance of the orbital forcing for the long term trend of the climate, and are improving the models to reproduce the complicate behaviour of the climate system. Several anthropologists and archaeologists working in prehistory and proto-history tend to consider such slow climate changes as an important factor in the evolution of our specie *Homo sapiens* and of the human societies. Therefore, on the basis of the recent results in the various disciplines, we conclude that, in order to comprehend our history, we must take into account astronomy.

*Keywords:* Paleoclimatology, anthropology, archaeology, orbital forcing.

## 1. Introduzione

Inizieremo il presente lavoro con una domanda e un'affermazione provocatorie: l'astronomia ha un'importanza fondamentale per la vita umana oppure no? Oggi è realmente indispensabile oppure si può ignorare? Se avesse un'importanza fondamentale, questa non dovrebbe essere solo di tipo culturale-intellettuale.<sup>1</sup> Inoltre, qualche lodevole ricaduta tecnologica in ambito civile, legata al progresso delle tecnologie astrofisiche, non sarebbe sufficiente, essendo una delle tante cose utili della tecnologia contemporanea. Secondo chi scrive, l'importanza fondamentale sta nel fatto che l'andamento del clima a lungo periodo sulla Terra è regolato da parametri astronomici: essi hanno determinato l'evoluzione dell'uomo, hanno pesantemente condizionato quella della società umana, e la condizioneranno anche in futuro. Il fatto è che si tratta di tempi-scala astronomici, per cui noi semplicemente li ignoriamo, in quanto l'impellenza dei problemi quotidiani ci assorbe totalmente. Però, lassù, i cieli

---

<sup>1</sup> Infatti, per dire che non si tratterebbe di una cosa indispensabile qualcuno potrebbe applicare anche al nostro caso il detto: "con la cultura non si mangia".

sembrano dirci: “Fate pure. Noi, intanto, continuiamo, ineluttabilmente, il nostro moto, con i suoi effetti inesorabili sulla Terra e sul vostro destino.”<sup>2</sup>

## 2. Dinamica

La storia della Terra è iniziata circa 4 miliardi e mezzo di anni fa. I fossili dicono che la comparsa nel mare delle prime cellule si ha dopo quasi un miliardo di anni, mentre le prime forme di vita complessa, multicellulare, sono certamente presenti dopo altri tre miliardi di anni circa. (Butterfield 2011) L'evoluzione successiva è stata segnata in particolare da una serie di grandi estinzioni di massa, per le quali non sono da escludere anche delle cause cosmiche o astronomiche, oltre al famoso asteroide i cui effetti avrebbero portato all'estinzione dei dinosauri. Noi ci occuperemo delle ultime centinaia di migliaia di anni, sottolineando il fatto che pressoché tutti gli studiosi concordano sulla dipendenza del paleoclima dai parametri dell'orbita terrestre (eclittica).

L'obliquità, l'eccentricità, la precessione astronomica, il perielio, e lo stesso piano dell'eclittica variano con tempi-scala definiti dagli effetti gravitazionali degli altri pianeti e degli asteroidi, oltreché del Sole e della Luna. Per l'eccentricità i tempi-scala sono molto lunghi, circa 100.000 e 400.000 anni. L'obliquità, cioè l'angolo tra l'asse di rotazione della Terra e quello dell'eclittica (oggi circa 23°), varia di un paio di gradi con periodo di circa 41.000 anni. L'effetto combinato della precessione astronomica<sup>3</sup> e del moto degli apsidi (longitudine del perielio) dà origine alla precessione climatica: le stagioni 'ruotano' con periodo di circa 19.000 – 23.000 anni. Infine, l'inclinazione del piano dell'eclittica varia, insieme alla longitudine dei nodi, rispetto a quello di riferimento del Sistema Solare.

Le equazioni della meccanica celeste che rappresentano il moto della Terra intorno al Sole sono risolubili mediante metodi numerici e approssimazioni, o per integrazione numerica diretta. Negli ultimi decenni, lavori accurati in tale ambito e finalizzati alla paleoclimatologia sono stati quelli di Berger (1976, 1978). Tra gli sviluppi più recenti si possono ricordare i lavori del gruppo di Laskar *et al.* (2011).

## 3. Insolazione

Il tramite per collegare la dinamica al clima è dato dall'insolazione, cioè quanta energia solare raggiunge un punto sulla Terra, calcolandone la variazione nel corso dei millenni per una certa data nell'anno e ora del giorno. Si ottengono così delle serie temporali, lunghe anche milioni di anni, e dalla loro analisi si ricavano le periodicità presenti e la rispettiva ampiezza. I termini preponderanti sono quelli dovuti alla precessione

---

<sup>2</sup> L'affermazione così espressa ha un vago sentore astrologico; qui però si ha a che fare con effetti concreti, misurabili e misurati.

<sup>3</sup> Di solito l'effetto della precessione astronomica (che ha un periodo di circa 26.000 anni) viene descritto con un cerchio perfetto rappresentante il moto medio del Polo Celeste rispetto alle stelle fisse; in realtà, a causa della variazione dell'obliquità, la traiettoria reale del Polo non è un cerchio che si chiude.



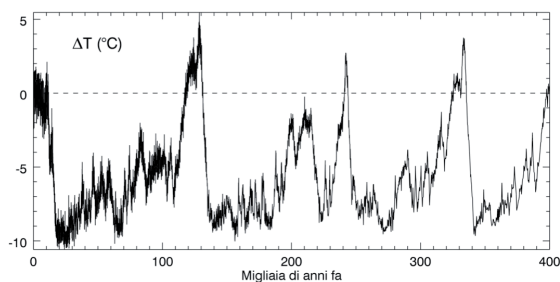
climatica e hanno ampiezza decrescente andando dall'equatore ai poli, mentre le ampiezze dei termini legati all'obliquità dell'eclittica crescono allontanandosi dall'equatore. (Berger, Loutre 1994) I termini dell'eccentricità hanno ampiezza piccola; eppure l'effetto cumulativo sul clima appare significativo, perché il sistema-clima risponde in modo fortemente non lineare.

I paleoclimatologi hanno cercato un collegamento con i periodi ricavati dai dati dei *proxies*, cioè gli indicatori climatici intermedi, alcuni dei quali sono illustrati nella prossima Sezione. Secondo Berger e Loutre (1994) si possono certamente studiare situazioni di data, ora e latitudine per quanto riguarda l'insolazione, ma non ci si può limitare a un confronto qualitativo tra i periodi ricavati da questa analisi e quelli osservati nei *proxies*; è necessario costruire modelli adeguati della risposta complicata del sistema climatico terrestre al fine di avere un reale progresso nella sua conoscenza.

Durante l'Ottocento erano state avanzate delle ipotesi sui possibili legami tra l'astronomia e i periodi glaciali che si andavano deducendo dai dati geologici. Milankovitch, negli anni Quaranta del secolo scorso, aveva raccolto in un trattato i suoi studi relativi a questo argomento, proponendo una teoria riguardante il possibile effetto dell'insolazione. Le prime verifiche osservative erano state poi effettuate da Cesare Emiliani, che aveva sviluppato la paleo-oceanografia e gettato le basi metodologiche per gli studi di paleoclimatologia. (Emiliani 1955) Un primo lavoro di riferimento per le conferme e i miglioramenti alla teoria di Milankovitch è quello di Hays, Imbrie e Shackleton (1976).

#### 4. *Proxies*

Esistono parecchi *proxies*, o indicatori intermedi, e qui ne ricorderemo solo alcuni. Cominciamo con i carotaggi dei ghiacci, come quelli effettuati in Antartide. Nelle località con ghiacci 'perenni' ogni anno si forma un nuovo strato di neve, con inclusioni portate dal vento, quali polvere, ceneri (prodotte da vulcani o incendi), pollini. Gli indicatori climatici principali che si ricavano dagli strati sono gli eccessi dell'isotopo di ossigeno ( $^{18}\text{O}$ ) e del deuterio D (isotopo di idrogeno H) contenuti nella molecola dell'acqua,  $\text{H}_2\text{O}$ . L'ossigeno è presente in natura nei tre isotopi stabili,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$ , e in condizioni standard le loro percentuali sono 99,763% ( $^{16}\text{O}$ ), 0,037% ( $^{17}\text{O}$ ) e 0,200% ( $^{18}\text{O}$ ). La molecola d'acqua con l'isotopo  $^{18}\text{O}$  è un po' più pesante e un po' meno volatile di quella con  $^{16}\text{O}$ , e da questa differenza fisica deriva la presenza di percentuali isotopiche leggermente diverse rispetto alle standard, a seconda delle condizioni climatiche e di come si è svolto il ciclo dell'acqua. Ciò che si ricava dalle misure con gli spettrometri di massa è la variazione del rapporto  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  rispetto a un campione standard, espresso in per mille e rappresentato con il simbolo  $\delta^{18}\text{O}$ ; una formula empirica lega poi l'eccesso  $\delta^{18}\text{O}$  alla temperatura. Un discorso analogo può essere fatto per il rapporto deuterio/idrogeno,  $^2\text{H}/^1\text{H}$  o D/H, e il rispettivo eccesso, espresso come  $\delta\text{D}$ . L'andamento degli eccessi isotopici è chiaramente periodico: negli ultimi 400.000 anni si nota un'alternanza di brevi fasi calde come quello attuale (in corso da circa 10.000 anni) e lunghe fasi fredde (Fig. 1).



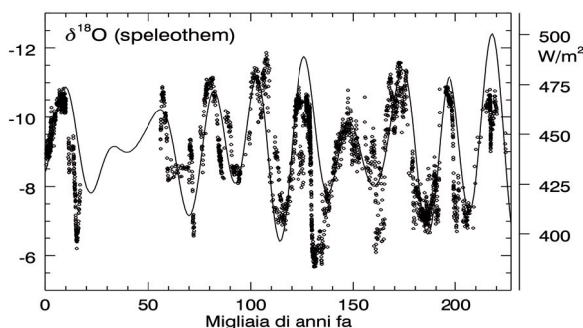
**Fig. 1.** Andamento della temperatura media in Antartide negli ultimi 400.000 anni, derivata dall'eccesso di deuterio; la variazione è rispetto alla temperatura media attuale (Jouzel *et al.* 2007)

Nel ghiaccio resta intrappolata anche dell'aria, e quindi saranno presenti molecole di vari gas, come ossigeno  $O_2$  e azoto  $N_2$ . Per esempio, Kawamura *et al.* (2007) hanno rilevato che il rapporto  $O_2/N_2$  segue l'andamento dell'insolazione estiva. In altre parole, questo *proxy* non indica tanto il clima, quanto le caratteristiche fisiche legate alle condizioni di insolazione, e perciò risulta molto interessante per la teoria di Milankovitch.

Un altro *proxy* è dato dai carotaggi in acque oceaniche profonde, dove molto materiale è costituito da depositi di foraminiferi.<sup>4</sup> In questo caso, si studia il rapporto  $\delta^{18}O$  per l'ossigeno contenuto nella molecola di carbonato di calcio. I risultati sono uniformi per tutte le latitudini e longitudini dove sono stati effettuati i carotaggi (Lisiecki, Raymo 2005), e l'andamento è simile a quello di  $\delta D$  osservato nei ghiacci in Antartide.

Dall'analisi delle serie di dati dedotti tramite i *proxies* si ottengono sempre come termini principali alcuni o tutti i periodi corrispondenti alle variazioni di insolazione (19.000 e 23.000, 41.000 e circa 10.0000 anni) e alle loro combinazioni non lineari. Ricordiamo che in alcuni casi, come i carotaggi oceanici, la scala temporale è incerta, per cui si applica il metodo poco rigoroso dell'*orbital tuning*. Si esegue graficamente una correlazione tra l'andamento del *proxy* e la curva di variazione di un parametro astronomico come l'obliquità. Di conseguenza, dall'analisi della serie temporale si ottiene ovviamente un picco ben definito per il periodo di 41.000 anni; ma dall'analisi si rileva anche la presenza degli altri periodi astronomici, come quello della precessione climatica, e ciò rende credibili i risultati. L'uso di una datazione mediante radioisotopi, quando possibile, permette di superare i limiti del *tuning*. Per esempio, dagli *speleothem* (stalattiti, stalagmiti) si ottengono i valori di  $\delta^{18}O$  relativi all'ossigeno del carbonato di calcio formatosi per deposito nelle caverne; questi valori, datati con i radioisotopi, mostrano una corrispondenza notevole con le curve di insolazione (Fig. 2). (Wang *et al.* 2008) Si noti la variazione negli ultimi 10.000 anni, con la diminuzione di insolazione; a essa ha corrisposto l'indebolimento del monzone asiatico e una progressiva aridità (Wang *et al.* 2005), cosa che avrebbe avuto un impatto non indifferente sulle civiltà (v. Sez. 5.2).

<sup>4</sup> Si tratta di organismi unicellulari con guscio mineralizzato presenti nei fondali (bentonici).



**Fig. 2.** Andamento di  $\delta^{18}\text{O}$  relativo all'ossigeno del carbonato di calcio in stalagmiti in caverne in Cina (Wang *et al.* 2008); la curva continua è un esempio di insolazione (Berger 1978; latitudine:  $65^\circ\text{N}$ , epoca: metà luglio)

Un altro *proxy* significativo sono i pollini, perché registrano il cambiamento di vegetazione legato alle variazioni climatiche. Sul fondo di laghi vulcanici si depositano i pollini della vegetazione circostante, che possono conservarsi a lungo nelle stratificazioni; le loro diverse forme indicano le varie specie vegetali che li hanno prodotti. Per esempio, Allen *et al.* (1999) hanno effettuato carotaggi nel Lago Grande di Monticchio, sul vulcano spento del Vulture in Basilicata, e dall'analisi hanno dedotto l'andamento dei diversi tipi di vegetazione. Nel complesso, esso segue le variazioni di temperatura stimate in Antartide (o in Groenlandia). Negli ultimi 10.000 anni circa c'è stata localmente una preponderanza di boschi di latifoglie e di abeti, e poca presenza di erba; in precedenza, fino a 14.000 anni fa, era preponderante l'erba (graminacee selvatiche) e c'era una significativa presenza di pini e betulle (alberi di alta montagna). In altre parole, per molte decine di migliaia di anni si è avuto un ambiente stepposo tipico della tundra alpina o siberiana, invece dell'attuale bosco temperato.

## 5. Evoluzione della società umana

Anche se nella presente nota consideriamo soprattutto gli effetti sull'evoluzione della civiltà dell'*Homo sapiens*, ricordiamo dapprima gli studi recenti di paleoantropologia, che suggeriscono un effetto del clima sulla stessa evoluzione darwiniana degli 'ominini' in Africa negli ultimi milioni di anni. (deMenocal 2014; Potts 2013) Secondo questi studi, l'alternanza di climi umidi (ambiente con prevalenza di foreste) e secchi (prevalenza di savana), con periodo dato dalla precessione climatica, avrebbe avuto un effetto di tipo cumulativo sulle specie. L'evoluzione del genere *Homo* quindi non sarebbe consistita, come generalmente ritenuto fino a qualche tempo fa, in un singolo salto dall'ambiente della foresta a quello della savana, con conseguente sviluppo di bipedismo e intelligenza, ma sarebbe stata il risultato della risposta delle specie

all'alternanza di ambienti dovuta all'andamento a lungo periodo del clima. (deMenocal 2014)

### **5.1. Nascita dell'agricoltura**

La nostra specie *Homo sapiens* si è formata in Africa orientale, circa 200.000 anni fa secondo l'analisi genetica (McDougall *et al.* 2005), ed è uscita dall'Africa varie volte, ma l'effettiva dispersione sarebbe avvenuta quasi 50.000 anni fa, più rapidamente in Asia meridionale e più lentamente in Europa. La genetica mostra che ci sono stati degli incroci con le popolazioni ivi presenti, come *Neandertals* e *Denisovans*. (Gibbons 2011) In Europa, i nostri antenati hanno vissuto di caccia, pesca, e raccolta, e hanno dimostrato una certa creatività nei grandi dipinti (come la grotta di Lascaux) e nelle sculture (come le cosiddette Veneri). Quindi avevano presumibilmente le nostre stesse capacità intellettive. Tutto ciò potrebbe suscitare meraviglia: è come se per decine di migliaia di anni i nostri antenati abbiano 'dormito', e si siano 'svegliati' di colpo poche migliaia di anni fa decidendo di creare le civiltà complesse. È il paradosso del *sapiens* discusso per esempio da Renfrew (2007). Una possibile spiegazione potrebbe essere proprio il clima, che nel Paleolitico fu freddo, secco e instabile, per niente adatto all'agricoltura.

Nel giro di poche migliaia di anni, il clima poi è cambiato completamente, diventando caldo e umido, e i nostri antenati sono stati costretti a sviluppare una diversa economia. A partire da circa 11.000 anni fa si nota, nei reperti archeologici, il passaggio graduale dalle specie selvatiche di cereali a quelle domestiche. Gli archeologi si sono comunque chiesti se proprio non ci sia stata agricoltura anche prima. Per esempio, sono stati trovati siti stanziali risalenti a più di 20.000 anni fa nel Levante (Ohalo II; Watkins 2010); però vi si viveva di caccia e raccolta, come facevano da sempre i cacciatori nomadi. Il passaggio deciso alla stanzialità si ha dopo la fine della glaciazione, nella Mezzaluna Fertile, un'area che va dall'Egitto al Golfo Persico. (Willcox 2013) Dopo il periodo pre-ceramico Natufiano e Khiamiano (circa 13.000 – 11.500 anni fa) coincidente con l'improvviso ritorno del freddo nell'epoca Younger Dryas (Balter 2010), nelle zone collinari intorno a Tigri ed Eufrate circa 11.500 – 10.500 anni fa abbiamo le prime indicazioni di attività agricole. (Willcox 2013) È l'epoca del cosiddetto *optimum* climatico caldo-umido, quando anche il Sahara e l'Arabia, per qualche migliaio di anni, non erano aridi come oggi, bensì verdi, ricchi di laghi e savane. (Cremaschi *et al.* 1998, Brooks 2006) Dopo questa fase, il progressivo cambiamento di insolazione avrebbe indotto il graduale inaridimento.

### **5.2 Civiltà complesse e loro crisi**

In Mesopotamia si arriva alla formazione della cultura di Ubaid intorno a 7.500 anni fa, con presenza di villaggi sparsi dal Golfo Persico fino alla Siria; gli archeologi suggeriscono che si trattava di piccole unità indipendenti, ma con una forma culturale

comune. (Lawler 2012) Qualche millennio dopo, troviamo invece le grandi città (Uruk). Un elemento importante in questa evoluzione sociale sarebbe appunto l'andamento del clima, legato alla variazione di insolazione, e progressivamente sempre più arido. Data la diminuzione delle piogge, si è avuto un graduale trasferimento della popolazione in prossimità di fiumi e corsi d'acqua; in Mesopotamia si è dovuto far fronte alle difficoltà anche mediante l'irrigazione, costruendo canali artificiali.<sup>5</sup> Come affermato da Brooks (2006, p. 44) in una *review* dettagliata:

While much work needs to be done on the links between environmental deterioration and the emergence of complex, organized, state-level societies, the case for climate change induced aridification as the principal driving force behind the development of the first 'civilizations' is strong.

Negli ultimi 10.000 anni ci sono state inoltre alcune fasi di clima ulteriormente secco o freddo, rilevate nell'Atlantico settentrionale, chiamate 'Bond events' (Bond *et al.* 1997), della durata di un paio di secoli e con periodicità media di circa 1.500 anni. Non c'è concordanza sulle possibili cause, ma a noi interessa far notare che anche in questo caso è stata proposta da alcuni un'azione cosmico-astronomica (attività solare, oppure effetti mareali lunari a lungo periodo (Wang *et al.* 2005; Keeling, Whorf 2000), pur se l'enfasi è stata comunque posta sulla dipendenza del clima dalla circolazione oceanica, da quella atmosferica e dalla relazione con i ghiacci nell'Atlantico Settentrionale. A questi eventi avrebbe corrisposto un blocco del sistema monsonico asiatico, con accentuata aridità, e conseguenti terribili ripercussioni sulle civiltà dell'epoca. Gli episodi più pesanti furono forse quelli di circa 8.000 e 4.000 anni fa. Qui ricordiamo il secondo: tra 4.200 e 4.000 anni fa si ebbe il crollo dell'impero di Akkad in Mesopotamia, il passaggio traumatico dall'Antico al Medio Regno in Egitto e il crollo della civiltà neolitica in Cina.<sup>6</sup> (deMenocal 2001; Hassan 2007; Wang *et al.* 2005)

## 6. Conclusione

La teoria della dinamica del sistema solare e dei suoi effetti sull'orbita terrestre, e l'insolazione, sono ben definiti. Il grosso del lavoro teorico riguarda la modellistica del sistema climatico che risponde a queste sollecitazioni esterne (*orbital forcing*). Non ci sono risultati definitivi. Di definitivo, però, ci sarebbe l'importanza dell'*orbital forcing*. A quanto pare, non ci sono altre teorie plausibili oltre a quella orbitale, ed è questa mancanza di alternative a impressionare maggiormente. I lavori di paleoclimatologia, geologia, antropologia, preistoria e archeologia degli ultimi decenni tendono a formare un quadro progressivamente sempre più complesso ma allo stesso tempo internamente

---

<sup>5</sup> Si può presumere che per costruire canali sia richiesto il lavoro coordinato di molte persone, e un'attività specializzata per realizzare l'attrezzatura adeguata, per cui sarebbero necessari gli agglomerati urbani.

<sup>6</sup> Ci furono successivi problemi anche per la civiltà di Harappa in India. (Schug *et al.* 2013) In realtà, non sembra che l'aridità fosse stata globale, perché in alcune zone della Cina si ebbero molte piogge e inondazioni, che furono comunque devastanti per l'agricoltura (Wenxiang, Tungsheng 2004); non bisognerebbe quindi pensare ad aridità generale, piuttosto a degli eventi climatici estremi.

coerente, e ci suggeriscono che, per capire la storia dell'evoluzione della nostra specie e della civiltà umana (e soprattutto le sue prospettive future), non si può fare a meno dell'astronomia.

## Bibliografia

- Allen J.R.M., Brandt U., Brauer A., Hubberten H.-W., Huntley B., Keller J., Kraml M., Mackensen A., Mingram J., Negendank J.F.W., Nowaczyk N.R., Oberhansli H., Watts W.A., Wulf S., Zolitschka B. (1999). "Rapid Environmental Changes in Southern Europe during the Last Glacial Period". *Nature*, 400, pp. 740-743.
- Balter M. (2010). "The tangled roots of agriculture". *Science*, 327, pp. 404-406.
- Berger A.L. (1976). "Obliquity and precession for the last 5000000 years". *Astronomy and Astrophysics*, 51, pp. 127-135.
- Berger A.L. (1978). "Long term variations of daily insolation and Quaternary climatic changes". *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35, pp. 2362-2367.
- Berger A., Loutre M.F. (1994). *Precession, Eccentricity, Obliquity, Insolation and Paleoclimates*, in Duplessy J.C., Spyridakis M.T. (eds.), *Long-Term Climatic Variations; Data and Modelling*, NATO ASI Series, Serie I: Global Environmental Change, vol. 22. Berlin: Springer, pp. 107-151.
- Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., deMenocal P., Priore P., Cullen H., Hajadas I., Bonani G. (1997). "A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates". *Science*, 278, pp. 1257-1266.
- Brooks N. (2006). "Cultural responses to aridity in the Middle Holocene and increased social complexity". *Quaternary International*, 151, pp. 29-49.
- Butterfield N.J. (2011). "Terminal developments in Ediacaran embryology". *Science*, 334, pp. 1655-1656.
- Cremaschi M., di Lernia S. (1998). *The geoarchaeological survey in central Tadrart Acacus and surroundings (Lybian Sahara): environment and cultures*, in Cremaschi M., di Lernia S. (eds.), *Wadi Teshuinat: Palaeoenvironment and prehistory in south-western Fezzan (Lybian Sahara)*. Milano: Centro Interuniversitario di Ricerca per le Civiltà e l'Ambiente del Sahara Antico, pp. 234-296.
- deMenocal P.B. (2001). "Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene". *Science*, 292, pp. 667-673.
- deMenocal P.B. (2014). "Climate shocks". *Scientific American*, 2014, pp. 48-53.
- Emiliani C. (1955). "Pleistocene temperatures". *Journal of Geology*, 63, pp. 538-578.
- Gibbons A. (2011). "A new view of the birth of Homo sapiens". *Science*, 331, pp. 392-394.
- Hassan F.A. (2007). *Drought, famine and the collapse of the Old Kingdom: re-reading Ipuwer*, in *The Archaeology and Art of Ancient Egypt, Vol. I*. Le Caire: Conseil Suprême des Antiquités de l'Égypte, pp. 357-377.
- Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.J. (1976). "Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the Ice Ages". *Science*, 194, pp. 1121-1132.

- Jouzel J., Masson-Delmotte V., Cattani O., Dreyfus G., Falourd S., *et al.* (2007). “Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years”. *Science*, 317, pp. 793-796.
- Kawamura K., Parrenin F., Lisiecki L., Uemura R., Vimeux F., *et al.* (2007). “Northern Hemisphere forcing of climatic cycles in Antarctica over the past 360,000 years”. *Nature*, 448, pp. 912-916.
- Keeling C.D., Whorf T. (2000). “The 1,800-year oceanic tidal cycle: A possible cause of rapid climate change”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97 (8), pp. 3814-3819.
- Laskar J., Fienga A., Gastineau M., Manche H. (2011). “La2010: a new orbital solution for the long-term motion of the Earth”. *Astronomy and Astrophysics*, 532 (A89), pp. 1-15.
- Lawler A. (2012). “Uncovering civilization’s roots”. *Science*, 335, pp. 790-793.
- Lisiecki L.E., Raymo M.E. (2005). “A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records”. *Paleoceanography*, 20 (PA1003), pp. 1-17.
- McDougall I., Brown F.H., Fleagle J.G. (2005). “Stratigraphic placement and age of modern humans from Kibish, Ethiopia”. *Nature*, 433, pp. 733-736.
- Potts R. (2013). “Hominin evolution in settings of strong environmental variability”. *Quaternary Science Reviews*, 73, pp. 1-13.
- Renfrew C. (2007). *Prehistory. The making of the human mind*, London. Phoenix: Orion Books Ltd.
- Schug G.R., Blevins K.E., Cox B., Gray K., Mushrif-Tripathy V. (2013). “Infection, disease, and biosocial processes at the end of the Indus Civilization”. *PLOS ONE* 8, e84814, pp. 1-20.
- Wang Y., H. Cheng, R.L. Edwards, Y. He, X. Kong, Z. An, J. Wu, M.J. Kelly, C.A. Dykoski, X. Li (2005). “The Holocene Asian Monsoon: links to Solar Changes and North Atlantic climate”. *Science*, 308, pp. 854-857.
- Wang Y., H. Cheng, R.L. Edwards, X. Kong, X. Shao, S. Chen, J. Wu, X. Jiang, X. Wang, Z. An (2008). “Millennial-and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years”. *Nature*, 451, pp. 1090-1093.
- Wenxiang W., Tungsheng L. (2004). “Possible role of the ‘Holocene Event 3’ on the collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain in China”. *Quaternary International*, 117, pp. 153-166.
- Watkins T. (2010). “New light on Neolithic revolution in south-west Asia”. *Antiquity*, 84, pp. 621-634.
- Willcox G. (2013). “The roots of cultivation in Southwestern Asia”. *Science*, 341, pp. 39-40.





# Le origini delle ricerche sui fondamenti della meccanica quantistica nel dopoguerra in Italia

Angelo Baracca - Università degli Studi di Firenze - baracca@fi.infn.it

Silvio Bergia - Università degli Studi di Bologna - silvio.bergia@bo.infn.it

Flavio Del Santo - University of Vienna - delsantoflavio@gmail.com

*Abstract:* A recent publication by David Kaiser has reconstructed the renewed interest toward the Foundation of Quantum Mechanics in the USA in the 1970s, in a 'New Age' mood and with the aim of totally unconventional results (telepathy, psychokinesis), that helped in paving the way for the modern Quantum Information. This has stimulated the present authors to reconstruct the phases of interest towards this problems, previously developed (and never really dead) in Italy. In the postwar period the school of Caldirola resumed the interest on FQM, devoting their interest toward the measurement problem already in the early 1960s. (Daneri *et al.* 1962)

At the end of 1960s Franco Selleri retook the interest on the problem of the Hidden Variables. (Selleri 1969a; Selleri 1969b) In 1967 the theoretical group of the University of Bologna promoted a series of internal seminars to discuss the major publications on foundations of quantum mechanics.

The critical spirit that was spreading among the young graduates, brought an increasing interest towards such a topic.

In 1969 Selleri proposed to the Steering Committee of the Italian Physical Society (SIF) to devote one of the courses of the International School of Varenna to the foundations of quantum mechanics, that was indeed organized in the summer 1970. (D'Espagnat 1971)

The group of Baracca and Bergia was afterwards actively involved in the research on these problems. Also the group of Giancarlo Ghirardi in Trieste was later very active on fundamental problems.

In the same frame of unrest, a course in Varenna on History of Physics was organized in 1972, again proposed by Selleri in 1970.

Compared with the fundamental American results, in Italy this research activity was more politicized and also more formal, but it did not anticipate the prolific field of Quantum Information.

*Keywords:* Foundation of Quantum Mechanics, History of Physics

## 1. Il movente di questa ricerca

Nel 2012 David Kaiser ha pubblicato un eccellente libro, *How the Hippies Saved Physics*<sup>1</sup> (Kaiser 2012), nel quale, con grande completezza di dettagli, egli ricostruisce

---

<sup>1</sup> Vincitore del 'Davis Prize' per la Storia della Scienza nel 2013.

la ripresa dell'interesse per i "Fondamenti della Meccanica Quantistica" (FMQ) negli Stati Uniti alla metà degli anni Settanta, dopo molti anni nei quali era prevalsa una concezione pragmatica della teoria, espressa dalla consegna: 'Zitto e calcola!'. Tale ripresa coincise con la crisi che portò a drastici tagli alla ricerca: la conseguente crisi d'identità e le difficoltà d'impiego dei giovani ricercatori incrinarono il mito della ricerca scientifica. Nacque così a Berkeley il *Fundamental Fysiks Group*. Questa attività si intrecciò con il clima *New Age*, l'interesse per il misticismo orientale e l'assunzione di droghe psichedeliche. Il gruppo si pose obiettivi che travalicavano i confini del rigore scientifico, dalla lettura e trasmissione del pensiero alla telecinesi. Eppure essi aprirono concettualmente la strada ai fondamentali progressi dell'informazione quantistica.

Il libro di Kaiser ci ha condotto ad osservare che in Italia l'interesse verso i FMQ nacque circa 10 anni prima (e forse non era mai morto) e diede origine a uno specifico campo di ricerca. Ma il clima in Italia fu completamente diverso, fortemente politicizzato, trovando le sue radici anche nelle contestazioni studentesche del '68 (che coinvolsero poi ricercatori e tecnici, sull'onda delle lotte operaie dell'Autunno Caldo, nonché del Maggio francese). Di questa ripresa dell'interesse per i FMQ furono protagonisti anche in Italia giovani ricercatori che cercarono di tradurre concretamente nel loro lavoro specifico le rivendicazioni di trasformazione sociale, sollevando critiche sull'impostazione della scienza e sui suoi contenuti sviluppati storicamente: cioè sulla 'non neutralità' della scienza. Tuttavia l'impostazione dei giovani fisici italiani, proprio perché cercava 'alternative' scientifiche, non sconfinò verso domande metafisiche, ma si svolse sempre con rigore scientifico. Non riuscì quindi – si potrebbe dire paradossalmente – a 'vedere lontano' e non anticipò le vere novità dell'informazione quantistica.

In questa relazione sintetizziamo i principali risultati della nostra ricerca su questo tema (un lavoro più dettagliato è in preparazione).

## **2. Tradizione e ripresa di interesse per i FMQ in Italia**

L'interesse per i FMQ in Italia non era mai morto. Piero Caldirola a Milano aveva scritto un opuscolo e una voce sull'Enciclopedia Treccani (Caldirola 1961) e i suoi allievi avevano pubblicato un'interpretazione del processo della misura in MQ (Daneri *et al.* 1962) che ricevette attenzione a livello internazionale.

Anche Bruno Ferretti a Bologna coltivò un interesse per i FMQ e promosse nel 1967, un ciclo di seminari interni, in cui i componenti del Gruppo Teorico di Bologna studiarono ed esposero i più importanti lavori sul tema. Nel frattempo uno dei giovani fisici bolognesi più brillanti, Franco Selleri, aveva maturato una profonda insoddisfazione per la struttura della MQ, avviando una riflessione che lo avrebbe portato ad essere, negli anni successivi, il vero animatore di questo campo di ricerca. Nel 1969 Selleri pubblicò un primo lavoro (Selleri 1969a) e nel giugno-luglio svolse un ciclo di lezioni a Frascati. (Selleri 1969b) Ivi egli esprimeva l'idea che la MQ è una teoria dogmatica perché gli assiomi non sono verificabili, e assumeva una posizione

realistica, formulando un *realistic postulate* secondo il quale la particella è sempre associata a un'onda oggettivamente esistente (come una barca e l'onda su un lago), sebbene l'onda non sia osservabile, ma sia una variabile nascosta (*hidden variable*).

### 3. Contesto generale. Inquietudini e impegno dei giovani fisici di sinistra

Il sempre più diffuso clima di contestazione eruppe nella comunità dei fisici italiani il 21/10/1968, quando l'assemblea dei soci al Congresso della Società Italiana di Fisica (SIF) a Roma “viene interrotta bruscamente dopo che un rappresentante del Movimento Studentesco chiede la parola e seguono tumulti.” (Bollettino SIF 1968, p. 7)

Il malessere che si diffuse in Italia alla fine degli anni sessanta verso i contenuti e l'impostazione della ricerca scientifica condusse, come si è anticipato, all'attiva ricerca verso problematiche nuove, e all'interesse per l'origine storico-critica della struttura scientifica attuale. Riassumiamo le principali motivazioni e proposte concrete:

La critica ai FMQ venne concepita da alcuni come un aspetto concreto dell'analisi critica dei limiti e dell'ideologia della fisica.

Si sviluppò poi un interesse per una riflessione storica per capire le radici sociali e ideologiche della scienza contemporanea. Essa si ispirò direttamente all'impostazione marxista, che in Italia aveva una solida tradizione, per lo più di formazione umanistica, con Ludovico Geymonat e la sua scuola, che si rifacevano al materialismo dialettico. Ma le posizioni dei giovani contestatori entrarono in rotta di collisione con quelle tradizionali del marxismo. Si formò infatti tra i giovani fisici e matematici una nuova generazione di storici della scienza che si rifacevano in generale al materialismo storico, e affermavano tra l'altro la necessità che la scienza venisse analizzata nel merito, con le competenze che mancavano ai filosofi.

Dal malessere per la prassi scientifica si sviluppò una critica all'impostazione della ricerca, soprattutto nella fisica delle Alte Energie. Vediamo succintamente le iniziative concrete che si svilupparono da queste basi.

### 4. 1969: origini dei corsi di Varenna sui FMQ (1970) e sulla Storia della Fisica (1972)

La nuova generazione dei fisici si mosse inizialmente nell'ambito della SIF, i cui congressi ed iniziative successive costituirono anche occasioni di incontro e dibattito. Nel 1969 Selleri entrò nel Consiglio di Presidenza (CP) della SIF, di cui già faceva parte Marcello Cini, e da quella sede propose e sviluppò importanti iniziative.

Nel 1969 Selleri propose di organizzare alla Scuola Internazionale 'Enrico Fermi' di Varenna, per l'estate 1970, un corso sui FMQ (SIF Cons. Pres. 1969a, p. 122): la proposta sollevò interesse e discussione nelle sedute successive, Cini propose Bernard D'Espagnat come Direttore del corso e Selleri come Segretario.

Nella seduta del CP dell'11 ottobre, Selleri avanzò una proposta che testimoniava l'intreccio di molteplici stimoli diversi, proponendo che la SIF rinunciaste al finanziamento della NATO – intesa come organizzazione militare – di 13 milioni di

Lire. (SIF Cons. Pres. 1969b, p. 89) Nel 55° Congresso della SIF, tenutosi lo stesso mese a Bari, l'Assemblea dei soci discusse a lungo la proposta ed infine l'approvò.

Nel 1970 il CP prese altre decisioni molto significative: mentre ancora Selleri proponeva nella seduta del 07/02/1970 di tenere a Varenna un corso sulla Storia della Fisica, il CP decise, nella seduta del 26/03/1970, di organizzare in giugno delle giornate di studio a Firenze sulla 'Scienza nella società capitalistica' (pubblicate da De Donato nel 1971).

## 5. La Scuola di Varenna sui FMQ, 1970

Al corso di Varenna dell'estate 1970 (D'Espagnat 1971) i partecipanti vennero accolti da una lettera del Direttore D'Espagnat che faceva alcune raccomandazioni significative:

[...] theoretical physics rests on three legs: experience, mathematics and a workable set of general ideas. Some would like to cut this third leg away, [...] of course they are quite wrong. [...] let me just suggest the following agreement: that we should not take as goals the conversion of the heretic but rather a better understanding of his standpoint; that we should not suggest that we consider as a stupid fool anybody in the audience (lest the stupid fools should in the end appear clearly to be ourselves!); that we should try to cling to facts; and that nevertheless, we should be prepared to hear without indignation very nonconformist views which have no 'immediate' bearing on facts. (D'Espagnat 1971, p. XIII)

I docenti del corso furono senz'altro i più qualificati nel campo: E. Wigner, M. Jauch, A. Shimony e H. Stein, M. Yanase, B. D'Espagnat, G.M. Prosperi, L. Kasday, B.S. De Witt, H.D. Zeh, G. Ludwig, A. Frenkel, J. Andrade e Silva, F. Selleri, H. Neumann (negli Atti furono inseriti anche articoli di L. de Broglie di D. Bohm).

I temi trattati si snodano in tre differenti sezioni: (I) *Measurement and basic concepts* (Prosperi: *Macroscopic physics and measurement*) (II) *Hidden variables and non-locality* e (III) *Interpretation and proposals* (Selleri: *Realism and wave function*).

Una circostanza importante fu che al corso parteciparono molti dei giovani fisici inquieti, desiderosi di spiegazioni e risposte non formali e che, formati nel clima del movimento del '68, erano inclini a contestare le concezioni tradizionali. Essi si riunirono la sera per discussioni animate, incentrate sulla critica all'oggettività assoluta della scienza e soprattutto sui legami tra scienza e società. Fu una vera fucina di idee ed essi decisero di scrivere un documento fortemente critico in inglese, *Notes on the connection between science and society* (*Notes on ... 1970*), che venne ciclostilato e distribuito a docenti e studenti all'ingresso delle lezioni del mattino. Questo scritto, anche se non fu inserito negli Atti della scuola, fu il primo esperimento di stesura collettiva di un documento relativamente organico, i cui concetti possono essere così schematicamente riassunti: la scienza non è neutrale, ma riproduce gli schemi della classe dominante. Si accusa che durante il corso vi è stata una generale povertà culturale ed una separazione arbitraria e artificiale tra scienza e filosofia. Nel documento vengono poi mosse critiche allo scientismo e alla subordinazione della

ricerca scientifica alle necessità della classe dominante (con riferimento esplicito alla collusione della fisica con l'industria bellica). Viene infine espressa la necessità di una decisione *a priori* sulle responsabilità della scienza.

È interessante l'osservazione di O. Freire (2003, pp. 580-581) di una significativa coincidenza con il corso di Varenna nella creazione della rivista *Foundations of Physics*, sempre nel 1970:

Its Editorial Board comprised [...] David Bohm and Louis de Broglie, [...] side by side with V. A. Fock, [...] the philosopher Karl Popper and the physicist Eugene Wigner. [...] In the first volume, 16 out of the 18 papers dealt with quantum themes. [...] It's noteworthy that in spite of the differences between the Foundations of Physics and the Varenna's course, both needed to face the same task in order to justify their existence: to argue against the instrumentalistic view of science. The decade after the creation of Foundations of Physics and [...] the Varenna course have confirmed how opportune they were. (Freire 2003, pp. 580-581)

## 6. Il gruppo di ricerca sui FMQ Bologna-Firenze negli anni Settanta

Il corso di Varenna fu il vero detonatore che innescò le ricerche sui FMQ in Italia. Selleri, trasferitosi dal 1969 all'Università di Bari, si attornì di allievi ed intensificò le ricerche sull'argomento, producendo un copioso numero di lavori. Rispetto alla situazione successiva negli USA, bisogna sottolineare che i giovani fisici italiani mettevano in discussione la validità della MQ, in base alla disuguaglianza di Bell.

Baracca, rientrato a Firenze dopo il corso di Varenna, svolse nel settembre-ottobre del 1970 un corso libero di lezioni, *I problemi della misura e delle variabili nascoste nella teoria quantistica* (Baracca 1970) e ben presto avviò la sua collaborazione con Bergia a Bologna. La loro prima pubblicazione risale al 1974. (Baracca *et al.* 1974a) Successive pubblicazioni, allargando la cerchia degli allievi e dei collaboratori (Restignoli di Roma, Cannata, Livi, Ruffo, Savoia, Lunardini), riguardarono sviluppi ed estensioni della disuguaglianza di Bell (Baracca *et al.* 1974b), ed altre pubblicazioni che qui non citiamo).

Nel 1974 si svolse un primo congresso nazionale sul tema dei FMQ a Frascati (4-6 giugno), dove Baracca tenne una delle relazioni introduttive. Sempre nel 1974 Baracca trascorse un periodo di due mesi a Londra presso D. Bohm, che portò ad una pubblicazione comune. (Baracca *et al.* 1975) Dopo gli anni settanta Baracca perse l'interesse attivo per i FMQ, mentre Bergia e collaboratori a Bologna proseguirono le ricerche negli anni ottanta lungo linee diverse. (Bergia *et al.* 1988)

## 7. Gli altri gruppi di ricerca sui FMQ in Italia

Il gruppo di Selleri a Bari fu il più attivo, con un copioso numero di pubblicazioni per tutti gli anni settanta e successivamente allargò le sue collaborazioni: con la 'Fondation Louis de Broglie' di Parigi, soprattutto con J.P. Vigièr, e con il gruppo di Catania –

dove fin dal 1974 era nato un interesse per i FMQ (Faraci *et al.* 1974) – per eseguire verifiche sperimentali della disuguaglianza di Bell (tra A. Garuccio e V. Rapisarda).

Nel 1976 ebbe luogo alla scuola internazionale di Erice un corso sui FMQ, i cui Atti però non vennero mai pubblicati.

Gian Carlo Ghirardi, a Trieste, arrivò più tardi al problema dei FMQ (Ghirardi *et al.* 1977), lungo una strada che non ne metteva però in discussione la validità. Egli proseguì le ricerche negli anni ottanta sostanzialmente sul problema dell'*entanglement* e del collasso della funzione d'onda in MQ.

## 8. Il filone della critica alla fisica delle alte energie

Intanto maturava il malessere dei giovani fisici verso le dinamiche della ricerca scientifica, in particolare nel campo della fisica delle alte energie, che in Italia era assolutamente dominante e nel quale lavorava la maggioranza di essi.

La scintilla venne innescata ancora da Selleri con un intervento al vetriolo dal titolo *La piramide azteca della fisica teorica delle particelle elementari*. (Selleri 1970) Questo sollevò dibattiti e stimolò ulteriori iniziative. Tra queste, due Note Interne dell'INFN di Bologna (Baracca *et al.* 1972), che poi furono completamente sviluppate in un volume del 1976, *La Spirale delle Alte Energie*. (Baracca *et al.* 1976)

## 9. Gli sviluppi di altre iniziative e attività negli anni Settanta

Gli stimoli per avviare un'analisi storica della fisica vennero rilanciati da Selleri nel CP della SIF, che promosse un Corso di Varenna di Storia della Fisica nel 1972.

Questo corso portò a maturazione il crescente interesse di molti giovani fisici (e matematici) verso un'attività di ricerca storica. Uno strumento di grande diffusione fu la nuova serie della rivista *Sapere*, diretta dal 1974 al 1977 da Giulio Maccacaro. Un primo momento importante fu il convegno organizzato a Lecce il 1-5 luglio 1975, dal titolo *Aspetti strutturali e ideologici nel rapporto tra scienze fisiche e matematiche*. (Donini *et al.* 1977) Nel 1976 uscì il libro collettivo di Cini, Ciccotti, De Maria, Jona-Lasinio, *L'Ape e l'Architetto*. (Ciccotti *et al.* 1976)

Maturò così l'esigenza da parte del gruppo di storia della scienza di dotarsi di uno strumento adeguato di elaborazione e di confronto, che condusse alla pubblicazione della rivista *Testi e Contesti*, di cui uscirono 9 numeri prima della chiusura nel 1983. (Rossi 2010)

Così si arrivò all'importante convegno internazionale *Recasting Sciences Between the Two World Wars*, che si svolse nel 1980 tra Firenze e Roma, con un esplicito taglio multidisciplinare, e che ufficializzò l'ingresso dei giovani storici della scienza nell'ambiente accademico internazionale. (Battimelli *et al.* 1983)

**Bibliografia**

- Baracca A. (1970). *I problemi della misura e delle variabili nascoste nella teoria quantistica*. Lezioni tenute all'Università di Firenze, ciclostilate.
- Baracca A., Bergia S. (1972). *Considerazioni critiche sulle scelte e sul metodo della ricerca attuale in fisica delle alte energie*. Nota Interna INFN/AE-72/4, Bologna.
- Baracca A., Bergia S., Montoto A. (1972b). *Difficoltà nell'analisi dei processi di produzione a bassa energia e nella trattazione 'model independent' delle ampiezze a quasi due corpi*, Nota Interna INFN/AE-72/1, Sezione di Bologna, 24 gennaio 1972.
- Baracca A., Bergia S. (1976). *La Spirale delle Alte Energie*. Milano: Bompiani.
- Baracca A., Bergia S., Bigoni R., Cecchini A. (1974a). "Statistics of observations for proper and improper mixtures in quantum mechanics". *Rivista del Nuovo Cimento*, 4, pp. 169-188.
- Baracca A., Bergia S., Restignoli M. (1974b). *On the comparison between quantum mechanics and local hidden variable theories: Bell's type inequality for multi-valued observables*, in Heusch C.A. (ed.), *Proceedings of the "International Conference on Few Body Problems in Nuclear and Particle Physics"* (Québec City, 27-31 agosto 1974). Québec City: Les Presses de l'Université Laval, p. 67.
- Baracca A., Bohm D.J., Hiley B.J., Stuart A.E.G. (1975). "On some notions concerning locality and non locality in the quantum theory". *Il Nuovo Cimento B*, 28 (2), pp. 453-466.
- Baracca A., Rossi A. (1976). *Marxismo e Scienze Naturali. Per una Storia Integrata delle Scienze*. Bari: De Donato.
- Battimelli G., De Maria M., Rossi A. (1984). *La Riorganizzazione delle Scienze tra la Due Guerre Mondiali*. Roma: La Goliardica Editrice Universitaria, 2 Volumi.
- Bergia S., Cannata F., Pasini A. (1988). *Space Time Fluctuations and Stochastic Mechanics: Problems and perspectives*, in Kostro L., Posiewnik A., Pycacz J., Zukowski M. (eds.). *Problems in Quantum Physics*. Gdansk '87: World Scientific, pp. 403-421.
- Bollettino SIF* (1968), 62, p. 7.
- Caldirola P. (1961). *Quantistica, Meccanica*, in *Enciclopedia Italiana*, Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana fondata da G. Treccani. III Appendice (XXVIII, p. 592; App. II, 11, p. 634).
- Ciccotti G., Cini M., De Maria M., Jona-Lasinio G., Donini E., Narducci D. (1976). *L'Ape e l'Architetto. Paradigmi Scientifici e Materialismo Storico*. Milano: Feltrinelli.
- D'Espagnat B. (1971) (ed.). *Proceedings of the 'Scuola Internazionale Enrico Fermi' on the Foundation of Quantum Mechanics* (Varenna, Villa Monastero, 29 giugno-11 luglio 1970). London: Academic Press, Bologna: Compositori.
- Daneri A., Loinger A., Prosperi G.M. (1962). "Quantum theory of measurement and ergodicity conditions". *Nuclear Physics*, 33, pp. 297-319.
- Donini E., A. Rossi, T. Tonietti (1977). *Matematica e Fisica: Struttura e Ideologia*. Bari: De Donato.

- Faraci G., Gutkowski D., Notarrigo S., Pennisi A.N. (1974). "An experimental test of the EPR paradox". *Lettere al Nuovo Cimento*, 9 (15), pp. 607-611.
- Freire O. Jr. (2003). "A Story Without an Ending: The Quantum Physics Controversy 1950-1970". *Science & Education*, 12, pp. 573-586.
- Ghirardi G.C., Rimini A., Weber T. (1976). "Some Simple Remarks about Quantum Nonseparability for Systems Composed of Identical Constituents". *Il Nuovo Cimento* 39B, pp. 130-134.
- Kaiser D. (2011). *How the hippies saved physics: Science, counterculture, and the quantum revival*. New York City: WW Norton & Company.
- Notes on the connection between science and society* (1970). Documento ciclostilato elaborato dai partecipanti al Corso di Varenna sui FMQ, Archivio SIF, Bologna, cartella di documenti sul Corso di Varenna del 1970.
- Rossi A. (2010). *L'esperienza di "Testi e Contesti"*, in Guerraggio A. (a cura di), *Il '68 e la Scienza in Italia*. Milano: Pristem/Storia, 27-28, pp. 87-96.
- Selleri F. (1969a). "On the wave function in quantum mechanics". *Lettere al Nuovo Cimento* 1 (17), pp. 908-910.
- Selleri F. (1969b). *Quantum Theory and Hidden Variables*. Lezioni tenute a Frascati (giugno-luglio), LNF - 69/75 CNEM-Laboratori Nazionali di Frascati.
- Selleri F. (1970). "La piramide azteca della fisica teorica delle particelle elementari". *Bollettino SIF*, 75, pp. 13-17.
- SIF, Cons. Pres. (1969a). Verbale, 15 Marzo 1969, Archivio SIF, Bologna.
- SIF, Cons. Pres. (1969b). Verbale, 11 Ottobre 1969, Archivio SIF, Bologna
- Weiner C. (1977). *Proceedings of the 'Scuola internazionale Enrico Fermi' on History of Physics* (Varenna, Villa Monastero, 31 luglio-12 agosto 1972). London: Academic Press, Bologna: Compositori.



# J.J. Thomson's Lagrangian approach to thermodynamics\*

Stefano Bordoni - Università di Bologna - stefano.bordoni2@unibo.it

*Abstract:* In the last decades of the nineteenth century, we find two main theoretical pathways to thermodynamics: abstract, phenomenological mathematizations, on the one hand, and microscopic, molecular motions together with probabilistic hypotheses, on the other. In reality, in the first pathway, different nuances and different attitudes can be found: Helmholtz and Planck relied on the complementarity between mechanical and thermal variables, and Oettingen explored the symmetry between mechanical and thermal capacities. J.J. Thomson explored the two main pathways, and put forward a Lagrangian theory for the unification of physical and chemical processes. He made use of two kinds of Lagrangian coordinates that corresponded to two components of kinetic energy: macroscopic energy stood beside microscopic, molecular energy. Subsequently Duhem was to put forward an even more general design of unification between physics and chemistry, which was based on the two principles of thermodynamics.

*Keywords:* Thermodynamics, Lagrange's equations, Unification

## 1. Introduction

From William Thomson and Rudolf Clausius' classical versions of thermodynamics two different traditions of research emerged. If Maxwell and Boltzmann pursued the integration of thermodynamics with the kinetic theory of gases, others relied on a macroscopic and more abstract approach, which rejected specific mechanical models. In 1869, the French engineer François Massieu showed that thermodynamics could be based on two 'characteristic functions' or potentials. In the 1870s and the early 1880s, Josiah W. Gibbs and Hermann von Helmholtz explored the structural analogy between mechanics and thermodynamics: from a mathematical point of view, Helmholtz's 'free energy' corresponded to Gibb's first potential. In the meantime, in 1880, the young Max Planck put forward a theory of elasticity consistent with thermodynamics. In 1885, Arthur von Oettingen put forward an abstract theory wherein a dual mathematical structure was based on mechanical work and fluxes of heat. It led to the mathematical generalization of thermal capacities, and a striking series of symmetries. In the meantime, starting from Joseph-Louis Lagrange's *Mécanique Analytique* (1788), mechanics had experienced a meaningful generalisation, and the more abstract set of generalized coordinates had replaced the Euclidean ones. In the 1830s William Rowan Hamilton had put forward a very abstract mechanics that was based on a set of

---

\* This subject has already been extensively developed in two papers: Bordoni (2014) and Bordoni (2013).

variational Principles. In 1839, an Irish mathematician and natural philosopher, James MacCullagh, had developed a mathematical theory of optics on the track of Lagrange. On the same track, another Irish physicist, George Francis FitzGerald, put forward a Lagrangian theory of electromagnetic fields in 1880.<sup>1</sup>

In 1884, Helmholtz followed an intermediate pathway, which was neither Boltzmann's nor the Massieu-Gibbs pathway. He introduced a microscopic Lagrangian coordinate, corresponding to a fast, hidden motion, and a set of macroscopic coordinates, corresponding to slow, visible motions. The energy associated with the first coordinate corresponded to thermal energy, whereas the energy associated with the others corresponded to thermodynamic work. In 1888, Joseph John Thomson put forward a very general approach to physical and chemical problems. He remarked that physicists had at their disposal two different methods: a detailed mechanical description of the physical system, and a more general description that depended on "the properties of a single function of quantities fixing the state of the system". He acknowledged that the second approach, which was based on "purely dynamical principles", had already been "enunciated by M. Massieu and Prof. Willard Gibbs for thermodynamic phenomena". He found a deep connection between "the extension of the principle of the Conservation of Energy from Mechanics to Physics", and "the belief that all physical phenomena can be explained by dynamical principles", where the expression "dynamical principles" corresponded to "Hamilton's principle of Varying Action and the method of Lagrange's Equations." He also found that the methods of Analytical Mechanics had shown their powerfulness when scientists had realised that "the kinetic energy possessed by bodies in visible motion can be very readily converted into heat". (Darrigol 2002, p. 142; Thomson 1888, pp. V-VI, 1-2, 4)

Starting from 1891, while he was lecturing at Lille university, the French physicist Pierre Duhem began to outline a systematic design of mathematisation and generalisation of thermodynamics. He put forward an even wider mathematical framework where Lagrangian equations also hosted dissipative terms that could account for irreversible processes, and more specifically explosive chemical processes. (Duhem 1891, 1892, 1894a, 1894b, and 1896) In this mathematical and conceptual context, the concept of motion was also generalised: it corresponded to any variation of a Lagrangian coordinate. It seems that Duhem and J.J. Thomson developed their theories unconsciously of each other. Duhem did not mention J.J. Thomson, and this is worth stressing because Duhem was quite attentive to historical developments, and had always acknowledged the contributions of other scientists, Massieu, Gibbs, Helmholtz, and Oettingen included. The fact is that Duhem sharply opposed any microscopic approach, and therefore he did not appreciate J.J. Thomson's 'mixed' approach, where macroscopic and microscopic variables interacted with each other.

<sup>1</sup> For the primary sources on the two pathways to thermodynamics, see Clausius (1876), Massieu (1869a), Massieu (1869b), Massieu (1876), Boltzmann (1872), Maxwell (1860), Maxwell (1867), Boltzmann (1877), Gibbs (1875-8), Helmholtz (1882), Planck (1880), Oettingen (1885). For a Lagrangian approach to optics and electromagnetism, see Hamilton (1834), MacCullagh (1848) (1839), and FitzGerald (1880). On Hamilton's equations see Hankins (1980, pp. XV-XVIII, 61-87, and 172-209). On MacCullagh's Lagrangian approach to Optics, and "Fitzgerald's electromagnetic interpretation of MacCullagh's ether", see Darrigol (2010, pp. 145-154, and 157-159).

## 2. J.J. Thomson's mathematical unification between physics and chemistry

In 1888 Joseph John Thomson, then Cavendish Professor of Experimental Physics at Cambridge, published a book, *Applications of Dynamics to Physics and Chemistry*, which collected “the substance of a course of lectures” he had delivered at the Cavendish laboratory in 1886. He studied phenomena where both mechanical stresses and magnetic actions were involved, or elastic and thermal effects interacted with each other, or electromotive forces emerged from a thermal disequilibrium. He noted that the phenomena under investigation were “generally either entirely neglected or but briefly noticed” in contemporary treatises. (Thomson 1888, p. v)

He was to pursue the pathway of “purely dynamical principles”, and in particular he was interested in attaining the greatest number of useful results “without using the Second Law of Thermodynamics”. In brief he endeavoured to exploit all the advantages of the formal structure of Analytical Mechanics when compared to the method based on “the two laws of Thermodynamics”. He saw essentially three main advantages: the greater generality, the possibility of making use of one principle instead of two, and the application to cases where heat fluxes were not explicitly involved. On the other hand, he was aware of a specific shortcoming. The results were expressed in terms of “dynamical quantities, such as energy, momentum, or velocity”, and they had to be translated into the physical entities under investigation, “such as intensity of a current, temperature, and so on”. The second Law was “based on experience”, and therefore it did not involve “any quantity which cannot be measured in the Physical Laboratory”. Analytical Mechanics had a pliable and more general structure, but the attempts to deduce the second law from “the principle of Least Action” had been unsuccessful. (Thomson 1888, pp. 4-5)

It is worth remarking that the separation between ‘mechanical’ and ‘dynamical’ approaches was also at stake in the context of British theories of elasticity. In 1845 George Gabriel Stokes had introduced two distinct kinds of elasticity, “one for restoration of volume and one for restoration of shape”. As Norton Wise pointed out in 1982, “he worked only with observable macroscopic concepts”, and distinguished between ‘mechanical’ and ‘dynamical’ theories. He reserved the term *mechanical theory* for ‘speculations’ into the structure of matter or aether, and *dynamical theory* for an approach independent of such hypotheses. (Darrigol 2002, p. 142; Norton 1982, pp. 185-6; Stokes 1883, pp. 244-245)

The structure of Lagrange's equations

$$\frac{d}{dt} \frac{dL}{dq_i} - \frac{dL}{dq_i} = Q_i \quad i = 1, \dots, n,$$

where  $L = T - V$ , and  $Q_i$  were the forces acting on the coordinates  $q_i$ , was suitable for dealing with a set of coordinates which were geometrical only in part. Temperature or a distribution of electricity could be interpreted as ‘coordinates’ in a very general sense. Thomson appreciated the possibility of giving “a more general meaning to the term *coordinates* than that which obtains in ordinary Rigid Dynamics”. He insisted on this

opportunity: “any variable quantities” could be considered as coordinates if the corresponding Lagrangian functions could be expressed “in terms of them and their first differential coefficients”. Two kinds of ambiguity emerged from that pliable structure: the impossibility of a sharp separation between kinetic and potential energy, and the difficulty of determining whether a given symbol should be associated with a generalised coordinate or velocity. According to Thomson, some “dynamical considerations” could enable physicists to overcome this difficulty. (Thomson 1888, pp. 9, 17, 19)

In the sixth chapter of his book, *Effect of temperature upon the properties of bodies*, he extended the methods to those cases “in which we have to consider the effects of temperature upon the properties of bodies”. A dynamical interpretation or “a dynamical conception of temperature” had already been offered by “the Kinetic Theory of Gases”: temperature was a measure of “the mean energy due to the translatory motion of the molecules of the gas”. In this case Thomson attributed two different meaning to the adjective ‘dynamical’, and it might mislead the reader. He made ‘dynamical methods’ and mechanical models overlap, and let the readers think that the mechanical interpretation of temperature was an essential feature of the general dynamical method. We can remark that the two approaches are independent of each other: in particular the former has a narrower scope than the latter. He made use of the concept of “sensible heat”, namely the amount of heat that was associated to a variation of temperature. Sensible heat was due to “the motion of the molecules”, and it could be looked upon as “part of the kinetic energy of the system”. In reality he extended the mechanical interpretation of temperature to liquid and solids: in the range of temperatures where “specific heat is constant”, the rise in temperature was proportional “to the energy communicated to the system”. He could therefore assume that “the kinetic energy of some particular kind is a linear function of the temperature”. (Thomson 1888, pp. 89-90)

The superposition between dynamical methods and mechanical models led Thomson to divide the kinetic energy of a system into two parts: the first part  $T_u$  depended on “the motion of unconstrainable coordinates  $u$ ”, and was proportional to the absolute temperature  $\vartheta$ , whereas the second part  $T_c$  depended on the motion of “controllable coordinates  $\phi$ ”. The component  $T_c$  corresponded to what Helmholtz had called *die freie Energie* [‘free energy’]. The generalized velocities  $\dot{u}$  and  $\dot{\phi}$  could not mix, and in particular

$$\frac{dT_u}{d\dot{\phi}} = 0.$$

Since  $T_u$  might contain  $\phi$ , Lagrange’s equation for the coordinates  $\phi$  was

$$\Phi = \frac{d}{dt} \frac{dL}{d\dot{\phi}} - \frac{dL}{d\phi} = \frac{d}{dt} \frac{d(T_c + T_u - V)}{d\dot{\phi}} - \frac{d(T_c + T_u - V)}{d\phi} =$$

$$= \frac{d}{dt} \frac{dT_c}{d\phi} + \frac{d}{dt} \frac{dT_u}{d\phi} - \frac{dT_c}{d\phi} \frac{dT_u}{d\phi} + \frac{dV}{d\phi},$$

where  $\Phi$  was “the external force of this type acting on the system”. Taking into account the above mentioned assumptions, the equation could be written as

$$\Phi = \frac{d}{dt} \frac{dT_c}{d\phi} - \frac{dT_c}{d\phi} - \frac{dT_u}{d\phi} + \frac{dV}{d\phi} \quad (1)$$

(Thomson 1888, pp. 95-96)

The last equation was the starting point of a mathematical derivation which led to a differential relationship between the microscopic kinetic energy  $T_u$  and the applied forces  $\Phi$ , and then between heat fluxes and  $\Phi$ . In the end, simple relationships between thermal and mechanical effects in elastic bodies could be derived. At first he arrived at the equation

$$-\frac{d\Phi}{dT_u} = \frac{1}{T_u} \frac{dT_u}{d\phi} \quad \text{or} \quad \frac{dT_u}{d\phi} = -T_u \frac{d\Phi}{dT_u} \quad (2)$$

(Thomson 1888, p. 96)

and then he introduced the flux of heat  $\delta Q$  that had to obey to the conservation of energy:

$$\delta Q + \sum \Phi \cdot \delta\phi = \delta T_c + \delta T_u + \delta V.$$

The term  $\delta V$  depended only on  $\delta\phi$ , and therefore

$$\delta Q = \sum \left( \frac{d}{dt} \frac{dT_c}{d\phi} - \frac{dT_c}{d\phi} \right) \delta\phi - \sum \Phi \cdot \delta\phi + \delta T_u + \sum \frac{dV}{d\phi} \delta\phi.$$

Equation (1) and (2) allowed Thomson to simplify the expression for  $\delta Q$ :

$$\delta Q = \sum \left( -T_u \frac{d\Phi}{dT_u} \right)_{\phi=const} \cdot \delta\phi + \delta T_u.$$

(Thomson 1888, pp. 97-98)

At this point he took into account the specific case of isothermal transformations. In particular he assumed that “the quantity of work communicated to the system is just

sufficient to prevent  $T_u$  from changing”, but  $T_u$  was “proportional to the absolute temperature  $\theta$ ”. As a consequence,

$$\delta Q = \sum \left( -T_u \frac{d\Phi}{dT_u} \right)_{\phi \text{ const}} \cdot \delta \phi \left( \frac{dQ}{d\phi} \right)_{\theta \text{ const}} = \left( -T_u \frac{d\Phi}{dT_u} \right)_{\phi \text{ const}}$$

or

$$\left( \frac{dQ}{d\phi} \right)_{\theta \text{ const}} = -\theta \left( \frac{d\Phi}{d\theta} \right)_{\phi \text{ const}}. \quad (3)$$

The last equation linked the dependence of heat fluxes on mechanical coordinates to the dependence of external forces on temperature. As Thomson pointed out, a deep connection between thermal and mechanical effects was at stake. Thomson reminded readers that both Maxwell and Helmholtz had arrived at the same result although starting from different assumptions. Then he made use of this equation in order to tackle ‘the relations between heat and strain’, and in particular the “effects produced by the variation of the coefficients of elasticity  $m$  and  $n$  with temperature”. (Thomson 1888, pp. 98-100)

In Thomson’s mathematical approach, the Greek letters  $\alpha, \beta, \gamma$  corresponded to “the components parallel to the axes  $x, y, z$  of the displacements of any small portion of the body”. Six Latin letters corresponded to longitudinal and transverse strains:

$$e = \frac{d\alpha}{dx}, \quad f = \frac{d\beta}{dy}, \quad g = \frac{d\gamma}{dz},$$

$$a = \frac{d\gamma}{dy} + \frac{d\beta}{dz}, \quad b = \frac{d\alpha}{dz} + \frac{d\gamma}{dx}, \quad c = \frac{d\beta}{dx} + \frac{d\alpha}{dy}.$$

He assumed that  $\Phi$  corresponded to “a stress of type  $e$ ”, and therefore

$$\Phi = m(e + f + g) + n(e - f - g),$$

$$\frac{d\Phi}{d\theta} = \frac{dm}{d\theta}(e + f + g) + \frac{dn}{d\theta}(e - f - g).$$

Now the coordinate  $e$  corresponded to what had been labelled  $\phi$ ,  $\delta Q$  corresponded to the amount of heat that had to be supplied to the unit volume of a bar “to keep its temperature from changing when  $e$  is increased by  $\delta e$ ”:

$$\frac{dQ}{de} = -\theta \frac{d\Phi}{d\theta} = -\theta \left[ \frac{dm}{d\theta}(e + f + g) + \frac{dn}{d\theta}(e - f - g) \right]$$

or

$$\delta Q = - \left[ \frac{dm}{d\theta} (e + f + g) + \frac{dn}{d\theta} (e - f - g) \right] \theta \delta e$$

(Thomson 1888, pp. 20, 47-48, 100-101)<sup>2</sup>

When the coefficients of elasticity decreased as the temperature increased,  $dm/d\theta < 0$  and  $dn/d\theta < 0$ , and therefore the equation showed that  $\delta Q > 0$ : a given amount of heat had to be supplied in order “to keep the temperature of a bar constant when it is lengthened”. In other words, “a bar will cool when it is extended”, if no heat is supplied from outside.

In the case of a twist,  $\Phi$  represented “a couple tending to twist the bar about the axis of  $x$ ”, and  $a$  was the corresponding twist. Thomson wrote

$$\Phi = n a, \quad \frac{d\Phi}{d\theta} = \frac{dn}{d\theta} a.$$

He therefore computed the amount of heat that assured the temperature to be preserved:

$$\delta Q = - \frac{dn}{d\theta} \theta \delta a.$$

The physical interpretation was not different from the previous one: when a rod is twisted, “it will cool if left to itself”, provided that “the coefficient of rigidity diminishes as the temperature increases”, which is what usually happens.<sup>3</sup>

### 3. Conclusion

In the abstract pathway to thermodynamics in the late nineteenth-century, Lagrangian theories represented one of the most interesting contributions to theoretical physics. J.J. Thomson put forward a wide mathematical framework, wherein both microscopic motions, macroscopic stresses, and macroscopic heat fluxes could find room. Today J.J. Thomson’s contribution is definitely underestimated whereas the importance of Duhem’s contribution has been acknowledged since the 1940s. The latter can be looked upon as the creator of modern phenomenological thermodynamics or the theory of continuous media based on thermodynamics. However J.J. Thomson promoted the integration of dynamical methods and mechanical models. His general mathematical-physical framework still deserves to be studied and appreciated.

<sup>2</sup> Thomson specified that  $e, f, g$  represented the dilatations of a bar “parallel to the axes  $x$ ,  $y$ , and  $z$  respectively”. (Thomson 1888, p. 47)

<sup>3</sup> Even in this case Thomson mentioned previous researches in the same field: he reminded readers that William Thomson had first obtained those results “by means of the Second Law of Thermodynamics”. (Thomson 1888, p. 101)

## References

- Boltzmann L. (1872). *Weiteren Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen*, in Boltzmann L., *Wissenschaftlichen Abhandlungen*. Leipzig: J.A. Barth, I Band, pp. 317-402.
- Boltzmann L. (1877). *Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung resp. den Sätzen über das Wärmegleichgewicht*, in Boltzmann L., II Band, pp. 164-223.
- Boltzmann L. (1909). *Wissenschaftlichen Abhandlungen*. Leipzig: J.A. Barth.
- Bordoni S. (2013). "Routes towards an Abstract Thermodynamics in the late nineteenth century". *The European Physical Journal H*, 38, pp. 617-660.
- Bordoni S. (2014). "J.J. Thomson and Duhem's Lagrangian Approach to Thermodynamics". *Entropy*, 16, pp. 5876-5890.
- Clausius R. (1867). *Abhandlungen über die mechanische Wärmelehre*, zweite Abtheilung. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn.
- Darrigol O. (2002). "Between Hydrodynamics and Elasticity Theory: The First Five Births of the Navier-Stokes Equation". *Archive for History of Exact Sciences*, 56, pp. 95-150.
- Darrigol O. (2010). "James MacCullagh's ether: An optical route to Maxwell's equations?". *The European Physical Journal H*, 35 (2), pp. 133-172.
- Duhem P. (1891). "Sur les équations générales de la Thermodynamique". *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 3<sup>e</sup> série, VIII, pp. 231-266.
- Duhem P. (1892). "Commentaire aux principes de la Thermodynamique - Première partie". *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, 4<sup>e</sup> série, VIII, pp. 269-330.
- Duhem P. (1894a). "Commentaire aux principes de la Thermodynamique - Troisième partie". *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, 4<sup>e</sup> série, X, pp. 203-206.
- Duhem P. (1894b). "Sur les déformations permanentes et l'hystérésis". *Mémoires présentées par divers savants étrangers et Mémoires couronnées par l'Académie de Belgique*, Classe des Sciences, tome LIV, 13 octobre 1894, pp. 3-62.
- Duhem P. (1896). *Théorie thermodynamique de la viscosité, du frottement et des faux équilibres chimiques*. Paris: Hermann.
- FitzGerald G.F. (1880). "On the Electromagnetic Theory of the Reflection and Refraction of Light". *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 171, pp. 691-711.
- Gibbs J.W. (1875-8). *On the Equilibrium of Heterogeneous Substances*, *Transactions of the Connecticut Academy*, in *The Scientific Papers of J. Willard Gibbs, vol. I, Thermodynamics*. New York: Green and Company, pp. 55-349.
- Gibbs J.W. (1906). *The Scientific Papers of J. Willard Gibbs*. London. New York, Bombay: Longmans, Green, and Co.
- Hamilton W.R. (1834). "On a General Method in Dynamics". *Philosophical Transactions of the Royal Society, part II for 1834*, 124, pp. 247-308.
- Hankins T.L. (1980). *Sir William Rowan Hamilton*. Baltimore and London: The John Opkins University Press.



- Helmholtz H. (1882). “Die Thermodynamik chemischer Vorgänge”. *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, I, pp. 22-39. Anche in Helmholtz H. (1883), pp. 958-978.
- Helmholtz H. (1883). *Wissenschaftliche Abhandlungen II Band*. Leipzig: Barth.
- Jellet J., Haughton S. (eds.) (1880). *The collected works of James MacCullagh*. Dublin: Hodges, Figgis & Co. - London: Longmans, Green & Co.
- MacCullagh J. (1848). *An essay towards the dynamical theory of crystalline reflexion and refraction*, in Jellet J., Haughton S. (eds.) (1880). *The collected works of James MacCullagh*. Dublin: Hodges, Figgis & Co. - London: Longmans, Green & Co., part 1, pp. 145-184. Read 9 Dic. 1839.
- Massieu F. (1869a). “Sur les Fonctions caractéristiques des divers fluides”. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, LXIX, pp. 858-862.
- Massieu F. (1869b). “Addition au précédent Mémoire sur les Fonctions caractéristiques”. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, LXIX, pp. 1057-1061.
- Massieu F. (1876). “Mémoire sur les Fonctions caractéristiques des divers fluides et sur la théorie des vapeurs”. *Mémoires des Savants étrangers*, XXII, pp. 1-92.
- Maxwell J.C. (1860). “Illustrations of the Dynamical Theory of Gases”; reprinted in Niven W.D. (ed.) (1890), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge: Cambridge University Press, vol. 1, pp. 377-409.
- Maxwell J.C. (1867). “On the Dynamical Theory of Gases”. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 157, pp. 49-88; reprinted in Maxwell J.C. (1890), vol. 2, pp. 26-78.
- Niven W.D. (ed.) (1890). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge: Cambridge University Press, 2 vols.
- Norton Wise M. (1982). “The Maxwell Literature and the British Dynamical Theory”. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 13, 1, pp. 175-205.
- Oettingen A. (1885). “Die thermodynamischen Beziehungen antithetisch entwickelt”. *Mémoires de l’Académie impériale des Sciences de Saint-Petersbourg*, XXXII, pp. 1-70.
- Planck M. (1880). *Gleichgewichtszustände isotroper Körper in verschiedenen Temperaturen*. München: Theodore Ackermann.
- Stokes G.G. (1883). *Mathematical and Physical Papers*. Cambridge: Cambridge University Press, Vol. II.
- Thomson J.J. (1888). *Applications of Dynamics to Physics and Chemistry*. London and New York: Macmillan and Co.



# La matematica fisica di Archimede nel 'libro' ad Eratostene e nel *Metrikon* di Erone

Giuseppe Boscarino - Associazione culturale S. Notarrigo - gpp.bos@libero.it

*Abstract:* It is argued that, even with some new readings made by publication of the Letter to Eratosthenes in the Archimedes Palimpsest, with the wonderful discovery of his so-called 'mechanical method' (*tis tropos tou theorein en tois mathemasi dià ton mekhanikòn = a certain way of theorizing in mathematical things by means of mechanical entities*) at the beginning of the twentieth century, still remain some important historical-philological and philosophical-epistemological issues, already discussed in part in our writings. We produce some important testimonies taken from *Metrikon* by Heron of Alexandria in favour of our translations and interpretations of Archimedes' lexicon, not without placing under investigation at the same time the personality and the importance of Hero in the history of philosophical, scientific and technological Greek-Hellenistic thought in line with Archimedes and the tradition of Italic thought of science. (The quotations of the Greek texts of Archimedes, Heron and Pappus are our translations)

*Keywords:* *methodos* (method), *ephodos* (methodics), *tropos* (way), *theorein* (to theorize), *deiknunai* (to prove), *tomai* (partitions), tradition of Italic thought of science.

## 1. Quali novità apporta la pubblicazione della cosiddetta 'Lettera ad Eratostene' nel Palimpsesto. Quale il vero titolo della Lettera

Per lo studioso Reviel Netz (Netz *et al.* eds. 2011) le novità nella prefazione della *Lettera ad Eratostene* sono tre.

La prima riguarda il titolo della Lettera. Il titolo che il grande studioso Heiberg (Heiberg 1906-1907) ha dato: *Il metodo di Archimede dei teoremi meccanici, a Eratostene*, alla luce delle nuove più sofisticate osservazioni, va modificato nel seguente modo: *Il (libro) di Archimede a Eratostene riguardante teoremi meccanici; metodo*.

La seconda novità riguarderebbe la lettura di una espressione usata da Archimede, in cui rivolgendosi ad Eratostene gli dice che il nuovo 'tropos' meccanico lo renderebbe abile nelle scoperte matematiche. In realtà Archimede, con questa espressione riletta, non si rivolgerebbe solo ad Eratostene, ma a chiunque voglia applicarsi a questioni matematiche.

La terza novità riguarderebbe la rilettura di un verbo, con il quale, Archimede, non direbbe che Eudosso scoprì (*ekseureken*) per primo i teoremi citati nella lettera, ma che semplicemente li pubblicò (*eksenenke*). C'è da pensare che invece forse già Democrito possedesse le prove, per cui va ripensata la crescita della matematica greca. (Heiberg 1906-1907)

Ritengo che Netz si muova ancora, pur dentro le novità che egli ritenga apportare la nuova lettura del Palimpsesto archimedeo, dentro vecchi pregiudizi e cattive interpretazioni. Basti notare come egli ancora traduca nel corso del suo discorso i due termini greci presenti nella lettera, l'uno nel titolo, *ephodos*, l'altro nel corso di tutta la lettera, *tropos*, con lo stesso termine *method*, pur avvertendo un certo disagio poi nelle note 89 e 91, circa una loro corretta traduzione. (Netz *et al.* 2011, Vol. II, p. 317)

Ma siamo sicuri che il titolo vero dell'opera fosse *Ephodos*, come pare credere il Netz, ritenendo l'altra parte del titolo solo 'opera di catalogazione', quando titola la prima parte di esso giustamente 'Il libro di' Archimede ad Eratostene riguardante teoremi meccanici, che è poi la denominazione che dà lo stesso Archimede alla sua opera nel corso della lettera? (Netz *et al.* 2011, Vol. II, pp. 71, 33-36, 1-8) O non bisogna supporre invece che sia un'aggiunta posteriore il termine *Ephodos*, visto che nel corso della Lettera-prefazione e dell'opera Archimede non lo usa mai, ma usa solo il termine *tropos*, il quale più che un semplice metodo, un mero modo di scoprire (*euriskein*), sembra indicare non solo un modo di scoprire ma anche un modo di costruire la teoria, che è il suo *theorein* nelle cose matematiche, quindi di dimostrare (*deiknunai*), mediante enti meccanici?

E che dire dell'importante e di una delle più antiche testimonianze su quest'opera, quella di Erone, mi riferisco al suo *Metrikon*, dove l'opera di Archimede è denominata *En to ephodikò*, che pare inviare piuttosto ad un libro che tratta questioni di metodo, di metodologia, che poi è la buona traduzione che Heiberg dà nella sua prima traduzione tedesca, del 1906 -1907 in *Bibliotheca mathematica* dell'opera archimedeica, di '*ephodos* = *Methodenlehre* = dottrina del metodo'? (Heiberg 1906-1907)

## **2. Le proposizioni del 'libro di Archimede sui teoremi meccanici': semplici risultati euristici o veri teoremi, rigorose dimostrazioni?**

Sul mito di un Archimede che con il suo *tropos* meccanico si limiti solo a 'scoprire' ma non a 'dimostrare', nelle sue proposizioni (Heath 19012; Boyer 1982; Frajese 1974), forzando sull'interpretazione della sua espressione, '*koris apodeikseos* = senza dimostrazione', nel corso della 'Lettera-prefazione', abbiamo detto in altro nostro scritto. (Boscarino 2011) Se nella 'Lettera-prefazione' Archimede, riferendosi alle sue proposizioni meccaniche afferma di esse che sono da collocare fuori da un contesto dimostrativo, *khoris apodeikseos*, per ben due volte, molte più volte si riferisce ad esse ritenendole 'dimostrazioni'. Vedi conclusioni delle proposizioni, 2, relativa alla sfera ('*oper edei deikhtenai* = come doveva essere dimostrato'), 3, relativa allo sferoide, indicato il canonico 'come dovevasi dimostrare' con la sigla OI, 4, relativa al conoide rettangolo, con lo stesso OI.

Si legge ancora nella proposizione 12, relativa alla cosiddetta unghia cilindrica, dopo aver usato ancora il canonico ‘*theoretai* = si teorizza’ secondo il modo meccanico, come Archimede si riferisce ad essa dicendo: “Dimostrate queste cose ritorneremo su questa dimostrazione per mezzo di enti geometrici = *Deiksantes de anakhoresomes epi ten dia ton gheometoumenon apodeikhsin autu.*” Si sostiene che tutte queste espressioni siano possibilmente interpolazioni, poiché in contraddizione con l’espressione, *koris apodeikseos*!

Ma perché non ritenere invece errata l’interpretazione che si dà di questa espressione, a confronto con le tante espressioni usate da Archimede e da noi riportate nelle quali denomina le sue proposizioni meccaniche *apodeikhseis* (=dimostrazioni), non ritenendole mere scoperte, ma anche teoremi, dimostrati in altro modo, fuori da un contesto (*koris*) meramente geometrico-dimostrativo, che a noi pare il vero significato del suo ‘*koris apodeikseos*’?

L’Erone del *Metrikon*, antico ed autorevole testimone di cose archimedee, sembra non avvalorare il presunto dualismo epistemologico nella produzione archimedeica, dividendo tra opere di mera scoperta, euristiche, ed opere di rigorose dimostrazioni. Infatti quando cita le scoperte archimedee nel suo *Metrikon* usa indistintamente il termine ‘dimostrare = *deiknunai*’ sia quando queste sono riferite a opere di tipo geometrico sia quando sono riferite a opere di tipo meccanico, nel nostro caso all’opera archimedeica, *En to ephodikò*.

Infatti nel libro I, prop. 34, scrive, riferendosi ad un’opera, scritta e teorizzata in modo geometrico, relativamente alla misurazione di un’ellisse: fu dimostrato nei *Conoidi* di Archimede (*epei en tois konoeidesin Arkhimedous déiknutai*), mentre nello stesso libro, prop. 35, questa volta riferendosi ad un’opera, scritta e teorizzata in modo meccanico, relativamente alla misurazione di una parabola, scrive: Archimede ha dimostrato in *Ephodikon* (*apèdeiksen de Arkhimedes en tò ephodikò*). (Heronis 1903)

Al *theorin* Archimede non dà il mero significato di ‘scoprire, investigare = *to investigate*’, come pare interpretare lo Heath (Heath 1912), contrapponendolo all’autentico ‘dimostrare’ (*deiknùnai*), geometrico, poiché nel momento in cui egli incornicia le sue proposizioni meccaniche dentro il già citato *theoretai dia toutou topoou oti ...* = si teorizza con questo modo che ... , poi conclude con il già anche citato *oper dei deiksai* = come dovevasi dimostrare. Quindi Archimede come poi Erone considerano le proposizioni meccaniche, come le dimostrazioni geometriche, ‘dimostrazioni’. Che Archimede sia convinto di aver costruito una feconda teoria meccanica, con premesse (*prolambanomena*) e conseguenze (*theoremata*), da consegnare, pubblicandola, ai futuri matematici, perché possano arricchirla di nuovi teoremi, e che quindi non abbia niente da rimproverarsi sul piano della sua capacità dimostrativa, lo si può dedurre dalle sue ultime considerazioni della sua Lettera. (Netz et al. p. 76, pp. 6-10)

Ad Archimede la ‘sua teoria meccanica’ o ‘*tropos* meccanico’ consente non solo di scoprire e dimostrare teoremi geometrici, ma anche teoremi meccanici, inerenti i centri di gravità. È il fondatore della meccanica razionale, la cui pratica Pappo attribuisce ad Erone e ai suoi seguaci.

### 3. Il *punctum dolens* delle proposizioni meccaniche: l'uso di sezioni infinitesime?

Ma si dice: Archimede, sia nei suoi teoremi meccanici sia in quelli strettamente geometrici, specie nella proposizione 14, somma 'sezioni infinitesime', usando impropriamente il suo presupposto 11 (prop.1 della sua opera *Conoidi e Sferoidi*). Per questo giudicherebbe le sua proposizione geometrica 14 e tutte le altre proposizioni meccaniche 'prive di dimostrazione = *choris apodeikseos*'. (Acerbi 2013)

Intanto Archimede relativamente ai due teoremi scoperti ('unghia cilindrica' e 'intersezione di due cilindri con le basi in un cubo'), nel momento in cui dichiara la sua soddisfazione di aver trovato il modo o *tropos* di eguagliare una figura solida compresa da piani ad una figura solida compresa da superfici curve, chiaramente afferma: "Ecco nel presente libro ti comunico le dimostrazioni scritte (prop. 12,13,14,15) di questi teoremi", come pure nella parte finale della lettera, relativamente ai due teoremi, di quali aveva inviato ad Eratostene solo gli enunciati, scrive: "Alla fine del libro scriviamo le dimostrazioni geometriche di quei teoremi dei quali ti mandammo prima gli enunciati." (Netz *et al.* 2011 p. 73, pp. 18-22) Quindi per quanto riguarda gli enunciati dei due teoremi, dei quali ad Eratostene era stata chiesta di saperne dare la dimostrazione, Archimede è chiaramente certo di darne nel seguito del suo libro le dimostrazioni. Archimede poi allarga le sue considerazioni, dicendo che molti suoi enunciati con dimostrazioni sono stati da lui trovati, come per i due suddetti, prima in modo meccanico, ovvero al di fuori da un contesto teorico-dimostrativo di modo geometrico, non escludendo un contesto teorico-dimostrativo del modo meccanico.

Le 'sezioni' o meglio 'partizioni' (*tomai*), di cui si avvale Archimede sia nel contesto meccanico che nel contesto geometrico, sono nel caso meccanico sezioni-peso, quindi grandezze, ovvero parti, delle quali non interessa la forma, nel caso geometrico ancora sezioni-grandezze, senza peso, ma pur sempre parti, secondo la teoria delle grandezze del modo euclideo, delle quali ancora non interessa la forma, non quindi 'grandezze indivisibili', che possono essere considerate come tali solo concettualmente, ma che tali non sono, né tanto meno 'sezioni infinitesime', delle quali ancora non interessa la forma, ma solo la loro numerabilità e i loro rapporti numerici tra grandezze omogenee. Il 'tutte (ta panta)' dell'assunzione 11 del libro non si riferisce ad un presunto 'infinito attuale' né ad un presunto 'infinito potenziale', ma al "quante si voglia grandezze (*oposaouñ meghéte*)", che è, se si vuole, un concetto di natura statica, nel quale le 'partizioni' (*tomai*) né crescono né diminuiscono, ma sono di volta in volta dati, determinati, di numero finito e di grandezza finita.

Termini quale 'infinito attuale' o 'infinito potenziale' come il termine 'grandezze indivisibili', tutti di matrice aristotelica non si possono attribuire arbitrariamente ad Archimede, che tra l'altro non li usa mai, senza in tal modo degradare il discorso archimedeo ad incongruenti ed assurde dimostrazioni, che tra l'altro offenderebbero non solo la sua geniale razionalità ma anche la sua straordinaria eredità, che crede, lui per primo, di lasciare ai matematici del futuro con il suo metodo geometrico e meccanico di investigare e di dimostrare quadrature e cubature.

Il *mathema* di Archimede è *physis*, fisica: il suo comporre (*sugkeisthai*) nella proposizione geometrica 14 come nelle altre proposizioni meccaniche è un riempire

mettendo insieme (*sunpleròo*), un render piene figure geometriche (linee, superfici e volumi), immaginate vuote, con ‘sezioni-grandezze’ (*tomai-meghetes*). Le figure pertanto, in quanto sono immaginate omogenee, composte da ‘partizioni-grandezze’ di rapporto peso-figura geometrica uguale ad 1, numerabili, in quanto, eguali in molteplicità (*isois to plethos*), sono misurabili.

Lasciano quindi perplessi la meraviglia e la suggestione del Netz, quando intravede la parola *meghetos* attraverso i raggi violetti nella parte mancante della prop. 14 in quella ricostruita da Heiberg, mentre era logico che ci fosse, visti i presupposti archimedei!

#### **4. Quale l’immagine di Archimede nel *Metrikon*: un platonico, o un fecondo inventore di metodi (*methodoi*, *ephodoi*) di misurazioni?**

Archimede è la figura più presente nel *Metrikon*, mentre Euclide non vi è nominato, se non per suoi teoremi, come pure non vi è nominato Ipparco, se non per suoi teoremi Sulle corde nel cerchio, prop. 22 e 24, Libro I ed Apollonio, a proposito di suoi teoremi della sua opera, che conosciamo per una sua citazione da parte di Pappo, prop. 10, prop. 13 e prop. 15, L.III; Eudosso vi è nominato per due volte solo nell’introduzione al Libro I; una sola volta vengono nominati Dionisidoro, a proposito di un suo teorema per la misurazione del volume della spira, prop.13, Libro II; Platone, a proposito dei cinque solidi detti di Platone, Libro II. Nel Libro I, che tratta della misurazione delle superfici, Archimede viene citato nell’introduzione, quindi nelle proposizioni 25, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39. Nel Libro II, che tratta della misurazione del volume dei solidi, Archimede viene citato nelle proposizioni 11, 12, 14, 15. Nel Libro III, che tratta della divisione di superfici e corpi, secondo un dato rapporto, Archimede viene citato nelle proposizioni 17 e 23. Le opere citate sono: *Misurazione del cerchio, Conoidi e Sferoidi, Sulla sfera e il cilindro, En to ephodikò*, come già detto, opera andata perduta nei secoli, e ritrovata con il Palinsesto, *Plintidi e cilindri*, opera invece andata perduta.

L’opera di Erone ed in particolare la sua opera *Metrikon*, oggetto della nostra attenzione, è stata variamente interpretata, per non dire delle grandi difficoltà storiche che ha creato la collocazione storica del nostro personaggio, che, pare dopo tante diatribe, sia da collocare intorno al I secolo dopo Cristo. I giudizi degli storici sono stati tra i più variegati: Boyer (1982), Kline (1991), Heath (1981). Positivo ci pare il giudizio di Gino Loria sul ruolo avuto da Erone nella storia della matematica greca e per una forte presenza in tutta la sua opera di aspetti alti di rigore, eleganza ed originalità. (Loria 1914) Oggi la figura di Erone viene sempre più fatta oggetto di studio e di rivalutazione. (Vitrac 2011)

Le dimostrazioni di Archimede sono richiamate, perché consentono facili operazioni numeriche di misurazioni, al fine di servire per utili opere di costruzione. L’investigazione (*epinoia*) di Eudosso e di Archimede, ma soprattutto la comprensione (*synesis*) di Archimede, cioè la capacità di Archimede saper andare oltre le divisioni apparenti delle diverse forme geometriche, sino a coglierne l’intimo rapporto numerico, come quella di saper sottoporre a misura le forme più disparate che la natura offre,

hanno impresso un eccellente balzo in avanti alla scienza della misurazione e della divisione.

Erone allora, in ciò anticipando la nostra moderna concezione di scienza, progressiva e cumulativa, vuole farsi erede della scienza passata, ed egli stesso investigatore di cose geometriche e di misurazioni, costruendo teorie adeguate. Insomma la sua opera vuole essere non solo scienza applicativa ma anche scienza teorica. Scrive infatti: “Ora, poiché il detto studio è indispensabile, così noi abbiamo ritenuto opportuno di raccogliere tutto quello che i nostri predecessori scrissero e che noi stessi abbiamo inoltre investigato in modo teorico (*prosetheorésamen*).” (Heronis 1903)

L’immagine che emerge dalla lettura dell’opera eroniana riguardo ad Archimede è certamente quella di un autore interessato ad opere di dimostrazioni, ma è quella soprattutto più ampia di autore interessato ad operazioni fisiche di misurazioni, e per questo inventore di metodi di misurazione, non arrestandosi a metodi di misurazioni di forme regolari, perfette, secondo un’immagine platonica, consegnataci da Plutarco, ma andando oltre, alla misurazione delle forme le più irregolari, empiriche, non solo ideali, inventando per essi metodi adeguati, anche se non rigorosi, approssimativi. Leggiamo a tal proposito quanto scrive sia nella introduzione al Libro II sia nella conclusione allo stesso libro:

Dopo la misurazioni delle superfici rettilinee e non, in seguito dobbiamo passare ai corpi solidi, dei quali nel libro precedente misurammo tanto le superficie piane quanto quelle sferiche, oltre quelle coniche e cilindriche, e poi quelle irregolari, le investigazioni (*epi-noias*) delle quali in quanto cose di non comune opinione (*paradòksous*) coloro che raccontano intorno alla successione fanno risalire ad Archimede. Sia che siano di Archimede sia che siano di qualcun altro, è però necessario presentare per iscritto queste, affinché il presente trattato non contenga lacune intorno ad alcunché per coloro che intendono occuparsi di queste cose. Dopo aver misurato i corpi irregolari, crediamo di fare almeno un rapido cenno sulla misura di quelli non regolari, quali sarebbero radici di alberi e pezzi di marmo, giacché alcuni raccontano (istorousi) che Archimede abbia scoperto (*epinenoekenai*) un metodo (*methodos*) per queste cose. (Heronis 1903)

L’interpretazione poi che si vuol dare dell’introduzione al Libro III, ancora una volta in chiave platonica, ci sembra una forzatura. (Guillaumin 1997)

L’Archimede eroniano appare insomma più un pitagorico, interessato al numero matematico, rapporto tra grandezze, che al numero ideale, esistente per sé, metafisico, di ascendenza platonica, che era quanto divideva, secondo la testimonianza di Aristotele, i pitagorici dai platonici. Da Erone tra l’altro apprendiamo che Archimede, in cerca di un metodo di misurazione del cerchio, più rigoroso di quello degli antichi, dovette attraversare nelle sue investigazioni metodi diversi. Che le misurazioni eroniane di ascendenza archimedeana servono per opere di costruzione lo si può vedere via via dalle tante conclusioni che Erone trae da quelle, come nei casi della prop. 25, L.I. (Heronis 1903)



## 5. Archimede ed Erone, illuministi, *ante litteram*. Conclusione

Oggi la figura di Erone viene sempre più fatta oggetto di studio e di rivalutazione, di persona di certo spessore matematico e filosofico - speculativo, ma anche di persona inserita in un vasto filone culturale, dentro una tradizione di pensiero, che tenendo presente l'unità del sapere, resistette, nel corso della storia antica, alla sua disgregazione come alla sua alterazione in senso gerarchico, con cui si vollero giustificare altre gerarchie, intendiamo quelle sociali e politiche. La nostra interpretazione forse diventa la risposta a quanto in modo acuto ed inquietante, di fronte a giudizi storici superficiali, ottusi e preconcetti su Erone, L. Geymonat si pone nel suo scritto di storia della matematica, concludendo la sua presentazione di Erone, a proposito di quella che lui chiama la "svolta operativa" di Erone nei confronti dello spirito euclideo, improntato a purismo geometrico. (Geymonat 1965)

Ebbene dobbiamo ammettere, come da noi si è cercato di dimostrare in molti dei nostri scritti, che nella storia della scienza greca si sono fronteggiate sin dal VII-VI secolo a.C. due tradizioni di pensiero sul modo di concepire la scienza ed in particolare nel nostro caso del *Metrikon*, la matematica. Se da una parte in pensatori, quali Pitagora, Parmenide, Archita, Eudosso, Democrito, Archimede, si è tenuta ferma l'unità del sapere, in cui la scienza-filosofia stava congiunta con i diversi saperi come oggi li chiamiamo (matematica, fisica, astronomia, ecc. ...), non separandoli dal loro uso pratico, tecnico, non creando una gerarchia tra loro, per perfezione, dall'altra parte, ci riferiamo a Platone ed Aristotele, i saperi sono stati separati creando tra loro una gerarchia di valore circa l'oggetto che trattavano.

Per cui se gli oggetti della matematica erano per Platone oggetti puri, perfetti, esistenti eternamente di per sé in un mondo iperuranico, oggetti di una scienza superiore, la geometria, di *contra* a quelli, per Platone stavano gli oggetti sensibili ritenuti impuri, imperfetti ed esistenti in modo transeunte, effimero, del quale si occupavano i saperi inferiori, rappresentati dalle varie arti. Non diversamente stavano le cose per Aristotele il quale riteneva che gli oggetti matematici erano separati ed esistenti in modo perfetto solo in un mondo astratto, che non può mai rappresentare la realtà sensibile, ma solo, come anche per Platone, imitarla, scimmiettarla, ma non innovarla, arricchirla di nuovi oggetti, né di creare nuove macchine. (Boscarino 2012)

Per i primi invece la *mathesis*, la conoscenza matematica trae dal mondo sensibile multiforme e confuso alcune proprietà, le trasforma in idee, le proprietà in quanto tale, gli elementi, e li compone poi, secondo una logica matematica, che non è la logica del senso comune, quale è quella aristotelica, in una 'teoria', ovvero in una nuova osservazione; in tal mondo crea il nuovo mondo fisico, al di là del mero mondo sensibile, in cui si mescolano una filosofia con suoi elementi e principi, una scienza con un suo complesso di proprietà fisiche, con sue precise forme geometriche, relazionate tra loro da rapporti numerici, che ne colgono l'intima essenza.

La realtà fisica, non essendo più, né una mera realtà metafisica, fissa ed assoluta, esistente in un modo iperuranico, quindi inaccessibile all'azione umana (Platone), né una mera realtà astratta, a cui corrispondono al di là del mondo sensibile, ancora forme sostanziali imm modificabili, quindi rendendo ancora inutile ed impotente l'azione umana

(Aristotele), diviene invece un ben preciso contesto teorico, in cui si rapportano elementi, forme geometriche, leggi, e precisi rapporti numerici, grazie al quale è ora possibile modificarla, inventarne di nuova, usare le sue stesse leggi per creare macchine che aiutano e rafforzano l'azione umana.

Per Erone l'essere naturale non è costituito solo di forme sostanziali o di mere potenzialità, *dynamis*, come hanno pensato gli antichi filosofi, entro cui possiamo benissimo collocare Platone ed Aristotele, ma anche di enti artificiali, prodotti dell'*energeia*, quella forza interna naturale ed esterna umana, grazie alle quali si possono produrre oggetti nuovi e macchine non presenti in natura.

I diversamente filosofi, quelli che Erone chiama i 'meccanici', allora non solo innovano su un diverso concetto di 'realtà fisica' con i concetti di elemento e di principio, come nel caso del concetto di 'vuoto', in Erone, nel momento in cui ne modificano il significato, dal punto di vista epistemologico e filosofico, ma costruiscono, non una teoria statica di forme, ma una nuova teoria dinamica ricca non solo di vecchie scoperte da conservare trasmettendole alla memoria degli uomini, ma anche di possibili nuove scoperte future mescolandole sempre più con la '*mathesis*'.

Insomma in Erone troviamo quanto Newton agli inizi della rivoluzione scientifica nel XVI secolo aveva auspicato richiamandosi a Pappo, il quale tra l'altro riconosceva in Erone, colui che ben aveva mescolato nel suo concetto di scienza 'filosofia, matematica e meccanica'. Leggiamo prima la testimonianza di Pappo su Erone e i suoi seguaci:

I meccanici seguaci di Erone dicono che una parte della meccanica è razionale, l'altra parte applicata, e che la parte razionale si compone della geometria, dell'aritmetica, dell'astronomia, e degli stadi di cose fisiche, mentre la parte applicata comprende l'arte di lavorare il rame, l'arte di edificare, l'arte di costruire in legno, l'arte della pittura, e l'esercizio manuale di queste arti. (Pappo 1933)

E ancora dello stesso Pappo:

La teoria meccanica, o figlio mio Ermodoro, essendo utile a molteplici ed importanti cose che si presentano nella vita, merita a giusto titolo il più grande favore presso i filosofi e fa l'ambizione di tutti i matematici, poiché per prima si occupa da vicino della fisiologia degli elementi materiali nel mondo. (Pappo 1933)

Quindi quanto scriveva Newton all'inizio della sua prima prefazione del 1686 al suo capolavoro *Philosophiae naturalis principia mathematica*:

Poiché gli antichi (come viene detto da Pappo) ebbero nella massima considerazione la meccanica nella investigazione delle cose naturali, e i moderni, abbandonate le forme sostanziali e le qualità occulte, hanno cercato di assoggettare i fenomeni della natura a leggi matematiche, ho ritenuto opportuno in questo trattato di coltivare la matematica per quanto riguarda la filosofia. (Newton 1997)

Nella razionalità scientifica matematica dei Pitagora, degli Archita, degli Eudosso, dei Democrito, degli Euclide, degli Archimede, il quale solo a questi due ultimi nei sui

scritti si richiama, allora si mescolano senza alcuna posizione gerarchica i diversi saperi, quali filosofia, matematica e meccanica, mentre nella razionalità scientifica non matematica queste vengono scisse creando una separazione e una gerarchia di valori che poi in ultima istanza servono a fini di conservazione sociale, del senso comune e religioso e della tradizione. Non per niente stando alla testimonianza di Plutarco Platone condanna la mescolanza di meccanica e geometria in Archita ed Eudosso. (Boscarino 2010) Non per niente ancora nel suo *De Caelo* Aristotele scrive: “È bene convincersi della verità delle antiche dottrine patrimonio per eccellenza dei nostri padri secondo le quali esiste qualcosa di immortale e divino”. (Aristotele 1973)

Per Aristotele pertanto la razionalità scientifica non matematica deve muoversi in circolo; quanto attestano la tradizione, il senso comune con le sue parole, che eguagliano il reale con il sensibile, e la religione con le sue credenze è trovato dalla ragione scientifica e filosofica e viceversa. La ricerca scientifica dimostra quanto il linguaggio comune dice, senza il sapere razionale, e la religione crede, senza il ragionare matematico. Anzi essa non può professare teorie che contrastano con questi. In Erone invece troviamo una razionalità scientifica matematica aperta, progressiva, moderna sin dall’inizio della sua opera *Metrikon*, quando scrive:

La primitiva geometria, come ci insegna l’antico racconto, si occupava della misurazione e della divisione della terra, e per questo veniva chiamata geometria. Divenendo poi sempre più utile agli uomini, il suo campo di applicazione venne ampliato, per cui la trattazione delle misure e delle divisioni si estese anche ai corpi solidi; e poiché i primi teoremi scoperti non bastavano, richiesero pertanto ulteriori indagini, per cui ancora fino ad oggi restano da trovare alcune cose, quantunque Archimede ed Eudosso abbiano trattato in modo eccellente l’oggetto di studio. (Heronis 1903)

Come già nell’introduzione al *Metrikon* il solo citato è Archimede, con Eudosso, di tradizione italica. Possiamo denominare insomma Erone come già Archimede, i precursori del pensiero moderno, anzi i pensatori *ante litteram* del pensiero illuministico.

## Bibliografia

- Acerbi F. (2013). *Metodo*. Torino: Boringhieri.
- Aristotele (1973). *De caelo*. Bari: Laterza.
- Boyer C. (1982). *Storia della matematica*. Milano: Mondadori.
- Boscarino G. (2010). *The Mystery of Archimedes. Archimedes, Physicist and Mathematician, Anti-platonic and Anti-Aristotelian Philosopher*, in Paipetis S.A., Ceccarelli M. (eds.), *The Genius of Archimedes*. Berlin: Springer, pp. 313-322.
- Boscarino G. (2011). “The onto-epistemological background of Archimedes’ mathema”. *Logic and Philosophy of Science*, 9 (1), pp. 111-129.
- Boscarino G. (2012). *At the Origins of the Concepts of Mâthema and Mekhané: Aristotle’s Mekhanikà and Archimedes’ Tropos Mekhanikòs*, in Koetsier T.,

- Ceccarelli M. (eds.), *Explorations in the History of Machines and Mechanisms: Proceedings of HMM*. Berlin: Springer.
- Boscarino G. (2014). "The Italic School in Astronomy: From Pythagoras to Archimedes." *Journal of Physical Science and Applications*, 15, pp. 385-392.
- Boscarino G. (2015) "Archimedes' Pсамmites and the Tradition of Italic Thought of Science". *Advances in Historical Studies*, 4, pp. 8-16.
- Boscarino G. (2016) *Tradizioni di pensiero. La tradizione filosofica italiana della scienza e della realtà*. Roma: Aracne.
- Frajese A. (1974) (a cura di). *Opere di Archimede*. Torino: UTET.
- Geymonat L. (1965). *Storia della matematica*, in Abbagnano N. (a cura di). *Storia delle scienze*. Torino: Utet.
- Guillaumin J.Y.(1997). "L'eloge de la géometrie dans la préface du livre III des Metrica d'Héron d'Alexandrie". *Revue des études anciennes*, 99, pp. 91-99.
- Heath S.T. (1912). *The works of Archimedes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heath S.T. (1981). *A History of Greek Mathematics*. New York: Dover.
- Heath S.T. (1981). *The works of Archimedes. With a Supplement The method of Archimedes*. New York: Dover Publications, pp. 13-14.
- Heiberg J.L. (1906-1907). "Eine neue Schrift des Archimedes". *Bibliotheca mathematica* 3d ser., 7, pp. 321-363.
- Heronis Alexandrini (1903). *Opera quae supersunt omnia*, Vol. III, *Metrikon*, A, B, C, H. Lipsiae: Schoene.
- Kline M. (1991). *Storia del pensiero matematico*. Torino: Einaudi.
- Loria G. (1914). *Le scienze esatte nell'antica Grecia*. Milano: Hoepli.
- Netz R., Noel W., Wilson N., Tchernetska N. (2011) (eds.). *The Archimedes Palimpsest*. Cambridge: Cambridge University Press., Vol. II.
- Netz R. (2007). *Il codice perduto di Archimede*. Milano: Rizzoli.
- Newton I. (1997). *Principi matematici della filosofia naturale*. Torino: Utet.
- Ver Eecke P. (1933). *Pappus d'Alexandrie: La Collection Mathématique avec une Introduction et des Notes*. FoParis: Albert Blanchard, 2 vols.
- Vitrac B. (2011). *Faut-il réhabiliter Héron d'Alexandrie?*, in *Faut-il réhabiliter Héron d'Alexandrie?* (Montpellier, Sept. 2008). Paris: Le Belles Lettres, pp. 281-296.

# The Milanese period of Albert Einstein

Christian Bracco, SYRTE, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, LNE - cbracco@unice.fr

*Abstract:* This presentation, dedicated to the young Einstein's environment in Milan, focused on two new points: (I) the library where he would work during his family trips from 1896 to 1901, identified as the library of the Lombardo Institute, academy of science and letters; (II) the new direction given to his doctoral work in mid-April 1901 – that can be linked to an article written by M. Reinganum, published in the *Festschrift* for Lorentz, a publication that could be found in this library from January 31<sup>st</sup> 1901. The end of the presentation raised a question about light quanta: could Einstein have had a first idea about this as soon as the 1901 spring in Milan? The research about Einstein's scientific environment in Lombardy has then known several developments: the question of light quanta, Michele Besso's family (Einstein's friend) and their connection with the electrotechnical environment, Michele's thesis, and finally, Einstein's scientific environment in Pavia. It seems desirable to give an insight of these recent developments as well.

*Keywords:* Einstein, Besso, Cantoni, Istituto Lombardo, molecular forces, light quanta.

## 1. Introduction

It should be reminded that Einstein has visited Milan between 1896 and 1901 during semester breaks of the Zürich polytechnic (September/October - March/April) at his parents', at 21 via Bigli, a stone's throw from the Scala theatre, in a famous palace then belonging to Prince Luigi Alberico Trivulzio. This palace had accommodated Countess' Clara Maffei salon until 1886. Albert's relatives (his father Hermann and his uncle Jacob) had settled in Milan and Pavia to actively participate into the development of the electrification of North Italy when they moved their electrotechnical company from Munich to Pavia in 1894. Since 1887 they had handled the electrification of several cities in Piedmont and Lombardy. It is in this context that the initial training in 1895 in Pavia of the young Einstein – then aged 16 and trained at his uncle's engineers office, preparing the ETH entrance examination – should be studied. Nowadays the documents allowing to follow the evolution of his scientific ideas that led to the publication of his famous 1905 papers about light quanta, Brownian motion, and relativity, are scarce. The main pieces of information are to be found in the letters addressed to his future wife Mileva Marić. (Stachel 1987), (Renn, Schulman 1992) Therefore it is important to clarify the context in which these letters were written in Milan, as well as, more generally speaking, the environment in which Einstein was evolving.

## 2. Einstein in Milan

### 2.1. The Istituto Lombardo library

It can be established, from the scientific content of his letters to Mileva, the topics and authors mentioned, that Einstein had read *Annalen der Physik und Chemie*, then *Annalen der Physik* (that replaced them from 1900), and probably also *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, through his references between 1899 and 1901 to W. Wien, P. Drude and M. Planck, respectively. Einstein also specified in his letters that he had read Drude's paper 'at the library'. Yet, the only library that at the time owned these journals is the Lombardo Institute, academy of science and letters. It should be noted that the Politecnico in Milan did not own them, which can be explained by the fact that the school, then situated at the Piazza Cavour, was very close to the Lombardo Institute; that most of his teachers were members of the Institute; and that the Institute was at the origin of the Politecnico in 1863. The factual elements allowing the identification of this library were published in 2014 in the *Rendiconti di Scienze*. (Bracco 2015a) It is very likely that Giuseppe Colombo himself allowed Einstein's access to this library. He had been several times President and Vice-President of the Institute between 1890 and 1900, and the Einsteins were probably in touch with him. (Biscossa 2005, Bracco 2015a) His access to the library could otherwise have been granted by Giuseppe Jung, Michele Besso's uncle through marriage with Michele's aunt, Bice Cantoni. Jung was mentioned by Albert Einstein in his letters to Mileva as one of the people ensuring his "protection" in Milan. He was professor of mathematics in the Politecnico, where he taught static graphics, and he was also a member of the Lombardo Institute. A confirmation of Einstein's passage at the Brera Palace, where the Lombardo Institute was then, is to be found in this quote from Rudolph Kayser:

Milan was a paradise of freedom and beauty. He [Einstein] read much now, with that complete passion and devotion with which young men read. But he also enjoyed the landscape of Northern Italy, and the sun and warmth, which he loved about all things. For the first time in his life, he studied the plastic and graphic arts: the last supper of Leonardo da Vinci at Santa Maria delle Grazie, the collections at Brera – a world of classical beauty! (Kayser (alias Reiser, A) 1931)

### 2.2. Scientific consequences

#### 2.2.1. The new direction given to Einstein's doctoral work in April 1901

A knowledge of the library where Einstein used to work in Milan allows us to draw connections between the content of his letters to Mileva or his friends and the resources then available at the library. One of them is particularly meaningful: the *Festschrift* for Lorentz, which gathers contributions from seventy well-known physicists (such as Boltzmann, Planck, Poincaré, Righi, Wien, Wiechert, Zeemann, etc.), and was given to Lorentz on December 11<sup>th</sup> 1900 to celebrate the 25<sup>th</sup> anniversary of his doctorate. It was published in a specific volume of the *Archives néerlandaises des sciences exactes et*

*naturelles*, which was received at the library of the Lombardo Institute on January 31<sup>st</sup> 1901 as it is indicated in an inscription on its cover. Because he had then been a PhD student since the autumn of 1900, it is likely that through his bibliographical research Einstein had read this volume in the spring of 1901 in Milan. The letters successively addressed to his friend Marcel Grossmann and to Mileva, in mid-April, demonstrate the extent of the topic of his doctoral work about molecular forces to weakly compressed gases. His goal was then to determine the laws of attraction between molecules, considered as force centers, through an analogy with gravitation (with, however, a different power law), the molecule size playing no role. This work follows a first article about capillarity, written in December 1900 and published in March 1901 in the *Annalen der Physik*. My colleague, Jean-Pierre Provost pointed out to me that Einstein's point of view in the letters to Mileva could be related to Reinganum's in his *Festschrift* article *On molecular forces in weakly compressed gases*. In this article, for instance, a comparison can be found between molecular forces and "planetary forces" with a dependence in  $r^{-4}$  and the fact that the molecule size does not play any role, molecules being considered as force centers.

### 2.2.2. A first idea of light quanta in April 1901 in Milan?

A more speculative point concerns the hypothesis of light quanta. Einstein dated his reflections in 1900-1901, as he did through the two following quotes, the first one taken from discussions with R. Shankland:<sup>1</sup>

I asked Professor Einstein about the three famous 1905 papers and how they all appeared to come at once [...]. He quickly added that the photoelectric effect paper was also the result of five years pondering and attempts to explain Planck's quantum in more specific terms. (Shankland 1963)

and the second from a letter to Michele Besso in 1951:<sup>2</sup>

All these fifty years of conscious brooding have brought me no nearer to the answer to the question, 'What are light quanta'? (Speziali 1979)

Einstein learned about the  $\varepsilon = h\nu$  quanta hypothesis from Planck in April 1901 in Milan, as he indicated to Mileva. The aforementioned quotes both clearly attest of a reflection on the nature of light alongside his bibliographical work at the Lombardo Institute. The hypothesis of a first idea of light quanta as soon as 1901, based on his letters to Mileva, his memories and his atomistic vision was introduced by Jürgen Renn. (Renn 1993) Let us emphasize that such an idea could have been comforted by his reading of Poincaré's article in the *Festschrift* "*Lorentz theory and principle of reaction*" as discussed in Bracco (2015b). Indeed, an important result that is to be found

<sup>1</sup> Conversation of October 24th 1952.

<sup>2</sup> Letter from Einstein to Besso in December 1951, letter *EB 177*.

in Poincaré's calculations is, using the Lorentz transformations of 1895 at first-order in  $V/c$  and the interpretation of the *local time*, that the energy and frequency of a light pulse (a portion of a plane wave) transform in the same way. (Provost *et al.* 2013) This behavior demonstrates the compatibility of Planck's relation with an important property of the radiation itself and the coherence of a naïve model of quanta with a portion of plane wave  $h\nu$ . (Bracco 2015c), a model to which Einstein will refer later. The proportionality of energy to frequency in Planck's relation could also have been comforted by the fact that it can be considered as a consequence of Wien and Stefan laws of the black body radiation in relation to the above model. (Bracco 2015b) Einstein's ideas about light quanta could thus be related to considerations about relativity and black body radiation as soon as 1901.

### 3. Michele Besso's thesis and his family

Einstein's scientific remarks to Mileva should be considered in the context of his collaboration with Michele Besso, that he met near 1896 in Switzerland, who graduated from the ETH in 1895 and who worked in Milan between 1899 and 1901. A series of letters between Einstein and Besso have been published by Pierre Speziali (Speziali 1979), with unfortunately only one letter from Besso before 1909, in February 1903. This unique letter proves a methodic bibliographical work led by Besso for Einstein about molecular dissociation, a topic that they were already studying in 1901. Einstein told Mileva in 1901 that he used to discuss 'at night' with Michele and they would allude various topics: molecular forces, dissociation, the nature of radiation, the relative motion of ether and matter, etc. It *de facto* appears that the Milanese period prefigured their famous collaboration in Bern from January 1904, when Besso worked at the Patent Office, at Einstein's request. A letter from 1913, found at the Marco Besso foundation in Rome,<sup>3</sup> addressed by Michele to his aunt Ernestina – Marco Besso's wife – in June 1913, contemporary to Einstein's work on general relativity, expressed in subtle terms the way in which he envisioned his collaboration with Einstein that he qualified as a 'gigante' as he designated himself as a 'pigmeo', but a '*pigmeo veggente*'. (Bracco 2015a)

#### 3.1. Michele Besso's thesis

Einstein wrote to Mileva in October 1900 to encourage her to become a '*dozent*' i.e. to start a thesis. At the same time, he said he was working for Michele on a topic that can be associated with wireless telegraphy. (Bracco 2015a, Bracco 2015b) Elements confirming the hypothesis of a thesis about wireless telegraphy can be found in the inventory of the donation 'o Giuseppe Jung's (Michele's uncle) personal library as it is described in the mathematics library registers at the Politecnico in 1926 and at the

<sup>3</sup> Marco Besso Foundation, Largo Torre Argentina, 11, 00186 Rome.



University of Milan in 1935, as we shall see. Firstly, let us remark that this donation contains the totality of Einstein's scientific articles written before 1907 (twelve articles), in the list of the nearly 2.500 preprints of mathematics articles owned by Jung. This not only means that Einstein had actually given (with Michele's help) his first article about capillarity to Jung, but also that he had continued to do so, at least until he obtained his first position at the Bern University in 1907. Among 500 mathematics books, a few physics books about electricity and wireless telegraphy, most of them edited between 1897 and 1901, can be found in the donation. Three of them are marked as 'donation from the editor', which proves that they are original copies. A plausible explanation would be that Jung brought these books from the Politecnico or the Lombardo Institute for his nephew Michele who was then studying these topics. Michele Besso, for his part, confirms that he had started working on a thesis that never was completed. The reason for this could be the death of his father in October 1901 and his departure to Trieste. On the basis of these remarks, we may wonder which group Michele could have envisioned his thesis with. Some very indirect elements suggest Pietro Blaserna's group (Bracco 2015d) at the Physics institute via Panisperna in Rome – which was working on wireless telegraphy, and several of its members, starting with Blaserna himself, who knew Michele Besso and his family. It should be reminded that Michele had been Blaserna's brilliant student during his first year at the Science University in Rome between 1890 and 1891, when Blaserna was Dean and his uncle Marco was a friend of his.

### **3.2. The Einstein and Besso families and the electrotechnic environment**

Our study may now be widened to the general context of engineers and leaders in which Einstein and Besso evolved. Jakob Einstein, engineer from the 'Stuttgart polytechnic school', author of many patents in the electrotechnic field, played an important role in the training of the young Einstein, who worked in 1895 in Pavia at his uncle's office. There he could study the main European journals in the electricity field, which offered, beside the technical descriptions, presentations of engineer courses, as it is the case in the French publication *l'Éclairage électrique*. (Bracco 2015b) About Michele's family, if precious data were published by Speziali, other details could have been noted about not only the paternal branch of the family, but also the maternal branch of the Cantoni which was not discussed by Speziali. Michele's mother, Erminia Cantoni's siblings are, apart from Bice, Jung's wife that we already mentioned, Emma, Maria, Vittorio and Tullo. (Bracco 2015a) It should be noted that Vittorio, engineer of the polytechnic in Zürich and then of the Politecnico in Milan, was the engineer in chief of the electric line that carried alternative power between Tivoli and Rome, and was inaugurated in 1892, placed under the supervision of Guglielmo Mengarini. Vittorio had already implanted a Gaulard-Gibbs transformer in Tivoli in 1886, probably in direct connection with Galileo Ferraris. On the Bessos' side, it should be noted that Marco Besso, director then president of the Assicurazioni Generali also played an important role in the fundraising for the development of electricity in Italy. He was a member of the board of

directors, then president of the “Società per lo Sviluppo delle imprese elettriche in Italia” that employed his nephew Michele in 1900-1901.

#### 4. Einstein’s scientific environment in Pavia

Several articles and books dealing with the professional and social context of the Einstein family in Pavia have been published in Italy (Bevilacqua *et al.* 2005), (Biscossa 2005), (Fregonese 2005), E. Sanesi whose publications are indicated in Fregonese (2005), and also F. Bernini. (Bernini 1994) The linking of the pieces of information contained in these studies and recent verifications allow us to establish a direct connection between the Einsteins and the Pavia University (Bracco 2015d): Angelo Cerri, one of the associates of the “Einstein, Garrone and C.”, the Einsteins’ company in Pavia, had been professor Gobbi-Belcredi’s assistant since 1885, at the chair of theoretical geodesics, where he would in particular teach spherical geometry, geodesy and geometrical optics. He also taught mathematics and French at the Bordoni Institute. It should also be underlined that Giulio Vivanti, a mathematician and professor at the Scuola normale, taught analysis and algebra to freshmen at the science university of Pavia. He was a university classmate of the Einsteins’ main associate, Lorenzo Garrone, who graduated in civil engineering in 1881 at the Politecnico in Turin. Then, Albert Einstein, who asked in August 1895 for a ‘*piccola raccomandazione privata*’ to attend H.F. Weber’s classes at the ETH of Zurich (Silvestri 2005), could, without any major difficulty, informally attend the mathematics classes at the University of Pavia, if this could help him in the preparation to the ETH competitive exam. It also appears that Ernestina Marangoni – Albert’s friend – had her uncle, Carlo Marangoni (Bracco 2015d), who was a physicist, specialist of capillarity (quoted by H. Minkowski) and known for the Gibbs-Marangoni effect in physics. He had conducted his doctoral work in Pavia with Giovanni Cantoni. It should finally be noted that the Einsteins, who had relations with Ferraris and Colombo, probably also had connections in Pavia with Cantoni himself, their counterpart in the committee who had planned the participation of Italy to the first international electrical exhibition in Paris in 1881. Cantoni was also quoted in 1913 in the first issue of the *Isis* publication by I. Guareschi, for his work on Brownian motion. In 1895, the physics laboratory of the university was directed by Adolfo Bartoli, who is known for his studies on radiation pressure. Albert Einstein *de facto* benefited from a first rate scientific environment in Pavia, in the fields of electrotechnics, mathematics, and physics – and his early training could have benefitted from this environment.

Acknowledgements: I am grateful to Prof. Gianpiero Sironi, at the time President of the Istituto Lombardo, and to Prof. Andrea Silvestri m.e. of the Istituto, who communicated the article to the Academy. I thank Prof. Lucio Fregonese and Prof. Fabio Bevilacqua for our discussions concerning Albert Einstein’s environment in Pavia. I thank my colleague Jean-Pierre Provost for our many discussions during this research. I also thank Vittorio Cantoni (Vittorio’s grandson), theoretical physicist, Prof. in the

mathematical Department of the University of Milan, and Valeria Cantoni, from Tullo's family. Many thanks also to the people of the libraries and of the archives, in Milano and in Pavia.

## References

- Bernini F. (1994). *Che bel ricordo Casteggio...: Albert e Maja Einstein ed il salotto letterario di Ernestina Pelizza Marangoni*. Casteggio: Ed. Modulo Tre di Diego Dabusti & C.
- Bevilacqua F., Renn J. (eds.) (2005). *Albert Einstein, Ingegnere dell'universo*. Milan: Skira.
- Biscossa S. (2005). *Gli Einstein imprenditori a Pavia (1894-1896)*. Pavia: Industria grafica pavese.
- Bracco C. (2015a). "Einstein and Besso: from Zürich to Milan". *Rendiconti dell'Istituto Lombardo. Classe di Scienze Matematiche e Naturali*, 148, pp. 285-322 [online]. URL: <<http://www.ilasl.org/index.php/Scienze/article/view/178>> [access date: 15/06/2016].
- Bracco C. (2015b). "L'environnement scientifique du jeune Albert Einstein: la période milanaise". *Revue d'Histoire des Sciences*, 68-1, pp. 109-144.
- Bracco C. (2015c). *Quanta: the originality of Einstein's approach to relativity?*, in Jantzen, R. T., Rosquist, K., Ruffini, R. (eds.), *Proceedings of the 13th Marcel Grossman Meeting*. Singapore: World Scientific, pp. 2051-2056.
- Bracco C. (2015d). "Un aperçu des liens d'Albert Einstein et de Michele Besso avec les universités et les écoles d'ingénieurs italiennes". *Annali di Storia delle Università italiane*, 19 (2), pp. 129-152, [online]. URL: <<https://www.rivisteweb.it/doi/10.17396/81678>> [access date: 15/04/2016].
- Fregonese L. (2005). *Gioventù felice in terra pavese. Le lettere di Albert Einstein al Museo per la Storia dell'Università di Pavia*. Milano: Cisalpino-Istituto editoriale universitario.
- Kayser R. (alias Reiser A.) (1931). *Albert Einstein, A biographical portrait*. London: Thornton Butterworth.
- Provost J.P., Bracco C. (2013). *Une brève histoire du tenseur énergie-impulsion: 1900-1915*, in *Théorie quantique des champs: Méthodes et applications*, TVC 79. Paris: Hermann, pp. 417-449.
- Renn J. (1993). "Einstein as a disciple of Galileo. A comparative study of concept development in Physics". *Science in context*, 6 (1), pp. 311-341.
- Renn J., Schulman R. (1992). *Albert Einstein, Mileva Marić: The love letters*. Princeton: Princeton University Press.
- Shankland R.S. (1963). "Conversations with Albert Einstein". *American Journal of Physics*, 31 (1), pp. 47-57.
- Silvestri A. (2005). *Omaggio ad Albert Einstein*. Milano: Politecnico di Milano.
- Speziali P. (1979). *Correspondance: 1903 - 1955/Albert Einstein - Michele Besso*. Paris: Herman.
- Stachel J. (1987) (ed.). *The collected papers of Albert Einstein (CPAE), The early years, 1879-1902*. Princeton: Princeton University Press, Vol.1.



# A treatise on the plague by Giovanni Battista Baliani

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

*Abstract:* Giovanni Battista Baliani in 1653 published a booklet of some success entitled *Trattato di Gio. Battista Baliano della pestilenza: ove si adducono pensieri nuovi in più materie*. This work, little-known today, is of interest not so much with regard to the history of medicine or epidemiology, as the title might suggest, but for what concerns the philosophy of nature of the 17th century. In this treatise Baliani brought his conceptions about the constitution of matter in an attempt to explain the nature and spread of the plague with the aid of two constituents of nature: light and matter. Light is conceived as inanimate and immaterial substance. Matter is in turn formed by various principles (not first principles however) including sulphur, oil saltpetre, mercury. These are then traced back to two first principles, following Aristotle: earth and water. Baliani also exposed his empiric conceptions of science and strongly stated a rejection of authority which should be taken into serious consideration only if it fits the experience and is supported by it. True explanations must be based on reason which in turn is based on experience. And experience must be incontrovertible.

*Keywords:* Epistemology, philosophy of nature, history of science, experience and experiments

## 1. Introduction

In 1638 Giovanni Battista Baliani (1582-1666) wrote *De motu naturali gravium solidorum* (Baliani 1638) in which the law of falling bodies was derived using as principles empirical laws considered for him indubitable. The epistemological approach of Baliani was opposed in some way to that of Galileo exposed in the *Discorsi e dimostrazioni matematiche sopra due nuove scienze*, also published in 1638 shortly after the *De motu naturali gravium solidorum*. In his work Galileo drew the law of motion by a simple and intuitive principle that however had no empirical character or at least did not have definite evidence of an experimental nature, according to which the speed of a heavy body uniformly grows with time during its fall.

In 1646 Baliani published a new enlarged edition of his book, entitled *De motu naturali gravium solidorum et liquidorum* (Baliani 1646), to which it had been added three sections on the motion of fluids. But mostly, all considered in a sneaky way, the epistemological approach was overturned. According to Baliani the science of motion could not be based on an empirical principle but required principles of natural philosophy. The principles on which Baliani intended to found the law of motion were the constancy of the effect of force of gravity and the preservation of the acquired

impetus. Based on these principles, he arrived to a law of motion that contrasted that found in 1638. There the falling bodies followed the law of the odd numbers, here that of the natural numbers. Baliani noted that these two laws differed little if well interpreted, but it was the first to be only approximate. Hence the conclusion that one cannot decide the correctness of a law only on the basis of experience, which can be deceiving. Thus a physical law must be deducible from general principles.

Of course one wonders what had produced this change and why Baliani who until then had behaved essentially as a mathematician moved his interest toward the philosophy of nature. The biographical information of Baliani and his correspondence are little known; so one can only guess. A first hypothesis traces the interest of Baliani for natural philosophy at the Jesuit philosopher Nicolò Cabeo (1586-1650). Baliani knew him in Genoa in 1632, and made with him a friendship. Cabeo had printed in 1646 his commentary on *Meteorologica* of Aristotle, the *In quatuor libros Meteorologicorum Aristotelis commentaria* (Cabeo 1646), that strongly revisited the Aristotelian philosophy, that became after the *Philosophia magnetica* (Cabeo 1629) of 1629. A second hypothesis concerns the contacts with the Jesuit Honoré Fabri that Baliani met in 1647.<sup>1</sup> In 1746 Fabri had published a text, *Tractatus physicus de motu locali* (Fabri 1746), in which there were reported considerations on falling bodies very similar to those of Baliani. A third hypothesis, which play the role of final cause, ventilated by Costantini (1969), sees socio-political reasons, always connected to the contact of Baliani with Jesuits scientists (besides Cabeo and Fabri at least also Orazio Grassi). He would have been convinced by the Jesuits to get in contrast with Galileo and the change of his epistemological position would have been simply a pretext. That view is shared in Galluzzi (2001). This external justification however seems to me a bit forced to explain the change of epistemological positions of Baliani and his involvement in natural philosophy. That the interest of Baliani was not instrumental I think is documented by his interest in natural philosophy reported in different contexts, and especially in his last printed work, the *Trattato di Gio. Battista Baliano della pestilenza: ove si adducono pensieri nuovi in più materie*. (Baliani 1653)<sup>2</sup> This treatise, which had some publishing success, probably because of the way it tackled the phenomenon of the plague, was actually a treatise of natural philosophy.

In this paper the focus is on Baliani's treatise of the plague, a work that has not been considered until now in the literature apart from a slight hint of an interesting but marginal aspect in Drake (1967). The treatise is interesting because it illustrates a case of evolution of natural philosophy within the Aristotelianism. (Dear 1995) Baliani as Nicolò Cabeo is linked to Aristotle's *Meteorologica*, but has changed many aspects by introducing an approach that can be defined mechanistic, at least broadly.

---

<sup>1</sup> Contacts of Baliani with Fabri are documented by the correspondence of Baliani with Grassi (Moscovici 1967, pp. 256-261), with Mersenne and of Mersenne with Pierre Mousnier, a Fabri's disciple. (Galluzzi 2001, p. 267)

<sup>2</sup> Baliani declared a previous edition of 1647.

## 2. ‘Trattato di Gio. Battista Baliano della pestilenza’

Not many philosophical writings of Baliani remain. From his correspondence with the Jesuit mathematician Gio Luigi Confalonieri (c.1600-1653) we know, however, that Baliani expressed his interest in this area much earlier than the publication of the *De motu gravium solidorum* of 1638. In January 1639 he wrote a letter to Confalonieri stating that he prepared a note on the nature of light ‘many years before’. (Costantini 1969) Still in September 1639, he wrote to Bonaventura Cavalieri (1598-1647):

Though I made some study in mathematics, my interest is rather in finding effects and causes of natural things, of which I always thought that we know little if we do not have the support of mathematics, which guarantees the truth. Thus I tried to use it. Anyway I never estimated that philosophical matters do not depend on philosophical principles. (Moscovici 1967, p. 204)

Baliani did not find time to publish a full treatise of natural philosophy. He limited himself, in 1653, to write the less demanding *Trattato di Gio. Battista Baliano della pestilenza: ove si adducono pensieri nuovi in più materie* (herein after *Trattato della pestilenza*) (Baliani 1653), that officially devoted to the plague, dealt with arguments of natural philosophy and given its nature permitted a less rigorous treatment of philosophy.

The treatise was divided into two books; the first book is entitled: *Of the nature of the plague* (pp. 1-153), the second book is entitled: *It is likely that contagion only cannot cause the plague* (pp. 155-198). From the general title and those of the two books, it would appear to be dealing with a medical textbook. Actually it was not the case, and could not be so, because Baliani was not a physician. Certainly the topic of the plague was quite central and it was also the one which ensured the success of the book, because the subject of the plague was faced for the first time with scientific method and reference to modern conceptions of natural philosophy. However, most of the text, and almost all of the first book, covered topics of natural philosophy. In particular it dealt with topics which were then classified as meteorological, in line with the Aristotelian tradition of *Meteorologica*, along with elements of biology and botany.

The most salient aspects of Baliani’s epistemology expressed in the *Trattato della pestilenza* are the superiority of the method *more geometrico* and the refusal of authority. The adoption of the method ‘*more geometrico*’ for Baliani did not however imply applying mathematics to philosophy. Baliani here followed Aristotelian epistemology, by adapting it to his purpose, according to which any science has its own principles:

Based on this truth I strived to distinguish, to the extent that I could, in any branch of learning, certain things from uncertain ones [...] By reducing the discourse to syllogisms, in any of every [discourse] the major premise will be one of such propositions that are naturally known by everybody, the medium premise depends

on postulates in mathematics, revelation in theology and experience in philosophy.  
(Baliani 1653)<sup>3</sup>

where ‘philosophy’ should be intended as natural philosophy; in this field the philosopher should only base on experience and deduction.

At no time did he make reference to the approach of mixed sciences. This appears surprising considered that in his books on motion and in other writings he dealt with various matters such as those regarding atmospheric pressure, the mechanism of tides, the astronomical hypotheses, in mixed mathematics.

Even a superficial reading of the book suggests analogies with Baliani’s treatise of the plague and Cabeo’s commentary on *Metereologica*. The subject matter was similar, though the treatment of particular aspects was different. There is the same disdain toward authority, the corpuscular conception of matter, the search for efficient causes of all phenomena, the lack of any use of mathematics.

## 2.1 Elements of Natural Philosophy

### 2.1.1 Light

Baliani identified two opposing principles of nature, two substances, matter and light. The two substances repel each other; matter has a natural tendency to join, “that by his own name is called gravity”; to gravity opposes the force of light that tends to push back matter. Bodies derive from the interaction between these two opposing principles. (Baliani 1653, p. 71)

Baliani immediately declared that light is substance and not accident, but it is an immaterial substance. To justify this assertion Baliani refers to empirical experience. Light penetrates the porous bodies; therefore it is immaterial since matter cannot penetrate matter. Light passes through the vacuum, for example the one generated in the glass tube filled with mercury and inverted, and so it is substance. (Baliani 1653, p. 15) Colors are instead accidents and depend on the variations of light illuminating the parties of a body. To justify his claim at a metaphysical level Baliani referred to Platonic conceptions of light as those of Marsilio Ficino (1433-1499), that Baliani had to know. With the introduction of the immaterial substance he could thus formulate this interesting pattern constitutive of all creation:

Material substance not animated	Substance not material not animated
Material substance animated (animals)	Substance not material animated (soul)

Light for its immateriality has no inertia (modern term). The least force can put it into motion immediately as an opposing force can stop it immediately, unlike the material bodies that tend instead to continue their motion. Baliani’s position is connected to that

<sup>3</sup> Preface (not numbered pages). My translation.



of Kepler, based on his passive concept of inertia, for which light was weightless and thus offered no resistance to the power of luminous body emitting it:

The motion of light does not occur in time but in an instant. Because, as demonstrated in Aristotle's books on motion, there is a certain relationship between time and ratio of motive force, or weight, to medium. But here [the ratio] of power to moved light is infinite, since light has no matter and therefore no weight. But the medium does not resist light, since light lacks matter by which resistance could occur. Therefore the speed of light is infinite. (Kepler 1604)<sup>4</sup>

Baliani, however, considered the active role of inertia too and drew different conclusions. Since light has no inertia, it cannot move without a force that pushes it. As soon as the force ceases, the motion of light stops. The light, moreover, does not move with infinite speed but with a variable finite speed dependent on the 'force' which is exerted by luminous bodies. The sun is the primary luminous body. It is itself light and therefore immaterial substance. Light and fire are the same.

### 2.1.2 Matter

The discussion on the composition of matter is quite convoluted. Baliani said that we must rely on the experience, on the chemical analysis of the material substances. (Baliani 1653, p. 9)

Baliani started by presenting the two most reliable theories of the period, that of Aristotle of the four elements (earth, water, air and fire) and that of Paracelsus of the three elements (salt, sulphur and mercury). Meanwhile he discarded air and fire as the building blocks of matter. The fire because it is nothing but a manifestation of light and as such immaterial. The air, which is assumed as an elementary substance, because it only enters into the constitution of mixtures to fill pores left open by the hardest parts of matter. In the identification of the elements constituting the mixture Baliani individuated as principles salt, sulfur and mercury; but, he said, in fact they are not first principles, but that further analysis shows that they are derived through transformations (chemical?) from earth and water which are the real first principles. A similar idea is found in the meteorology of Cabeo (1646), which goes back to Aristotle, in this dual conception of the constitution of matter.

Therefore, the homeomerous bodies both in plants and animals *consist of water and earth* [emphasis added]. And what are metals, such as gold, & silver, and whatever else of this sort, [consist] of these [water and earth] and an exhalation, either of which, is enclosed [within the earth] as is stated in other places. (Cabeo 1646, vol. 2, p. 342)

Baliani had a corpuscular conception of matter. Corpuscles of element form minima, without any deep interaction. So bodies are not homeomerous as Aristotelian

---

<sup>4</sup> My translation.

substances. The corpuscular conception of matter served to Baliani, also to explain the phenomena of expansion and compression of bodies. His reference was mainly to air which is a simple substance. The air consists of minima, separated by bubbles of vapor. Expansion and contraction of the vapor bubbles explains expansion and contraction of the air:

The air because of all its detached minima, is very permeable so that bubbles of vapor can easily enter, and that with their expansion and reduction (for much, or little heat, or to be otherwise pressed) are the reason that the air is either expanded or shrunk, keeping (for what I know) the same form where such variation results from major or minor, heat; and changing it if it derives from being compressed; to be more flattened, as the compression is increased. (Baliani 1653, p. 87)<sup>5</sup>

For solid bodies the mechanism is the same, only that the bubbles are not only vapor but also of an oily substance.

### 3. Other philosophical works

Baliani specified better his ideas on natural philosophy in the *Dialogo secondo* of his *Opere diverse*. (Baliani 1666, pp. 39-57) Here he maintained that the approach of mathematics could be of some help to philosophy not only because of its deductive arguing, but also because it requires a rigorous analysis of principles. These should be absolutely sure and derived from empirical evidence. In this way any controversy among philosophers could be avoided and philosophy would cease to be conjecture and become exact as mathematics.

To this purpose Baliani criticized the Aristotelian theory of elements, because it was not directly derivable from the experience, and suggested the approach followed by chemists (*chimici*) that made the ‘autopsy’ to the matter. He also specified that the first principles of matter are water, earth and light and declared that he could base a philosophy on them which had the same certitude as mathematics, where consequences are deduced by means of syllogisms from certain principles.

Various are the casts of mind, so that one considers as true for a reason, another [considers] as false for another [reason]. [...] if, instead, there were greater moderation and people accustomed to know with more moderation and to distinguish what is known from what is unknown, it is certain that wise men would be in agreement with things of which there would be exact knowledge. (Baliani 1666, pp. 43-44)<sup>6</sup>

It is thus clear that Baliani has maintained throughout his life the same basic epistemological assumption: the principles of philosophy should be based on experience and experiments, which are infallible in themselves.

---

<sup>5</sup> My translation.

<sup>6</sup> My translation.

**References**

- Baliani G.B. (1638). *De motu naturali gravium solidorum*. Genoa: Farroni.
- Baliani G.B. (1646). *De motu naturali gravium solidorum et liquidorum*. Genoa: Farroni.
- Baliani G.B. (1653). *Trattato di Gio. Battista Baliano della pestilenza: ove si adducono pensieri nuovi in più materie*. Genoa: Guasco B.
- Baliani G.B. (1666). *Di Gio. Battista Baliano opere diverse*. Genoa: Calenzani.
- Baliani G.B. (1792). *Opere diverse di Gio. Battista Baliani patrizio genovese; aggiuntavi nell'avviso a chi legge una compendiosa notizia della di lui vita*. Genoa: Franchelli.
- Baroncelli G. (ed.) (1998). *De motu naturali gravium solidorum et liquidorum*. Florence: Giunti.
- Cabeo N. (1629). *Philosophia magnetica*. Colonia: apud Ioannem Kinckium.
- Cabeo N. (1646). *In quatuor libros Meteorologicorum Aristotelis commentaria, et quaestiones quatuor tomis comprahensa*. Roma: Corbelletti.
- Costantini C. (1969). *Baliani e i Gesuiti*. Firenze: Giunti Barbera.
- Drake S. (1967). "A sevennteenth century Malthusian". *Isis*, 58, pp. 410-402.
- Dear P. (1995). *Discipline & experience*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Fabri H. (1646). *Tractatus physicus de motu locali*. Leiden: Champion.
- Galluzzi P. (2001). "Gassendi and l'affaire Galilée of the laws of motion". *Science in Context*, 14, pp. 239-275.
- Kepler J. (1604). *Ad Vitellium paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*. Frankfurt: Claudium Marnium & Haerede Ioannis Abrii.
- Lavaggi A. (2004). "Attività e propensioni scientifiche in Liguria nei secoli XVI e XVII". *Balbisei Ricerche Storiche Genovesi*, 1, pp. 93-115.
- Middleton W.E.K. (1963). "The place of Torricelli in the history of the barometer". *Isis* 54(1), pp. 11-28.
- Moscovici S. (1967). *L'expérience du mouvement*. Paris: Hermann.
- Natucci A. (1960). "Giovanni Battista Baliano, letterato e scienziato genovese del secolo XVII". *Atti dell'Accademia Ligure di Scienze e Lettere*, XVII, pp. 13-27.



# Forty years without Cavendish

Francesco Castaldi - Unione Astrofili Italiani - francesco.castaldi1@gmail.com

*Abstract:* This study deals with several misunderstandings about the development of the attraction law between two masses. Every student learns that Newton wrote an equation with the product of those masses and reciprocal to the square of their distance, all multiplied by a certain constant  $G$ . And, as a conclusion, the numerical value of this  $G$  should have been discovered by Cavendish through a celebrated experiment.

As a matter of fact, Newton presented that force of attraction as due to the bulk of those masses, but exactly proportional to the inverse square ratio of distance between the centres of these two masses. We're aware that Cavendish, on 1798, published the mean density value of the Earth compared to the unit density of water. He never spoke about the product of masses and that constant  $G$ .

At those times, great mathematicians like Lagrange and Laplace, knowing with good precision the Earth volume, could calculate the mass of the Earth. But Cavendish's data was not approved by his contemporaries and after, for a total of forty years, with the exception of Laplace. When the experiments on gravity attraction were repeated, in similar or different conditions, Cavendish's value returned as the best and was finally approved by everyone. Regarding the so-called Newton's equation, it appears as a mathematical opportunity; that is, to write a simple expression for the gravity attraction between two masses by means of their product. Consequently, around 1870, a dimensional role emerged played by a universal constant, by us known as  $G$ .

Here one thing is put in evidence, that is that, before this final agreement, Newton's equation had been expressed by S.D. Poisson in 1811, signifying its mathematical necessity, but only later it became the numerical formula we know to quantify the force of gravity.

*Keywords:* Henry, Cavendish, density

## 1. Introduction

This subject-matter starts by *Principia*, Book III, Proposition X, with these words (Newton 1803, p. 181): "it's probable that the quantity of the whole matter of the earth may be five or six times greater than if it all of water; especially since I have before shewed that the earth is about four times more dense than Jupiter."<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Modern data: Earth  $\Delta=5.515$ ; Jupiter  $\Delta=1.33$ , that is Earth density 4.15 times Jupiter's.

We know the methods used in order to verify the mean density  $\Delta$  of the Earth, but there was a strange “anachronism”, because now we’re used to read something of this tenor:

The law of universal gravitation states that, when the masses are spheres with centres  $d$  apart, this attraction is  $GMM'/d^2$ ,  $G$  being a constant – the gravitation constant – the same for all masses. [...] two sphere of known mass and dimensions, as in all the various forms of Cavendish’s experiment. Knowing the gravitation constant  $G$ , we may at once find the mean density of the Earth  $\Delta$ . (Poynting 1891, p. 566)

On the contrary, experimenters of 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> centuries went on looking for a numerical value of this mean density  $\Delta$ , while only towards the end of the 19<sup>th</sup> century they considered the need to get a value for  $G$ .

## 2. Learned people’s scepticism

In the outskirts of mount Schehallien, Scotland, several researchers made experiences with the aid of a plumb line. In 1774 N. Masqueline produced a series of measurements regarding gravitational attraction (Masqueline 1775, pp. 500-542); thanks to them, C. Hutton calculated  $\Delta=4.5$ . (Hutton 1778, pp. 689-788) On a second time, in a ‘Letter to Laplace’, he claimed to be the author of inherent calculations and decided  $\Delta=5.04$ . (Hutton February 1820)

But Cavendish had been insuperable publishing in 1798 a relation of his experiments by means of a torsion balance built, on behalf of the Royal Society, after a model of John Michell. (Cavendish 1798, pp. 469-526)

At the end, Cavendish arrives at a conclusion: “the density of the earth comes out 5,48 times greater than that of water.” (Cavendish 1798, pp. 520-522) The problem arose with learned people reluctant to accept this data and unable to choose who-did-what:

By means of this experiment, Cavendish made the law of universal gravitation full. This law was no more a proportionality relation, as Newton enunciated it, but a precise law able to make possible a quantitative analysis. It was the most important contribution to gravitational study since Newton’s times. (Frautschi *et al.* 1992, p. 136)

Also the Rizzoli-Larousse encyclopaedic dictionary at the headword ‘Cavendish’ writes a similar opinion: “In 1798, by means of a torsion balance, named after him, he measured the universal gravity constant deducing from it the mean density of the Earth.” (Rizzoli-Larousse 1967, Vol. III)

On the contrary, Cavendish’s contemporaries, and for several decennials after his death in 1810, barely accorded him an appreciation on the subject.

### 3. In the first half of XVIII century something is moving

Almost all the planets mass were written according to a unitary Sun's mass. Newton opened this road (*Principia*, Book III, Proposition VIII, Theorem VIII); his data were improved (Laplace 1802, p. 61) and we find them once more in 1818 (Laplace 1818, p. 48), so that in the last edition, (Laplace 1824, p. 239), these values have an increased precision, but are always referred to the unitary Sun's mass.

John Herschel (Herschel 1833, p. 416) copied the same data, referred to different unit measurements.

Never Laplace was closed into his results and wrote (Laplace 1808, Tome II, Livre IV, Chap. VIII, p. 130) that the Earth is a sphere having 6369.374 km of radius, so that the volume is  $V=1081638 \text{ km}^3$ ; as well (Laplace 1808, p. 147) that Cavendish found for the Earth, 'à fort peu près',  $\Delta=11/2$  the water density in  $\text{kg}/\text{dm}^3$  and here he stopped, without drawing  $M=V\cdot\Delta=5.95\cdot 10^{21} \text{ kg}$ . Actually, with the modern Earth's data,  $V=1.083.320 \text{ km}^3$  and density  $5.515 \text{ kg}/\text{dm}^3$ , we get the mass  $5.976\cdot 10^{21} \text{ kg}$ . Everybody should have celebrated Laplace's work, giving the mass of every component of solar system through the Sun's mass. Not even the posthumous edition of 1841 contains such information, and Laplace repeats (p. 303) the same descriptions about Cavendish's work.

Previously, in an article we found (Laplace 1820, pp. 328-331): "Through a scrupulous examination of Cavendish's apparatus and all his tests made thanks to the precision and to the skill distinguishing this excellent physicist, I don't see any critics to do against his data which gives 5.48 for Earth's density [...]" Apart from Poisson of whom we'll talk about later, we haven't found a former appreciation of this data, also if he didn't decide to render the real value of masses.

That notwithstanding, Laplace's name woke up the physicists awareness (Airy 1834, p. 2): "The most remarkable experiments which prove that bodies attract each other are a set of experiments made at the end of last century by Mr. Cavendish." And after a short description about the equipment, he goes on: "But the results of this experiment are striking, principally because they are unusual; the ordinary force of gravity serves quite as well to prove the existence of some such power." But he doesn't mention Cavendish's data, and this is a residual distrust over this 'unusual' result.

Finally, in 1842, A. Cournot translated into French, with modifications and additions to his first edition of 1834, *A Treatise on mechanics*, of Kater & Lardner (Kater, Lardner 1831), members of the Royal Society of London.

It seems strange that in France, for "teaching elementary knowledge of mechanics in Normal Schools of first degree and other organizations for teaching", there was nothing better than a translation from an American book; however Cournot illustrates the experiment and concludes (Cournot 1842, p. 109): "Cavendish found the average density of the Earth about 5.5 times that of the water." Then he writes (Cournot, p. 112): "The Earth radius, or the distance of terrestrial surface from its centre is about 637 miriameters [...]" our 6370 km, an average value between polar and equatorial radiuses, but the Earth mass is not deduced. Here and in other parts, Cournot attended over the text in order to give it a greater precision.

It's interesting to return to the original test where Cavendish's experiment is summarized (Kater, Lardner, p. 69), but with no value of  $\Delta$ , because for them this was a question 'regarding the Physical Astronomy'. Incidentally, in 1851 also an Italian translation from Cournot was printed.

#### 4. The return to the torsion balance

On Table 1 the experiments realized by means of torsion balances, plus one in coal mines.

Authors	Publications	Density	Year
<b>1-Cavendish</b>	<i>Philosophical Transactions</i> , 1798, Part. II, p. 469-526	5.48	1798
<b>2-Reich F.</b>	<i>Philos.Magazine</i> , vol. XII, gen-giu 1838, p. 284 (Baily)	5.44	1837
<b>3- Baily F.</b>	<i>Philosophical Magazine</i> , Vol. XXI, 1842, p. 111	5.67	1842
<b>4-Reich F.</b>	<i>Philos. Magaz.</i> , Vol. V, 4 <sup>a</sup> Serie, Jan-Jun 1853, p. 157	5.58 $\mp$ 0.015	1853
<b>5-Airy G.B.</b>	<i>Pendulum Experiments, Philos.Transact., Part 1</i> , p. 46	6.56 $\mp$ 6 0.182	1856
<b>Actual data</b>		5.515	2000

**Table 1.** Experiments for Earth's average density determination (water =1)

We are obviously surprised by the fact that 40 years passed and no other experiments were done since 1798. And consequently we want to know why it happened and which consequences produced the return to the tests.

1. During a meeting of the Royal Astronomical Society [R.A.S.] in Nov. 10<sup>th</sup> 1837, vice president F. Baily, made a report of news arrived through European magazines over experiments conducted by Physics professor F. Reich in Saxony. (Baily 1838, p. 283-284) At first, the meeting of R.A.S. had been organized "on the repetition of the Cavendish Experiment, for determining the Mean Density of the Earth", so that "a Commettee was appointed more than two years ago to consider of its practicability"; finally the R.A.S. got a result "Her Majesty's government having been pleased to grant the sum of 500 *l.* towards defraying the requisite expenses." As a conclusion of this meeting, Baily writes that R.A.S. works shall go on.

But Reich had announced his success in a memoir on September 1837 during a meeting of German Scientific Association in Prague: its apparatus contained only one sphere, at first of lead, then of cast iron, 45 kg of weight. After two years of preparations, 57 tests at the torsion rod, developed in the months of June, July and August 1837, he gave an average density at first 5.44, then 5.43.



A year later, (Reich 1838) he printed a report in a booklet: '*Experiments on the average Earth density by means of a torsion balance*'.

2. Only four years later Baily reports to the R.A.S. about his experiments, 2004 in total, of 13<sup>th</sup> of May and 10<sup>th</sup> of June, 1842, (Baily 1842, pp. 111-121), thanks to which the mean density of the Earth was established  $\Delta=5.67$ . The columnist takes some precaution remembering that Cavendish intended to repeat his experiments, never executed, so that those of Baily were a kind of continuation.<sup>2</sup>
3. In 1853 the same Reich refers about three series of new tests by different torsion cables. (Reich 1853, pp. 153-159) At the beginning of his article Reich seems to mock: "I ought perhaps to apologize for returning to a subject which has been already submitted to so fundamental an examination, that it may seem superfluous to enter upon its further consideration." Starting from the persisting behaviour of learned physics the situation appears now the opposite.
4. The tests in English coal mines of G.B. Airy deserve a particular chapter: his project was to install two simple pendulums inside bases at difference in height of 360 m. But he abandoned the project after two failed tests:
  - a fire in the box containing the pendulum to lower down, 1826;
  - the flooding of the inferior station where the pendulum was yet installed, 1828.

Only looking at the difficulties faced by Baily in the repetition of Cavendish's tests, Airy decides in 1854 to return to his project and then to print his results. But he gets a density  $\Delta=6.656\pm 0.182$ , too far from the one he obtained in the past with the torsion tests and he is forced to look for a justification:

64. The value thus obtained is much larger than that obtained from the Schehallien experiment, and considerably larger than the mean one found by Baily from the torsion rod experiments. It is extremely difficult to assign with precision the causes or the measures of the errors of any of this determination; and I shall content myself with expressing my opinion, that the value now presented is entitled to compete as the others, or, at least, equal terms. (Airy 1856, p. 46)

Among scholars distrust towards Cavendish's data is evident.

Incidentally, in 1871 there is an announce made by father A. Secchi to produce verifications on the Alps by means of the tunnel of Frejus under construction, making use of two stations with a difference in height of 1600 m; but the developments of this projects are not known. (Radau 1880, p. 19, in a footnote)

---

<sup>2</sup> At p. 113 we read that, for his magnetism studies, Gauss introduced the little mirror in middle position of the torsion cable, then copied by Reich; it was not a Cavendish's device, as illustrated in several modern school books.

### 5. The problem's clarity in the second part of the eighteenth century

In 1858, the Earth's dimensions had no secret for superior schools students. (Delaunay 1855, p. 203)

For the moment the Planets' masses are still written in fraction of the unitary value of the Sun (p. 549) which are not much different from the Laplace one, but finally the progress enters in the history with the name of Cavendish, without any reference to the scandal of the delay:

§315. Mean density of Earth – The universal gravitation's theory gave the possibility to find the masses of Sun and planets in relation to one of them taken as unity (§298). Here from, it's sufficient the mass of one of this bodies, related to the masses we see around, so that a complete knowledge of all other masses be consequent. Obviously it is over the Earth that this determination must guide: instead of looking for a number representing its total mass, it's better to look for the determination of the mean density of this globe [...]; actually, it'll be enough the combination of the mean density of the Earth with his volume to arrive to its mass value. The mean density was determined by Cavendish. (Delaunay 1855, p. 585)

Here an illustration of the famous experiment is printed with exactly the same original drawings printed in *Philosophical Transactions*, 1798. The subsequent paragraph considers the mean density of the Sun  $\Delta=1.37$ , slightly (0.04) less of the actual value: “§316. On the planets density – The mean density of the Earth gives the possibility to find similarly the mean densities of Sun, Moon and planets.” Referring to a previous table of the Sun with unitary density [p. 549], Delaunay makes a second Table with densities which are not far from modern data, with the exceptions of Mercury and Mars. Inside the text we neither find a reference to the universal constant G, nor to the so-called Newton's equation, evident indication that, at the end, it was the  $\Delta$ , consequent to the experiments of Cavendish, to persuade about the so-called Newton's equation containing the constant G.

One year later, 1859, we have a similar example with tables (Secchi 1859, pp. 40, 42): the planets mass are still related to the Sun's one, with some amelioration compared to Laplace; there are diameters and density of everyone, in particular for the Earth 5.55 and for the Sun 1.42.

The breach is opened and another expert, after descriptions of experiments and a great praise of Cavendish's work, writes (Hoefer 1873, p. 515): “We know the radius and the mean density of terrestrial Globe, so that it's easy to learn the weight of the total mass of our planet. The Earth's mass is nothing else than 354936<sup>th</sup> part of the Sun one [the same Laplace's value after 50 years]; in other words it would be necessary a weight of 350000 times that one of the Earth in order to balance, on the scales pan, the Sun mass.” And here he stops his speech.

In the year 1881 this value was, in a good approximation, the modern one. Anyway, it's impossible not to think that Laplace was ready, at the beginning of 19<sup>th</sup> century, to make clear these data for the Sun and consequently for all planets.

## 6. At the end, $\Delta$ and $G$ together

In the meantime, the experiments due to the torsion balance went on and the results were expressed for both Earth mean density and gravity constant, Table 2.

Author	Publication	Dens. $\Delta$	G	year
Cornu&Baille	<i>Comptes Rendues</i> , Tome 66, 1873, p. 957	5.50	6.578	1873
Poynting J.H.	<i>Philosoph. Trans.</i> , vol. 182, 1891, pp. 565-566	5.4934	6.6984	1891
Boys C.V.	<i>Philosophical Trans.</i> , vol. 186, 1896, p. 2	5.527	6.657	1895
Current data		5.515	6.67	2000

**Table 2.** The last experiments to determine the mean Earth density  $\Delta$  and the universal constant  $G$  (in MKS  $\cdot 10^{-11}$ )

Finally some relations become of public domain (Fig. 1).

(\*) En effet, si l'on applique la loi de Newton à deux corps quelconques, de masses  $m, m'$ , on a  $F = fmm' / r^2$ ; si l'un d'eux n'est autre que la Terre, on a  $p' = fMp' / gr^2$  ou  $f = gR^2 / M$ .

**Fig. 1.** In this note (Cornu, Baille 1873, p. 954) has a detailed well known opinion<sup>3</sup>

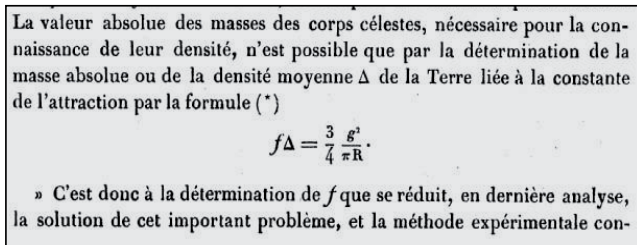
Substituting  $f$  where we normally write  $G$  as the gravitation constant, we return to what had been written by S.D. Poisson (1811, Tome II, p. 16, p.34) at the end of a long series of verbal arguments: “321. The motive power of mass  $M$  due to the attraction of the mass  $m$ , is represented by  $\frac{Mm}{R^2} f$ .” Here we read the so called Newton’s equation written for the first time. It is represented by the following parameters:

- $M$ , Earth mass, a product of the terrestrial density  $\Delta$  and of the volume  $V = \frac{4}{3}R^3$
- $m$ , an any mass on Earth surface so that it is far  $R$ , terrestrial radius, from its centre;
- By means of the 2<sup>nd</sup> law of Newton, as expressed by L. Euler, 1736, Poisson could obtain  $f$ ;
- $f \frac{Mm}{R^2} = mg$  ; from here, the unknown value  $f$  gets an actual (and numerical) value:  $f = \frac{R^2 g}{M}$ .

The choice of the product ‘ $M, n$ ’ reveals to be a ‘mathematical opportunity’. It’s the motive force cited by Poisson who stopped himself at this very point, also if he knew very well the ‘beautiful experiment’ of Cavendish, giving the bibliographic reference and a praise of the numeric result.

<sup>3</sup> Translation: Actually, if someone apply the Newton’s law to two whatsoever bodies, of  $m$  and  $m'$  masses, he gets  $F = fmm' / r^2$ ; if one of these masses is simply the Earth, he gets ...  $f = gR^2 / M$ .

Poisson doesn't write which kind of practical meaning was to give to  $f$ , unless he had the same opinion of a modern historiographer (Gonzales 2001, p. 531): 'a dimensional role'. The Earth's mass  $M = \Delta \frac{4}{3} R^3$  is given by known parameters, so that it is difficult to justify the phrase described by Cornu and Baille in Fig. 2: "The mass absolute value of celestial bodies, necessary to know their density, is not possible unless through the determination of the absolute mass or of the mean density  $\Delta$  of the Earth bound to the attraction constant by means of the formula."



**Fig. 2.** Citazione da Cornu, Baille (1873)

The phrase written under the formula could be taken as a knowledge display: "Therefore, it's in the determination of  $f$  that the solution of this important problem, at the end, is reduced [...]."

Cornu, Baille (1873, p. 957) summarize the data of their activity with the torsion pendulum in order to obtain  $f/g^2$  and consequently  $\Delta$ , while the historic development of science didn't happen in this manner.

## 7. Conclusion

There aren't doubts in the determination of the experimental data  $\Delta$  of Cavendish as supporter of  $G$ , after its introduction in an "appropriate" equation due to Poisson, 1811.

As to the so-called Newton's equation, from his words it is reasonable to write:  $F = \text{constant}/r^2$ . About this attractive force in relation to masses Newton gives several examples.

Proposition 6, Theorem 6 I. (Newton 1729, Vol. II, Book III, p. 220): "That all bodies [on the surface] gravitate towards [the centre of] every planet; and that the weights of bodies towards any the same planet, at equal distances from the centre of the planet, are proportional to the quantities of matter which they severally contain." And so on for other propositions.

Other interesting Proposition 75, Corollary 1 (Newton 1803, Vol. I, Book I, Section XII, p. 179): "The attractions of sphere towards other homogeneous spheres are as the attracting spheres applied to the squares of the distance of their centres from the centres of those which they attract." While the Corollary 2 ends: "and therefore since in all attractions (by law 3) the attracted and attracting point are both equally acted on, the

force will be doubled, by their mutual attraction, the proportions remaining.” “It will be doubled” is the literal translation of *geminabitur*; but with the meaning of the same mutual attraction repeated.

The reference to ‘law 3’ is simply the 3<sup>rd</sup> Law of Motion, exclusively Newtonian (Newton 1803, Vol. I, Book I, p.15): “To every action there is always opposed an equal reaction: or the mutual actions of two bodies upon each other are always equal and directed to contrary parts.” The force by which the Sun attracts the Earth produce an equal one by which the Earth attracts the Sun; so that the absolute value of this force, is the unique force in discussion when there are two bodies interactive by means of their masses.

He clearly rendered his own opinion in the 2<sup>nd</sup> edition, 1713, of *Principia*, in a *General Scholium*:

This is certain, that it must proceed from a cause that penetrates to the very centres of the Sun and Planets, without suffering the least diminution of its force; that operates [...] according to the quantity of the solid matter which they contain, and propagates its virtue on all sides, to immense distances, decreasing always in the duplicate proportion of the distances. (Newton (1729, Vol. II, Book III, p. 392)

Soon after in the same page of *Principia*, Newton ends, and we with him:

But hitherto I have not been able to discover the cause of those properties of gravity from phenomena and I frame no hypotheses [*hypotheses non fingo*]. [...] And to us it is enough, that gravity does really exist, and act according to the laws which we have explained, and abundantly serves to account for all the motions of the celestial bodies, and for our sea.

## References

- Airy G.B. (1834). *Gravitation: an explanation of principal perturbations in the solar system*. London: Knight.
- Airy G.B. (1856). “Account of Pendulum experiments undertaken in the Harton Colliery”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Part. I*, 146, pp. 297-355.
- Baily F. (1838). “On the Repetition of the Cavendish Experiment, for determining the mean density of the Earth”. *Philosophical Magazine*, XII, pp. 283-284.
- Baily F. (1842). “An account of some experiments with the torsion-rod for determining the mean density of the Earth”. *Philosophical Magazine*, XXI, pp. 11-121.
- Castaldi F. (2006). “Fra leggi fisiche ed equazioni matematiche”. *Astronomia*, 2, pp. 4-10. Proceedings of the XXXVIII Congress, of Unione Astrofili Italiani UAI, La Spezia, 2005.
- Cavendish H. (1798). “On the Method of computing the Density of the Earth”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 69, pp. 469-526.

- Cornu A., Baille J. (1873). "Détermination nouvelle de la constante de l'attraction et de la densité moyenne de la Terre". *Comptes Rendus*, LXXVI, pp. 954-958.
- Cournot A. (1842). *Eléments de mécanique*. Paris: Mathias.
- Delaunay C. (1855). *Cours élémentaire d'astronomie*, Paris: Langlois & Leclercq.
- Frautschi S.C., Olenick R.P., Apostol T.M., Goodstein D.L. (1988). *L'Universo meccanico*. Bologna: Zanichelli.
- Gonzales A.M. (2001). "Weighting the Earth: a Newtonian test and the Origin of an Anachronism". *Science and Education*, 10, pp. 515-543.
- Herschel J.F.W. (1833). *A treatise on Astronomy*. London: Longman.
- Hoefer F. (1873). *Histoire de l'Astronomie*. Paris: Hachette.
- Hutton C. (1778). "Calculations to ascertain the density of the Earth". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 68, pp. 689-788.
- Hutton C. (1820). "A letter of Dr. Hutton to the Marquis de Laplace on several astronomical and philosophical subjects". *Philosophical Magazine*, 55, pp. 81-85.
- Kater H., Lardner D. (1831). *A Treatise on mechanics*. Cambridge: Hilliard and Brown.
- Le Seur T., Jacquier F. (1760) (eds.). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica Auctore Isaaco Newtono*. Coloniae Allobrogum: Philibert.
- Laplace P.S. (1802). *Traité de Mécanique Celeste, Livre VI, Tome III*. Paris: Duprat.
- Laplace P.S. (1808). *Exposition du système du monde, 3<sup>rd</sup> edition*. Paris: Courcier.
- Laplace P.S. (1820). *Sur la densité moyenne de la terre in Connaissance des Temps ou des mouvements célestes pour l'an 1823*. Paris: Courcier, pp. 215-220.
- Laplace P.S. (1818). *Exposition du système du Monde, Tome II*. Paris: Imprimerie Royale.
- Maltese G. (1992). *La storia di "F=Ma"*. Firenze: Olschky.
- Maskelyne N. (1775). "An account of observations made on the mountain Schehallien for finding its attraction". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 65, pp. 500-542.
- Newton I. (1803). *The Mathematical Principles of Natural Philosophy, Translation of Motte A*. London: Symonds.
- Poisson S.D. (1811). *Traité de Mécanique, Tome II*. Paris: Courcier.
- Poynting J.H. (1891). "On determination of mean density of the Earth and the gravitation". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 182, pp. 565-656.
- Radau M.R. (1880). *La constitution intérieure de la Terre*. Paris: Gauthier-Villars.
- Reich F. (1838). *Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittels der Drehwage*. Freiberg: Engelhardt.
- Reich F. (1853). "New experiments on the mean density of the Earth". *Philosophical Magazine*, 5 (31), pp.153-159.
- Secchi A. (1859). *Quadro fisico del sistema solare*. Roma: Tipografia Belle Arti.

# Omaggio a Galileo

Pietro Cerreta - Associazione ScienzaViva, Centro della Scienza, Calitri (Av)  
pietro.cerreta@tin.it

*Abstract:* In omaggio alla figura di Galileo, dalla cui nascita sono trascorsi quattrocentocinquanta anni, l'Associazione ScienzaViva ha voluto attualizzare alcune apparecchiature del grande scienziato per proporle agli alunni delle Scuole e al pubblico comune. Con tecniche artigiane sono stati costruiti pendoli di lunghezze diverse per mostrare in varie situazioni i famosi fenomeni del pendolo. Ulteriori manufatti sono stati realizzati per provare empiricamente la validità del 'teorema delle corde' e per ripetere l'esperimento della 'tettoia', col quale si mostra che una pallina lanciata su un piano inclinato descrive una traiettoria parabolica. A questi oggetti sono state aggiunte due apparecchiature prodotte in precedenza: il 'Calcolatore Gravitazionale', che si basa sul salto di palline d'acciaio da un trampolino, e il 'Cannocchiale', realizzato con comuni lenti oftalmiche.

Si è ricorsi all'ormai diffuso *smartphone* per cronometrare gli intervalli di tempo e, per determinare le velocità delle palline, ai fotogrammi tratti dai video ottenuti con la stessa tecnologia. Particolare attenzione è stata dedicata ai fenomeni fisici del rotolamento delle palline e della risonanza tra pendoli attaccati alla stessa traversa.

Il lavoro compiuto viene descritto in sintesi, rinviando all'evidenza offerta dai filmati del sito <[www.scienzaviva.it](http://www.scienzaviva.it)> a cui si fa puntuale riferimento nel testo.

*Keywords:* Galileo, pendoli, tettoia, corde, calcolatore, cannocchiale

## 1. L'isocronismo e la legge del periodo del pendolo

Come omaggio a Galileo, nella ricorrenza dei quattrocentocinquanta anni dalla nascita, abbiamo voluto attualizzare alcune sue apparecchiature per proporle a mo' di spettacolo, cioè a fini divulgativi, agli alunni delle Scuole e al pubblico comune. Quasi tutte le fasi costruttive si sono svolte in una bottega artigiana.<sup>1</sup>

Su uno dei bracci di una grande T di legno sono agganciati due fili di nailon. Ognuno di essi ha il compito di reggere due palline, una di legno, l'altra di acciaio, entrambe del diametro di circa 4 cm. Palline di legno simili sono acquistabili online, cosa che abbiamo fatto anche noi, mentre quella di acciaio è stata recuperata nell'officina di un meccanico riparatore di macchine agricole, da un grosso cuscinetto

---

<sup>1</sup> La bottega è quella del falegname Vito Cerreta di Calitri (Av), il quale ha fornito ben volentieri le sue abilità professionali a me e al collega Canio Lelio Togliata ideatori del progetto.

usurato. I fili di nylon sono entrambi lunghi circa 90 cm. Messe in oscillazione con un unico gesto iniziale, le palline vanno di conserva per qualche secondo. In seguito, la pallina di acciaio mantiene quasi per intero l'ampiezza iniziale poiché l'energia perduta a causa dell'attrito con l'aria è trascurabile mentre la pallina di legno riduce la sua ampiezza notevolmente. Le loro frequenze tuttavia restano le stesse, confermando l'esperimento originario eseguito da Galileo e descritto nei *Discorsi* [Pendoli di sughero e di piombo]. Si prova così che due pendoli della stessa lunghezza sono isocroni, anche se le loro elongazioni massime appaiono differenti. Si prova altresì che la frequenza di un pendolo non dipende dalla massa che gli è stata attaccata, ma solo dalla lunghezza.

Sull'altro braccio della T sono agganciati, invece, due fili di nylon rispettivamente di 25 cm e di 100 cm, reggenti a loro volta due sferette di legno uguali. La scelta di tali misure è dipesa dal fatto che teoricamente il pendolo di 25 cm compie in un secondo un'oscillazione completa. Perciò, adoperando il cronometro di un comune *smartphone*, è facile verificare che dieci oscillazioni avvengono in dieci secondi. Ciò fatto, si esegue una ulteriore prova con il pendolo di 100 cm. Secondo i calcoli, questo oscilla completamente in due secondi e la cosa viene verificata con analogo procedimento [Radice quadrata ed isocronismo].

Per eseguire una terza prova abbiamo realizzato un pendolo lungo 225 cm. Questo numero equivale a  $9 \times 25$  cm e segue la serie dei precedenti e cioè  $4 \times 25$  (100 cm) e  $1 \times 25$  (25 cm), in cui i fattori di 25 sono rispettivamente i quadrati degli interi 3,2,1. Tuttavia, per il pendolo di lunghezza uguale a 225 cm, l'asta della struttura precedente non è risultata abbastanza alta (limitata com'è per motivi di trasporto, poiché queste apparecchiature devono essere portate nei luoghi in cui si svolgono gli spettacoli). Perciò è stata aggiunta ad essa una opportuna estensione, in modo tale che quest'ultimo pendolo potesse oscillare senza che l'estremità inferiore toccasse il pavimento. Si è constatato dunque con essa che il tempo occorrente per dieci oscillazioni è uguale a 30 secondi e quindi il periodo di ognuna delle oscillazioni di quest'ultimo è di 3 secondi, entro gli errori sperimentali, come si prevedeva. Il tutto ci consente di rivivere l'esperienza descritta da Galilei, nella quale i tempi di oscillazione dei pendoli risultarono proporzionali alle radici delle loro lunghezze come da lui viene riferito:

[...] volendo, v. g., che 'l tempo d'una vibrazione d'un pendolo sia doppio del tempo d'una vibrazione d'un altro, bisogna che la lunghezza della corda di quello sia quadrupla della lunghezza della corda di questo; ed allora, nel tempo d'una vibrazione di quello, un altro ne farà tre, quando la corda di quello sarà nove volte più lunga dell'altra: dal che ne séguita che le lunghezze delle corde hanno fra di loro la proporzione che hanno i quadrati de' numeri delle vibrazioni che si fanno nel medesimo tempo. [Legge dei quadrati]

Avendo imparato che i pendoli corti sono più vivaci di quelli lunghi, che sono più lenti, per far percepire visualmente questo dato di fatto si è pensato di realizzare il famoso esperimento dell'"onda di pendoli" che si vede spesso anche sul web. Costruito un telaio rettangolare e appoggiatolo su appositi sostegni, abbiamo attaccato alla traversa superiore dieci pendoli bifilari, costituiti sempre da fili di nylon e da palline di legno, di lunghezza progressivamente crescente [Onde di pendoli].

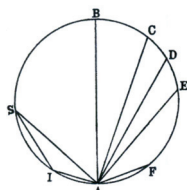


Usando un asse di legno per sollevare le palline tutte insieme, abbiamo messo in moto tutti e dieci i pendoli contemporaneamente. Ne è venuta fuori la cosiddetta ‘onda di pendoli’, col suo caratteristico modo di presentarsi che dà l’idea di un serpente [Valzer di pendoli]. Benché non propriamente galileiana, ci è sembrato opportuno inserire questa bella esperienza nel contesto dello spettacolo, poiché è strettamente legata alla lunghezza e al periodo dei pendoli di cui Galilei si è per primo occupato.

Altrettanto interessante è apparsa l’opportunità di sfruttare i due pendoli di acciaio e di legno, adoperati in precedenza per l’isocronismo, al fine di mostrare al pubblico il concetto di risonanza. Basta mettere in oscillazione il più pesante, per vedere cominciare a muoversi il più leggero e man mano aumentare la sua ampiezza, a causa dell’eccitazione trasmessa attraverso il sostegno. Identico fatto si verifica, benché più lento e con ampiezze minori, se spinta ad oscillare è la pallina di legno, mentre quella di acciaio è ferma. La stessa lunghezza, che ricordiamo per entrambi è di 90 cm, risulta essere la condizione essenziale. Infatti, mentre si osserva questo fenomeno, si nota pure che il pendolo attaccato alla stessa T, ma avente lunghezza di 100 cm, dondola appena, senza oscillare regolarmente. Va ricordata, infine, la realizzazione di un piccolo, ma efficiente ‘Pulsilogium’.<sup>2</sup>

## 2. Il ‘teorema delle corde’

Confidando sulle tante dotazioni strumentali del nostro falegname, abbiamo pensato di poterci cimentare nella costruzione di un’altra apparecchiatura per così dire ‘galileiana’, quella relativa al cosiddetto ‘Teorema delle corde’.



**Fig. 1.** Figura geometrica del Teorema delle corde

Nel 1602 Galileo scrivendo a Guidobaldo dal Monte enunciava così questo teorema:

Sia del cerchio BDA il diametro BA eretto all’orizzonte, e dal punto A sino alla circonferenza tirate linee *utcumque* AF, AE, AD, AC: dimostro, mobili uguali cadere in tempi uguali e per la perpendicolare BA e per piani inclinati secondo le linee CA, DA, EA, FA; sicché, partendosi nell’istesso momento dalli punti B, C, D, E, F, arriveranno in uno stesso momento al termine A, e sia la linea FA piccola quant’esser si voglia. (Bonera 1995, p. 187)

Si tratta dunque di far vedere che una pallina lasciata cadere in verticale, cioè lungo un diametro, impiega lo stesso tempo di quella che cadrebbe lungo una corda qualsiasi

<sup>2</sup> Un pendolo speciale usato da Galileo per misurare il battito cardiaco dei pazienti.

dello stesso cerchio, anche la più piccola. Piuttosto che aggiornare il modello di C.A. Guadagni del 1764 (Vergara Caffarelli 2009, p. 132), che obbligava le palline a scendere verso il basso lungo fili, ci siamo rifatti ad un *exhibit* del “Deutsches Museum” di Monaco di Baviera, che le faceva correre giù all’interno di tubi trasparenti, verosimilmente di vetro.



**Fig. 2.** Apparecchiatura per l’esperimento sulle corde

Al vetro, noi abbiamo preferito il plexiglas, perché questo è più facile da trattare. Acquistati su internet un paio di tubi di questo materiale del diametro esterno di 2,5 cm, ci siamo poi procurati alcune palline di acciaio con un diametro di 1 cm, smontando un vecchio cuscinetto a sfere.

Con l’aiuto dell’artigiano abbiamo poi realizzato un piano rettangolare di legno sul quale abbiamo disegnato una semicirconferenza. Dai tubi di plexiglas abbiamo ritagliato tre pezzi: due uguali tra di loro e pari al diametro della nostra semicirconferenza, e uno molto più piccolo. I tre tubi sono stati poi fissati sul piano di legno mediante dei supporti metallici, in maniera tale che uno occupasse proprio il diametro della semicirconferenza, l’altro – di identica lunghezza – fosse disposto a fianco in modo da formare un angolo acuto abbastanza ampio con il precedente e il terzo, ancora più in basso, fosse disposto proprio come una corda. Le palline avrebbero dovuto percorrere questi tubi, cadendo dall’alto. Forse qui è utile sottolineare che il secondo tubo non configurava una vera e propria corda ma ne era volutamente più lungo, al fine di poter eseguire su di esso varianti dell’esperimento fondamentale. Pensavamo che la migliore collocazione del dispositivo fosse quella verticale, proprio come enunciava idealmente Galileo, ma abbiamo dovuto ricrederci perché, se in tal guisa, le palline, sottoposte integralmente alla gravità, uscivano dai tubi così rapide da risultare di difficile controllo visuale. Abbiamo quindi deciso di inclinarlo. La componente della gravità nella direzione parallela ad un piano sufficientemente inclinato sarebbe stata molto più piccola e le palline avrebbero attraversato i tubi più lentamente. Proprio perché si trattava di sferette d’acciaio, per vincolarle ai punti scelti come partenze, siamo ricorsi a delle calamite. Le calamite venivano applicate all’esterno dei tubi e poi bastava staccarle per dare il via alle corse delle sferette verso il basso. Nella foto precedente si vede la configurazione finale assunta dalla nostra

apparecchiatura. Si nota inoltre che il giovane sperimentatore ha le mani entrambe sollevate. Egli ha appena staccato le due calamite e sta aspettando di constatare se le palline, uscendo dai tubi, si urtano oppure no.

Tuttavia la presenza o l'assenza dell'urto dipende da numerosi e delicati fattori sperimentali di cui è opportuno tener conto. Infatti bisogna pensare che le calamite possono venir staccate non tutt'insieme e che una pallina perciò parta prima dell'altra. Nel tubo, poi, le palline non slittano ma rotolano. (Vergara Caffaelli 2009, pp. 289-290) Cioè, parte dell'energia cinetica, acquistata sotto forma di rotazione, viene giocoforza sottratta a quella di traslazione. Insomma ci sono alcuni piccoli, ineliminabili, ritardi a causa dell'attrito e dell'inerzia rotazionale della pallina. E, infine, non è sempre facile verificare se quel che si osserva all'uscita è un urto o un semplice sfioramento. Per essere certi di quel che è realmente accaduto bisogna riprendere la scena con una videocamera e analizzarla al rallentatore.

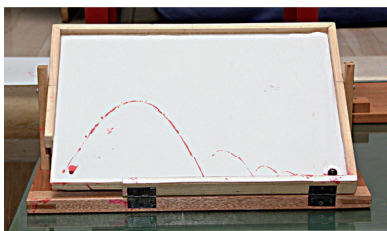
È possibile farlo mediante uno *smartphone* (si vedano ad esempio i nostri filmati: [Il teorema delle corde] e [Urti tra palline]). Notevole è l'opportunità di isolare un fotogramma della fase di uscita dai tubi e di paragonare le tracce dei percorsi delle due palline in esso distinguibili. Costatato in tal modo, l'urto risulta notevolmente frequente. Questo dato ci consente di concludere, durante il nostro spettacolo, che Galileo aveva ragione!

### 3. La 'tettoia' di Guidobaldo e Galileo

Nella ricostruzione immaginaria di un dialogo tra Galileo e un suo amico, riportata nel recente libro *Galileo. Scienziato e umanista* (Heilbron 2013, pp.158-159), l'autore fa dire allo scienziato che Guidobaldo dal Monte, suo maestro, ebbe il merito di avviarlo alla comprensione della traiettoria nel moto dei corpi durante una visita a casa sua, durante il primo viaggio da lui compiuto da Pisa a Padova. Essendo entrambi seduti nel giardino di detta casa e precisamente accanto ad una tettoia, a Guidobaldo venne l'idea di provare cosa sarebbe accaduto se avessero fatto rotolare una palla, in salita, lungo la superficie di quel piano inclinato. Insieme, poi, decisero di realizzare quell'esperimento su un piano inclinato più adatto, dopo aver prima tinto d'inchiostro la pallina. Lo eseguirono e constatarono che la traccia lasciata dall'inchiostro era una figura che appariva essere una parabola!<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> In realtà, di che tipo fosse la figura non fu subito chiaro. Si parlò di parabola, ma anche di iperbole e di catenaria. Si veda: [Parabola e catenaria].



**Fig. 3.** Il nostro modello di ‘tettoia’

Volendo attualizzare questo esperimento non abbiamo fatto altro che progettare una tavoletta inclinabile, sulla quale poter alloggiare un foglio A3. L’abbiamo corredata di una cornice, per inserirvi stabilmente il foglio, e dentro di essa sulla base, a sinistra, abbiamo lasciato aperto un varco, per farvi passare una pallina d’acciaio lanciata con la mano.

La tavoletta trova sostegno su un rettangolo di legno posto in orizzontale, incernierata ad uno dei suoi lati maggiori, ed è retta da due stecche laterali, orientabili sui lati minori. La tavoletta, insomma, ha la possibilità di piegarsi a qualsiasi angolo, ma di stare ben fissa su due posizioni predeterminate.

In un vasetto di alluminio, poi, viene versato il contenuto di una boccetta di inchiostro di china e, in questo, immersa la pallina destinata all’esperimento. Chi opera, indossando un guanto di gomma, non deve fare dunque altro che intingere la pallina nell’inchiostro, estrarla e infine lanciarla delicatamente, verso l’alto, sulla tavoletta già predisposta. Le tante figure che vengono così ottenute, dipendenti ciascuna dall’atto di moto iniziale, risultano essere tutte a forma di parabola. Colpisce il fatto che i rimbalzi successivi lasciavano le tracce di tante, sempre più piccole, che nell’insieme somigliavano all’immagine ottenuta mediante parabole la fotografia stroboscopica del PSSC sulle prime pagine dei tre suoi volumi (vedi la foto precedente). Tuttavia chi volesse vedere l’intero fenomeno può collegarsi a [Parabole con la tettoria]. Contenti di aver ottenuto questi interessanti risultati, abbiamo mandato a Heilbron alcune foto dell’apparecchiatura e dei grafici ottenuti, insieme alle foto delle altre attualizzazioni galileiane da noi costruite. Egli ci ha così risposto:

Many thanks for the pictures. I’m glad to know that the sloped-roof experiment can be made to work so well. I also liked your demonstration of the theorem that the time of fall along all chords to the bottom of a vertical circle is the same.  
(Comunicazione privata)

Heilbron dunque si complimenta con noi non solo per l’esperimento della ‘tettoia’, ma anche per il dispositivo creato per il ‘teorema delle corde’.

#### 4. Il Calcolatore Gravitazionale

L'“Exploratorium” di San Francisco ha costruito un bellissimo exhibit, il ‘Gravity-Powered Calculator’, col quale, lasciando cadere una pallina da una certa posizione lungo una pista inclinata, il punto in cui essa atterra corrisponde alla radice quadrata della distanza di partenza. Noi ne abbiamo fatto una versione in miniatura e l'abbiamo chiamata più brevemente Calcolatore Gravitazionale, rispettando in qualche modo il nome originale.

Per accogliere l'atterraggio delle palline provenienti dai vari punti della rampa, abbiamo usato una serie di cinque tazzine di plastica, di quelle che si usano per il caffè, riempite di ovatta per attutire l'urto. L'apparecchiatura è stata concepita in modo tale che se una pallina viene lasciata scendere, ad esempio, dal punto numerato con 16, essa proceda accelerando fino al trampolino e ne esca saltando nella quarta tazzina; se il suo punto di partenza è invece 9, il suo volo finale la condurrà nella terza, ecc.

Chiunque abbia una minima infarinatura di storia della fisica riconoscerebbe l'ascendenza galileiana di questo congegno, basato com'è sulla caduta dei gravi lungo un piano inclinato e sul successivo moto parabolico. Tuttavia questi soli elementi non basterebbero a renderlo un apparecchio galileiano vero e proprio. L'“Exploratorium”, da parte sua, non fa alcun cenno a Galilei e lo pubblicizza come aggeggio capace di estrarre la radice quadrata di numeri, usando esclusivamente la forza di gravità. Considerare il congegno solo per quello che fa e non per le sue radici storiche deriva da una certa idea del museo californiano per la quale i visitatori non debbono essere distolti dall'immediata fruizione percettiva delle apparecchiature esposte. Idea che non condividiamo in questo caso.

Al centro del dispositivo in questione, infatti, c'è un breve trampolino orizzontale dal quale saltano le palline dopo aver percorso la rampa inclinata. I balzi da quel trampolino hanno traiettorie paraboliche e si presentano del tutto simili ai disegni riportati da Galileo sul suo *folio 116 v*. Uno studio di S. Drake su tali disegni e sui calcoli eseguiti dallo scienziato pisano accanto ad essi, ha dimostrato che queste traiettorie sono state ottenute da Galilei mediante un “deflettore” tale da produrre gittate direttamente proporzionali alle radici quadrate delle posizioni di partenza.<sup>4</sup> Se Drake ha ragione, possiamo correttamente inferire che i costruttori dell'Exploratorium non hanno fatto altro che applicare, consapevolmente o non, proprio l'espedito adottato da Galileo. L'*exhibit* è, dunque, da intendersi a tutti gli effetti come apparecchiatura galileiana e sarebbe opportuno che i costruttori americani, riconoscendola come tale, tornassero sulla sua denominazione e la cambiassero. Noi suggeriremmo che si chiamasse, ad esempio, ‘calcolatore galileiano’.

Quando presentiamo il nostro Calcolatore Gravitazionale non abbiamo sempre la possibilità di discutere della differenza delle due denominazioni precedentemente presentate e ci comportiamo ai fini pratici come se il nostro modello attualizzasse proprio lo schema adoperato di Galileo nel 1608, che è stato oggetto degli studi di Drake a cui abbiamo accennato.

---

<sup>4</sup> Per la completa trattazione di questi argomenti si veda (Cerreta 2014, pp. 27-44) e (Cerreta 2014, pp. 45-60).

Anche in questo caso chi volesse può osservare il funzionamento del nostro dispositivo e come viene accolto dal pubblico collegandosi a: [Il calcolatore gravitazionale].

## 5. Il Cannocchiale

Abbiamo infine costruito un cannocchiale galileiano attingendo alle notizie fornite dal Museo *Galileo* di Firenze. [Costruirsi un cannocchiale galileiano]

Ci siamo procurati le due lenti oftalmiche ivi suggerite e cioè una da -5 diottrie (divergente; focale circa -20 cm) per l'oculare e l'altra da 0,75 diottrie (convergente; focale circa 133 cm) per l'obiettivo. Ma invece di seguire detto progetto passo passo, fissando queste lenti dentro un tubo di cartone, abbiamo realizzato una sorta di strumento alternativo, cioè un banco ottico di legno costituito da una stecca da reggersi sulla mano, su cui scorre un'altra stecca, mobile a piacimento con l'altra mano. All'estremità della stecca inferiore abbiamo fissato un ricettacolo rettangolare di legno per inserirvi la lente oculare, mentre all'estremità opposta, sulla stecca mobile, abbiamo fissato un identico ricettacolo per la lente obbiettiva. Mettere e togliere le lenti nei due contenitori costruiti *ad hoc* consente, a chi le usa, la possibilità di confrontarle e di capirne la profonda diversità. Se invece fossero state fissate all'interno del tubo nessuno avrebbe potuto confrontarle con la stessa facilità. Il nostro strumento, benché non sia un vero e proprio cannocchiale, può essere usato benissimo per osservare da vicino i particolari di un oggetto all'esterno dell'aula in cui si svolge la presentazione. Esso viene solitamente messo a disposizione del pubblico per delle prove. È un arnese capace di circa 7 ingrandimenti e la sua è, pertanto, una prestazione paragonabile a quella del prototipo galileiano usato nell'agosto del 1609. In seguito Galileo apportò a questo oggetto dei miglioramenti. Per spiegarli al pubblico ci siamo avvalsi di tre filmati trovati sul sito del predetto Museo Galileo. Per chi volesse poi verificare l'efficacia del nostro apparecchio suggeriamo di collegarsi al sito di [Costruirsi un cannocchiale galileiano].

## Bibliografia

- Bonera G. (1995). *Galileo Oggi*. Pavia: Università degli studi di Pavia.
- Heilbron J.L. (2013). *Galileo. Scienziato e umanista*. Torino: Einaudi.
- Cerreta P. (2014). "Il Gravity-Powered Calculator, un exhibit Galileiano". *Giornale di Fisica*, LV (1), pp. 27-44.
- Cerreta P. (2014). "La radice quadrata, un algoritmo nascosto nella gravità". *Giornale di Fisica*, LV (1), pp. 45-60.
- Vergara Caffarelli R. (2009). *Galileo Galilei and Motion. A reconstruction of 50 years of experiments and discoveries*. Bologna: Società Italiana di Fisica.

**Sitografia**

- [Costruirsi un cannocchiale galileiano]. URL: <[http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/risorse/costruire\\_cannocchiale.pdf](http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/risorse/costruire_cannocchiale.pdf)> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Il calcolatore gravitazionale]. URL: <<http://www.scienzaviva.it/video.php>> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Il teorema delle corde]. URL: <[http://www.scienzaviva.it/video\\_03.php](http://www.scienzaviva.it/video_03.php)> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Legge dei quadrati]. URL: <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94907p/f140.item>> [data di accesso: 02/05/2016], Giornata Prima, pp. 139-140.
- [Onde di pendoli]. URL: <[http://www.scienzaviva.it/video\\_04.php](http://www.scienzaviva.it/video_04.php)> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Parabola e catenaria]. URL: <<http://crf.uniroma2.it/wpcontent/uploads/2013/02/Lezione4.pdf>> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Parabole con la tettoia]. URL: <[http://www.scienzaviva.it/video\\_07.php](http://www.scienzaviva.it/video_07.php)> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Pendoli di sughero e di piombo]. URL: <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94907p/f129.item>> [data di accesso: 02/05/2016], Giornata Prima, pp. 128-129.
- [Radice quadrata ed isocronismo]. URL: <[http://www.scienzaviva.it/video\\_05.php](http://www.scienzaviva.it/video_05.php)> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Urti tra palline]. URL: <[http://www.scienzaviva.it/video\\_017-15.php](http://www.scienzaviva.it/video_017-15.php)> [data di accesso: 02/05/2016].
- [Valzer di pendoli]. URL: <[http://www.scienzaviva.it/video\\_018-15.php](http://www.scienzaviva.it/video_018-15.php)> [data di accesso: 02/05/2016].





# La temperatura di colore

## Ricerca fondamentale e pratica sociale

Luigi Cerruti - Ricercatore indipendente - lcerruti00@gmail.com

Elena Ghibaudi - Università di Torino - Dip. di Chimica - elena.ghibaudi@unito.it

Emilio Marco Pellegrino - Università di Torino - Dip. di Chimica -

emiliomarco.pellegrino@unito.it

*Abstract:* Colour has always fascinated scientists, artists and philosophers, but only in 1931 the Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) could propose a quantitative evaluation of colour, based on the concept of 'colour temperature' (CT). The historical path that led to the CIE method had started much earlier, with Newton, and pursued with Grassmann and Maxwell. The final thrust for a mathematization of colour came from the economic and social need for a standardized system of lighting. Fundamental research necessary for standardization came from an interesting mixing of research centers of the Anglo-Saxon world: in the United States by the National Bureau of Standards and the National Electric Lamp Association Laboratory; in the UK by the National Physical Laboratory and Imperial College, London. CIE's rules are still a fundamental reference in several industrial and research fields (electronics, dyes, food, cultural heritage). However, CT is not devoid of criticisms: it contradicts common use ('hot' colours exhibit lower CTs as compared to 'cold' colours); it is strictly conventional (a LED with CT~2700 K has an active area at 350 K).

*Keywords:* Color temperature, color space, Maxwell's triangle, metrology

### Introduzione

Il colore è un tema affascinante, che come campo di ricerca ha visto il contributo di scienziati provenienti dalle più diverse discipline. Nel secolo scorso è diventata sempre più importante una grandezza denominata 'temperatura di colore'. La 'temperatura di colore' è un parametro importante nella valutazione dei sistemi di illuminazione, in fotografia e cinematografia, nell'industria tipografica e in quella elettronica. Questo contributo è dedicato alla storia e al significato della 'temperatura di colore', e assume come *terminus ad quem* la riunione della *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), tenuta a Cambridge nel 1931. È la storia di un processo di matematizzazione assai delicato, perché lo studio sperimentale del 'colore' riguarda contestualmente la fisica delle radiazioni luminose e la fisiologia della percezione delle radiazioni stesse. Utilizzando i termini a noi più familiari ricordiamo che per rappresentare i colori in forma

numerica si utilizza un ‘modello di colore’, e cioè un modello matematico che nei casi che tratteremo assegna valori numerici a tre componenti cromatiche. Per utilizzare il modello di colore occorre specificare delle regole di utilizzo, che realizzano una mappatura del modello: uno ‘spazio di colore’ è costituito dal modello di colore e dalla funzione di mappatura.

### 1. Verso la matematizzazione del colore

La matematizzazione del colore che ha portato alla definizione dello spazio di colore della CIE ha visto proporre decine di spazi di colore diversi (Gerritsen 1984), e in effetti questo processo ha avuto molti protagonisti di un certo rilievo. (Kuehni 2003) Noi abbiamo ristretto la nostra attenzione a Newton, Grassmann e Maxwell, guidati dalla ristrettezza dei tempi e dalla assoluta importanza dei loro contributi.

Nell’ambito delle ricerche sul colore i primi risultati di natura fisica veramente importanti furono ottenuti da Newton, che li pubblicò nel 1671 sulle *Philosophical Transactions* della Royal Society. Nel saggio leggiamo:

As the Rays of light differ in degrees of Refrangibility, so they also differ in their disposition to exhibit this or that particular colour. Colours are not *Qualification of Light*, derived from Refractions, or Reflections of natural Bodies (as ‘tis generally believed,) but *Original and connotate properties*, which in divers Rays are divers. Some Rays are disposed to exhibit a red colour and no other; some a yellow and no other, some a green and no other, and so of the rest. (Newton 1671, p. 3081)

Qui Newton affermava che i colori osservati nei fenomeni di rifrazione non erano dovuti ad una particolare azione del mezzo rifrangente sulla luce, ma erano una proprietà intrinseca dei diversi raggi di cui era composta la luce stessa. Guidato da una particolarissima teoria ‘gravitazionale’ e ‘musicale’. (Stabell *et al.* 2009, pp. 12-13) Newton giunse alla conclusione di restringere a sette il numero di colori primari: “possibly colour may be distinguished into its principal degrees: red, orange, yellow, green, blue, indigo, and deep violet, – on the same ground that sound within an eighth is graduated into tones”. (Birch 1757, p. 262) A ciascuno di questi colori il grande fisico assegnò sul disco, che prese il suo nome, un settore di ampiezza angolare proporzionale alla lunghezza d’onda (relativa) della nota musicale corrispondente. La stessa analogia con le note musicali indica che Newton aveva una concezione discreta dei colori fondamentali, così che nello spettro non vi erano colori intermedi.

Un decisivo passo in avanti nella matematizzazione del colore fu fatto nel 1853 da Hermann Grassmann, matematico e *savant* tedesco. Nell’articolo del 1853 lo studioso tedesco riprese la teoria di Newton (e il suo disco), e precedenti esperienze di Helmholtz, ponendo su solide basi matematiche la teoria del mescolamento dei colori. Grassmann si era interessato della teoria del colore per dimostrare con un esempio importante l’applicabilità della sua *Lineale Ausdehnungslehre* (Teoria dell’estensione lineare, 1844), opera che rimase a lungo misconosciuta e che ora è assunta come prima fondazione dell’algebra lineare. Innanzi tutto Grassmann afferma che tre variabili sono

sufficienti per descrivere la fenomenologia della sensazione del colore a livello fisiologico: luminosità (*Farbintensität*), tonalità (*Farbenton*) e saturazione.

Quest'ultima variabile era definita come "intensità del bianco mescolato" (*Intensität des beigemischten Weiß*). È questa la prima delle quattro leggi enunciate dallo studioso tedesco, e – per usare un nostro termine – in essa viene definito uno spazio di colore tridimensionale. Di particolare rilievo è la terza legge che riportiamo nel testo originale:

zwei Farben, deren jede constanten Farbenton, constante Farbenintensität und constante Intensität des beigemischten Weiss hat, auch constante Farbenmischung geben, gleich viel aus welchen homogenen Farben jene zusammengesetzt seien. (Grassmann 1853, p. 78)<sup>1</sup>

Per Grassmann questa legge è il 'principio fondamentale della mescolanza dei colori', e certamente essa ha un grande significato epistemologico perché riguarda fisiologia e fisica: la percezione di un colore è indipendente dalla composizione spettrale della luce percepita. Ad esempio: il colore M può essere percepito come tale sia quando è una mescolanza dei colori A e B, sia quando è una mescolanza dei colori C e D.<sup>2</sup>

L'articolo di Grassman, tradotto in inglese, fu pubblicato nel 1854 sul *Philosophical Magazine*, e l'anno seguente fu citato da James Clark Maxwell nel suo primo contributo importante sulla visione dei colori. (Maxwell 1855) Maxwell si era posto esplicitamente sulla traccia delle ricerche di Newton, e aveva determinato sperimentalmente che, in opportune quantità, tre colori di riferimento erano sufficienti per riprodurre la sensazione di un colore qualsiasi. I colori scelti furono il rosso vermiglio, il verde smeraldo e il blu oltremare, e lo spazio di colore così definito fu completato con un modello matematico che permetteva la mappatura di tutti i colori. È il 'triangolo di Maxwell':

Vermilion, ultramarine, and emerald green, being taken (for convenience) as standard colours, are conceived to be represented by three points, taken (for convenience) at the angles of an equilateral triangle. Any colour compounded of these three is to be represented by a point found by conceiving masses proportional to the several components of the colour placed at their respective angular points, and taking the centre of gravity of the three masses. (Maxwell 1855, pp. 279-280)

Si può notare che in questo passo Maxwell sottolinea due volte l'arbitrarietà delle sue scelte. D'altra parte questo contributo del grande fisico scozzese ha un altro punto di rilievo, e cioè la proposta esplicita di una procedura condivisa per la valutazione quantitativa di un colore. A questo scopo Maxwell dà i dettagli della costruzione dell'apparato sperimentale, indica dove potrebbe essere acquistato e sottolinea che i colori utilizzati sono "unmixed pigments used in the arts". (Maxwell 1855, p. 275)

<sup>1</sup> Il corsivo è nel testo di Grassmann. Tr. it.: "due colori, ciascuno di costante tonalità, costante luminosità e costante intensità del bianco mescolato, danno anche un mescolamento di colore costante, indipendentemente da quali colori omogenei sia costituito ciascuno".

<sup>2</sup> Per una discussione completa delle leggi di Grassmann si veda Boscarol (2006).

Nel 1860 Maxwell fece avanzare lo studio del mescolamento dei colori e della loro percezione ad un livello che rimarrà insuperato per molto tempo. Lo spazio di colore è così definito: “there are three colours in the spectrum, red, green, and blue, by the mixtures of which colours chromatically identical with the other colours of the spectrum may be produced” (Maxwell 1860, p. 77), e il modello matematico che completa lo spazio di colore è ancora il ‘triangolo’ del 1855. Con un apparato sperimentale di sua concezione Maxwell determina la sensibilità di un osservatore normale alle diverse frequenze dello spettro luminoso e l’apporto quantitativo dei tre colori fondamentali alla sensibilità totale ad ogni frequenza:

I have strong reason to believe that these are the three primary colours corresponding to *three modes of sensation in the organ of vision*, on which the whole system of colour, as seen by the normal eye, depends (Maxwell 1860, p.74); (corsivo aggiunto). (Maxwell 1860)

Qui viene data una inequivocabile base sperimentale alla presenza nella retina di tre diversi ricettori fisiologici della radiazione luminosa, presenza congetturata da Thomas Young nel 1802 e ripresa da Hermann Helmholtz nel 1850 (entrambi citati da Maxwell).

Per quanto riguarda gli aspetti strettamente fisiologici e anatomici possiamo semplicemente ricordare che nel 1892 Arthur König e Conrad Dieterici confermarono sperimentalmente la teoria dei tre recettori, e che nel 1905 Johannes von Kries determinò che la visione è mediata da cellule a bastoncino a bassi livelli di illuminazione e da tre tipi di cellule a cono ad alti livelli di illuminazione.

## **2. L’effetto decisivo del contesto sociale**

La proposta di Maxwell di un metodo standard per specificare i singoli colori cadde nel vuoto. Fu solo all’inizio del secolo scorso che gli sviluppi tecnologici nei sistemi di illuminazione riproposero la questione in termini sociali ed economici. Nel 1900 il nuovo secolo fu celebrato a Parigi con una grandiosa Esposizione universale, un’occasione per innumerevoli congressi scientifici e tecnici. Il Congresso internazionale dell’industria del gas si riunì nel settembre 1900, ed ebbe più di 400 partecipanti. Di fronte a questa platea Théodore Vautier, presidente della “Société technique de l’industrie du gaz en France”, nel discorso d’apertura auspicò un accordo internazionale sui metodi di misura della luce fornita dalle lampade a gas con reticella incandescente. L’auspicio si trasformò in una risoluzione che recitava: “Une commission internationale sera nommée à l’effet de fixer les règles à suivre dans les observations photométriques des becs à incandescence par les gaz”. (Société technique de l’industrie du gaz 1900, p. 88) Nacque così una “Commission Internationale de Photométrie” (CIP) che si riunì a Zurigo nel 1903, nel 1907 e ancora nel 1911. La spinta decisiva per una riforma della CIP venne dal Congresso internazionale di applicazioni elettriche, che si tenne a Torino nel settembre del 1911. Su proposta di un rappresentante della “Illuminating Engineering Society” di Londra venne approvata questa risoluzione: “Il congresso crede che sia desiderabile che sia nominata una Commissione

internazionale per lo studio di tutti i sistemi di illuminazione e di tutti i problemi tecnici che interessano la illuminazione.” (Congresso internazionale delle applicazioni elettriche 1912, p. 120) Per ufficializzare la nuova commissione si dovette comunque aspettare la riunione della CIP che si tenne a Berlino nel 1913, data ufficiale della nascita della CIE.

### 3. La ricerca metrologica

I contributi della ricerca metrologica che portarono alla risoluzione del 1931 hanno due connotazioni rilevanti. La prima connotazione è che tutto avvenne nel mondo anglosassone, con una specie di staffetta dagli Stati Uniti all’Inghilterra. Il secondo aspetto è a sua volta tipico del mondo anglosassone, e cioè la partecipazione nella ricerca fondamentale di centri privati, istituzioni pubbliche e Università.

La proposta della ‘temperatura di colore’ come nuovo parametro fisico fu fatta da Edward Hyde, direttore del Laboratorio della “National Electric Lamp Association” sito a East Cleveland, Ohio. Il Laboratorio era nato nel 1901, lo stesso anno di nascita del “National Bureau of Standards” (NBS), ed era una filiazione della “General Electric”. Hyde aveva una visione multidisciplinare della ricerca sull’illuminazione, perché mentre sviluppava l’indagine indagini con metodi fisici riteneva essenziale aver sempre presenti gli aspetti fisiologici della percezione della luce. La temperatura di colore è definita con le prime parole di una nota apparsa nel marzo del 1916 sul *Journal of the Franklin Institute*:

By ‘color temperature’ of a solid body radiating by virtue of its temperature is meant that temperature of a black body at which its radiation matches in color that of the solid body in question, provided the radiation from the latter is such that a color match may be obtained. (Hyde *et al.* 1916, p. 418)

Nel caso in cui non fosse stato possibile stabilire questa corrispondenza diretta, la temperatura di colore sarebbe stata quella di un corpo nero che emettesse la stessa intensità relativa per due lunghezze d’onda scelte in riferimento al corpo in esame. Ovviamente la definizione della temperatura di colore non nasceva dal nulla. Una presentazione più ampia della ‘black body color temperature’ viene fatta da Hyde sulla *Physical Review* nell’ottobre 1917. Le ricerche di Hyde in questo campo erano iniziate nel 1909 con uno studio comparativo della radiazione emessa da tungsteno, tantalio e osmio e da un ‘corpo nero’ costituito da ‘untreated carbon’. Nel corso di queste indagini era stato messo a punto un metodo di confronto di cui Hyde rivendica l’originalità, e che poteva essere portato nella pratica di laboratorio in modo preciso: “the result accomplished consists in the establishment of a condition of equal relative emission intensities in some two wave-lengths near the ends of the visible spectrum – say at 0.5  $\mu$  and 0.7  $\mu$ ”. (Hyde *et al.* 1917, p. 396)

Un contributo fondamentale nella ricerca sul rapporto fra visione e radiazione luminosa venne dall’NBS ad opera di William Coblentz e Walter Emerson. I due fisici pubblicarono nel 1918 un paio di lavori dedicati alla determinazione del cosiddetto

‘equivalente meccanico della luce’. Nel primo articolo presentarono i dati sperimentali raccolti con 125 osservatori (Coblentz, Emerson 1918a), nel secondo articolo discussero questa particolare grandezza che è una misura dell’efficienza della radiazione di una data lunghezza d’onda nel produrre una sensazione visiva. Trattandosi di un rapporto valido per ogni lunghezza d’onda occorre fare una scelta convenzionale, che venne fatta in riferimento alla lunghezza d’onda a cui la sensibilità della visione era massima; quindi dove l’equivalente meccanico era minimo. (Coblentz, Emerson 1918b, p. 260)

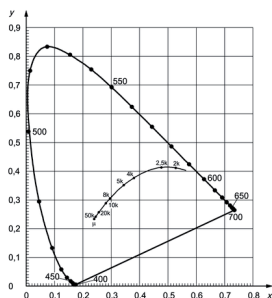
In Inghilterra i principali risultati che confluirono nello standard della CIE provennero da John Guild del “National Physical Laboratory” di Teddington e da W. David Wright dell’“Imperial College” di Londra. I lavori di Guild riguardarono tanto i problemi teorici quanto quelli sperimentali. Guild si interessò in particolare della matematica necessaria per trattare i dati riguardanti le miscele tricromatiche, e in due contributi del 1925 propose metodi algebrici ed un metodo geometrico. Sul piano sperimentale Guild aveva costruito un colorimetro tricromatico nel 1922, e nel 1926 ne aveva pubblicato i dettagli corredati da numerose fotografie. In quello stesso intorno di tempo Wright aveva eseguito una ri-determinazione completa dei coefficienti tricromatici dei colori spettrali (Wright 1928), facendo un lavoro parallelo a quello di Guild, che solo nel febbraio del 1931 rese pubblici i suoi risultati sulle *Colorimetric Properties of the Spectrum*. (Guild 1932) In effetti Guild aveva già realizzato da tempo le misure con sette osservatori diversi, aveva discusso i propri dati con Wright, e i due ricercatori avevano ritenuto i loro risultati perfettamente compatibili. Così Guild pubblicò in appendice la media dei risultati ottenuti a Teddington e a Londra. (Guild 1932, pp. 185-187)

#### **4. Il punto di arrivo: la ‘Commission Internationale de l’Éclairage’, 1931**

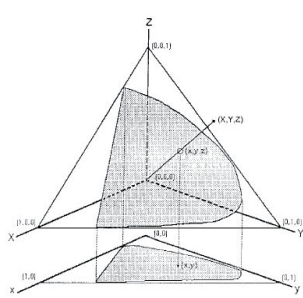
Come si è accennato nell’introduzione la riunione della CIE in cui fu adottato lo standard basato sulla temperatura di colore si tenne al Trinity College di Cambridge, dal 14 al 19 settembre 1931, con la partecipazione di 149 delegati di 14 Paesi. La delegazione italiana era guidata dall’ingegnere Carlo Clerici, che allora dirigeva la Osram Edison Clerici e rappresentava l’‘Associazione Nazionale per lo Sviluppo dell’Illuminazione’. L’incontro di Cambridge era stato preceduto da congressi e convegni tenuti in varie parti del Regno Unito, ma i contrasti tra alcuni dei delegati più importanti non si erano appianati. In particolare Irwin Priest, capo della delegazione statunitense, non riteneva che i dati di Guild e Wright fossero i più adatti ad essere adottati come standard, e questo in contrasto con i rappresentanti di importanti industrie americane come la Bell Telephone e la Corning Glass. Si racconta che T. Smith, che presiedeva il comitato ristretto che avrebbe dovuto approvare lo standard, e Guild lavorarono tutta una notte per rielaborare i dati dello stesso Guild e di Wright al fine di controbattere le obiezioni di Priest. (Boynton 1996) La Risoluzione 1 che ufficializzava lo standard iniziava con questo testo:

Il est recommandé, pour obtenir une base normalisée pour la spécification des quantités colorimétriques, en vue d'applications techniques et commerciales, que ces quantités soient exprimées par rapport à un observateur hypothétique, à désigner comme "Observateur de référence 1931 de la C.I.E." (*Commission Internationale de l'Éclairage* 1932, p. 19)

L' 'observateur hypothétique' era costituito dalla tabella dei dati di Guild Wright, modificata nottetempo. La risoluzione fu approvata con il voto contrario della Francia e della Germania. Lo spazio di colore proposto dalla Commissione CIE con la sigla XYZ rappresenta tutte le sensazioni di colore che un 'osservatore medio' può percepire; il



**Fig. 1a.** Diagramma di cromaticità



**Fig. 1b.** Mappatura dello spazio di colore CIE 1931

modello di colore è tristimolo e utilizza i dati sperimentali di Wright e Guild.

La Fig. 1a riporta il diagramma di cromaticità CIE 1931 come è presentato nello standard ISO 9241-302:2008. Il diagramma si ottiene con una mappatura dello spazio di colore XYZ descritta in Fig. 1b. (Fairman *et al.* 1996, p. 13) Si esegue una proiezione centrale di ciascun punto  $(X, Y, Z)$  sul triangolo di Maxwell definito da  $X + Y + Z = 1$ ; dato questo vincolo le coordinate variabili possono essere ridotte a due, e si esegue una proiezione parallela all'asse  $Z$ , ottenendo il diagramma di Fig. 1a, espresso in coordinate  $(x, y)$ .

## 5. Conclusioni

Dovettero trascorrere 60 anni tra la proposta di Maxwell di uno standard per la definizione fisico-matematica dei colori e la definizione della temperatura di colore da parte di Hyde. L'esigenza di una standardizzazione fatta propria dalla CIE nasceva da un contesto sociale ed economico completamente diverso da quello in cui operava Maxwell, un contesto in cui non esistevano colossi industriali come la "General Electric". Come in ogni processo di standardizzazione anche nel caso della temperatura di colore emerge il carattere pragmatico e convenzionale delle proposte, che pure giungono dalla ricerca fondamentale. Il carattere convenzionale della temperatura di colore diventa evidentissimo quando abbiamo a che fare con sorgenti di luce bianca non incandescenti. Un 'LED' (light-emitting diode) con temperatura di colore di 2700 K ha una temperatura effettiva dell'area attiva intorno ai 350 K (~80 °C). Infine si può notare anche qualche

contraddizione rispetto a certe proprietà che la nostra cultura attribuisce ai colori. Se i colori sono valutati all'interno della teoria del corpo nero il blu è ad alta temperatura e il rosso a bassa temperatura: i tratti culturali dei due colori sono opposti: il blu è 'freddo' e il rosso è 'caldo'.

## Bibliografia

- Birch T. (1757). *The History of the Royal Society*. London: Millar in the Strand, Vol. 3.
- Boscarol M. (2006). *Hermann Gunther Grassmann e la formalizzazione della colorimetria*, in Rizzi A. (a cura di), *Colore e colorimetria: contributi multidisciplinari*. Firenze: SIOF, Vol. II.
- Boynton R. M. (1996). "History and current status of a physiologically based system of photometry and Colorimetry". *Journal of the Optical Society of America*, 13, pp. 1609-1621.
- Coblentz W.W., Emerson W.B. (1918 a). "Relative sensibility of the average eye to light of different colors and some practical applications to radiation problems". *Bulletin of the Bureau of Standards*, 14, pp. 167-234.
- Coblentz W.W., Emerson W.B. (1918 b). "Luminous Radiation from a Black Body and the Mechanical Equivalent of Light". *Bulletin of the Bureau of Standards*, 14, pp. 255-266.
- Commission Internationale de l'Éclairage (1932). *Recueil des travaux et compte rendu des séances*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Congresso internazionale delle applicazioni elettriche (1912). *Atti*, Vol. I., Torino: Bona.
- Fairman H.S., Brill M.H., Hemmendinger H. (1997). "How the CIE 1931 Color-Matching Functions Were Derived from Wright-Guild Data". *COLOR research and application*, 22 (1), pp. 11-23.
- Grassmann H. (1853). "Zur Theorie der Farbenmischung". *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, 89, pp. 69-84.
- Guild J. (1926) "A trichromatic colorimeter suitable for standardisation work". *Transactions of the Optical Society*, 27 (2), pp. 106-128.
- Hyde E.P., Cady F.E., Forsythe W. E. (1916). "Color Temperature Scales for Tungsten and Carbon". *Journal of the Franklin Institute*, 181, pp. 418-420.
- Hyde E.P., Cady F. E., Forsythe W. E. (1917). "Color Temperature Scales for Tungsten and Carbon". *Physical Review*, 10, pp. 395-411.
- Maxwell J.C. (1855). "Experiments on colour, as perceived by the eye, with remarks on colour-blindness". *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 21 (II), pp. 275-298.
- Maxwell J.C. (1860). "On the Theory of Compound Colours, and the Relations of the Colours of the Spectrum". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 150, pp. 57-84.
- Newton I (1671). "A Letter of Mr. Isaac Newton... containing his New Theory about Light and Colors". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 80, pp. 3075-3087.



- Société technique de l'industrie du gaz en France (1900). *Congrès international de l'industrie du gaz*, Paris: S.A.P.P.
- Stabell B., Stabell U. (2009). *Duplicity Theory of Vision*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wright W.D. (1928). "A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours". *Transactions of the Optical Society*, 30 (4), pp. 141-164.



## **La responsabilità dello scienziato. Il contributo di Joseph Rotblat**

Vincenzo Cioci - Research Centre for the Theory and History of Science, University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic - Research Group on Physics Education and History of Physics, University of Calabria, Italy, vincenzocioci@gmail.com

*Abstract:* Joseph Rotblat (1908-2005), Polish physicist, of Jewish descent, during the Second World War, began to work on the atomic bomb project first in England and then in the USA, in Los Alamos.

The main motivation that had driven most of the atomic physicists to become personally engaged in the construction of the most powerful bomb of all time was the fear that the Nazis might come first to its realization. But Rotblat was the only scientist to leave the “Manhattan Project” on grounds of morality, just knew, in 1944, that the Germans had given up the construction of the bomb. Rotblat was allowed to return to Poland on condition that he did not mention with any of his colleagues the real reasons that pushed him to leave Los Alamos.

In the era of big science, Rotblat is the icon of the modern scientist that by participating in major international research projects does not seem to affect significantly the methods, purposes, conditions of their implementation, especially with regard to the relationship between science, ethics and society. His testimony, however, shows the value of individual responsibility. Although he was not able in any way to change the policy of the “Manhattan Project”, Rotblat went on to become a reference point for humanity in nuclear emergency management. He was, in fact, one of the most representative scientists who, in 1955, signed the Russell-Einstein manifesto. He was later, since their foundation until 1973, secretary general of the “Pugwash Conferences on Science and World Affairs” which played a key role in relating the scientists of the two opposing blocs. For their efforts in favour of nuclear disarmament, Rotblat and the Pugwash Conferences were awarded the “Nobel Prize for Peace” in 1995.

A few years after his death in 2005 in London, it is of particular importance what he suggested about the difficult question of the relationship between science and ethics.

*Keywords:* Rotblat, atomic bomb, Wells, Manhattan Project, Pugwash Conferences, ethical codes of conduct, training of the scientist, Russell-Einstein Manifesto

## 1. Cenni biografici di Rotblat

Joseph Rotblat nacque a Varsavia il 4 novembre 1908 da genitori di origini ebraiche ma acquisirà la cittadinanza britannica nel 1946. Seguì una scuola tecnica portata avanti dalla comunità ebraica e si diplomò come elettricista nel 1923. Sin da ragazzo dovette mantenersi agli studi da solo. Collaborando per l'inventario della biblioteca del suo Istituto ebbe modo di leggere diversi testi scientifici e di fantascienza (inclusi i testi di H.G. Wells e J. Verne) che gli permisero di rendersi consapevole delle grandi potenzialità della fisica. In particolare Rotblat considerò Wells come ispiratore dei suoi sforzi per un uso pacifico della scienza alla stessa stregua di Einstein e Russell. (Busch 2009, p. 188)

Si laureò in fisica nel 1932 presso la "Libera Università della Polonia" sotto Ludwik Wertenstein, che era stato allievo di Madame Curie. Fra il 1934 e il 1939 si dedicò allo studio della radioattività indotta da neutroni, identificando diversi isotopi radioattivi tra i quali il Cobalto 60, più tardi importante in applicazioni mediche e industriali, e pubblicando circa 15 articoli

Nel 1939 si trasferì in Inghilterra per conseguire il *PhD* e poi lavorare all'Università di Liverpool sotto James Chadwick che stava costruendo a Londra un ciclotrone, un acceleratore di particelle in cui un'alta tensione alternata è adoperata in associazione con un campo magnetico per accelerare particelle cariche lungo traiettorie circolari di raggio via via crescente. Rotblat aveva l'intenzione di costruirne un esemplare anche a Varsavia.

Rotblat lasciò per l'ultima volta la Polonia la sera prima dell'invasione tedesca, il 31 agosto del 1939. La moglie che sarebbe dovuta partire qualche giorno più tardi, non avrebbe potuto mai più raggiungerlo.

## 2. Rotblat e la bomba

L'invasione della sua terra da parte dei Tedeschi, con la loro schiacciante superiorità militare, fu un avvenimento che lo impressionò profondamente e lo convinse a lavorare alla realizzazione della bomba atomica con la consapevolezza "che possedere delle armi atomiche e, se necessario, minacciare una ritorsione, fosse l'unica opzione per impedire a Hitler di usare la bomba." (Rotblat *et al.* 2006, p. 63)

Nel giugno del 1939 Rotblat aveva letto un articolo del fisico tedesco Siegfried Flügge su *Naturwissenschaften* sui possibili usi dell'energia atomica a scopi pacifici che terminava avanzando la possibilità che essa potesse essere utilizzata come arma. Questo significava che potesse esserci in Germania qualcuno che effettivamente stava lavorando alla bomba. (Rotblat 1986; Flügge 1939)

Con il sostegno di Chadwick, già dalla fine del 1939, Rotblat cominciò un programma di ricerca volto alla realizzazione della bomba. Rotblat era ben consapevole che i neutroni lenti erano gli agenti più efficaci a causare la fissione dell'uranio e che neutroni veloci, più energetici, come quelli emessi in una reazione di fissione, sono molto meno efficienti. Ciononostante avanzò l'idea che per produrre una violenta

esplosione associata al processo di fissione, il rilascio di energia avrebbe dovuto essere molto rapido e quindi propagato grazie ai neutroni veloci prima che la deflagrazione fosse completamente avvenuta.

Rotblat non era l'unico scienziato, in Inghilterra, a lavorare all'atomica. Presso l'Università di Birmingham, Otto Frisch e Rudolf Peierls raggiunsero risultati notevoli calcolando che per realizzare una bomba basata sulla fissione dell'isotopo dell'uranio di massa 235 avviata dall'urto con neutroni veloci, sarebbe stata sufficiente una massa critica di pochi kilogrammi per generare una reazione a catena. Furono le loro ricerche a rendere manifesto che una bomba atomica poteva essere realizzata entro la fine della guerra e che determinarono l'inizio del "Progetto Manhattan" negli Stati Uniti d'America più che la famosa lettera scritta da Einstein e Szilard per il presidente Roosevelt. (Cioci 2009, 2015)

### 3. Rotblat e il progetto Manhattan

Nel gennaio del 1944 anche Rotblat si trasferì negli Stati Uniti per partecipare al progetto di realizzazione della bomba.

A Los Alamos Rotblat ebbe modo di utilizzare un ciclotrone. Lavorò allo studio sperimentale degli effetti del secondo ordine risultanti dall'irraggiamento mediante neutroni veloci dei prodotti di fissione. Partecipò inoltre alle riunioni ristrette con i coordinatori del progetto. (Brown 2012, pp. 47-48)

Era diventato molto intimo con la famiglia Chadwick. Durante una delle sue visite ebbe modo di ascoltare il generale Groves sostenere che il vero scopo del progetto Manhattan era quello di superare in potenza bellica la Russia per poi dominarla.

Nell'ottobre dello stesso anno, Rotblat appena saputo che i tedeschi avevano rinunciato alla realizzazione della bomba, ritenne che non sussistessero più le motivazioni che lo avevano mosso ad aderire al progetto Manhattan e decise quindi di lasciare Los Alamos. Ricevette il permesso a condizione di non fare menzione con nessuno dei suoi colleghi delle sue vere motivazioni. (Rotblat 1985, p. 18)

Dopo Hiroshima e Nagasaki si sentì "tradito dalla bomba atomica" perché avrebbe preferito poter decidere le modalità in cui i risultati delle sue ricerche sarebbero stati impiegati. Voleva essere "uno scienziato che lavora per il bene dell'umanità e non per la sua distruzione". Maturò quindi, negli anni Cinquanta, la decisione di abbandonare lo studio della 'fisica pura' per dedicarsi alle applicazioni mediche del nucleare. (Rotblat *et al.* 2006, pp. 34-35)

Tornato a Liverpool, dopo la guerra, prima diresse il gruppo per lo sviluppo dell'emulsione fotografica nucleare e presiedette il gruppo per lo sviluppo del ciclotrone, pianificando la costruzione a Liverpool di un sincrociclotrone poi, nel 1950, decise di dedicarsi alle applicazioni della fisica nucleare alla medicina, divenendo professore di Fisica all'Università di Londra, presso il College dell'Ospedale di S.Bartolomeo, posizione che mantenne fino al 1976. Fra il 1960 e il 1972 fu anche direttore editoriale di *Physics in Medicine and Biology*.

#### 4. Rotblat e l'impegno per la pace. Il Manifesto Russell-Einstein

Dopo il fallimento delle trattative presso le Nazioni Unite per il controllo internazionale delle armi atomiche, Rotblat organizzò il Treno dell'Atomo, il primo grande sforzo per educare il pubblico sulle applicazioni pacifiche e militari dell'energia nucleare, accompagnandolo in Gran Bretagna, Europa e Medio Oriente

Al S. Bartolomeo, Rotblat lavorò agli effetti delle radiazioni sugli organismi viventi. Questo lo portò a un interesse per il *fall out* nucleare e quindi verso i limiti di sicurezza delle radiazioni ionizzanti. Nel 1955, dimostrò che l'estensione della contaminazione causata dagli Stati Uniti d'America con il test nucleare all'Atollo Bikini era stata di gran lunga superiore a quella dichiarata ufficialmente. Il lavoro di Rotblat fu ripreso dai media e contribuì al dibattito pubblico che portò alla fine dei test atmosferici per effetto della sottoscrizione del Trattato di messa al bando parziale del 1963.

Nel marzo del 1954, subito dopo l'esplosione della prima bomba ad idrogeno, Rotblat incontrò per la prima volta Bertrand Russell discutendo con lui delle catastrofiche conseguenze di una guerra nucleare. Russell a sua volta ne parlò alla radio, nel Natale del 1954 in un documentario intitolato "Man's Peril" e promosse un Manifesto pubblico che fu firmato da Albert Einstein poco prima di morire e da altri otto premi Nobel. Nonostante Rotblat insieme con Leopold Infeld, grande amico e collega di Einstein, non fosse ancora stato insignito del premio Nobel, svolse comunque un ruolo importante. Presiedette infatti la conferenza stampa in cui questo venne annunciato il 9 luglio 1955 a Londra. Il "Manifesto Russell-Einstein"<sup>1</sup> voleva informare il pubblico e i governanti degli immani pericoli connessi ad una guerra nucleare. Allo stesso tempo, il Manifesto fu un urgente richiamo diretto a tutti gli scienziati, affinché si riunissero per discutere sul modo di sventare la minaccia della guerra nucleare.

Lo spirito del Manifesto si incarnò, nel luglio del 1957, nella cittadina di Pugwash, in Canada, grazie a Cyrus Eaton che finanziò il progetto di una conferenza che riuni ventidue scienziati di dieci nazioni diverse, compresi i Paesi del blocco orientale come l'URSS e la Polonia grazie all'influenza dell'Accademia sovietica delle scienze la quale ritenne che i propri scienziati dovessero avere una levatura pari ai partecipanti occidentali. Rotblat fu il primo segretario generale delle "Pugwash Conferences on Science and World Affairs" che svolsero un ruolo molto importante per la comunicazione e il dialogo fra gli scienziati dei blocchi contrapposti. Gli incontri successivi fra gli scienziati contribuirono alla ratifica del "Trattato di non Proliferazione Nucleare" (TNP) del 1968 ed entrato in vigore nel 1970. Rotblat fu anche presidente del "Movimento Pugwash" fra il 1988 e il 1998.

---

<sup>1</sup> *The Russell-Einstein Manifesto* fu pubblicato a Londra il 9 Luglio 1955 e firmato da M. Born, P. Bridgman, A.L. Infeld, F. Joliot-Curie, H.J. Muller, L. Pauling, C.F. Powell, J. Rotblat, H. Yukawa.

## 5. Il premio Nobel per la pace

Nel 1995, a cinquanta anni dalle tragedie di Hiroshima e Nagasaki, Rotblat ricevette il premio Nobel per la pace insieme alle Pugwash Conferences “per i loro sforzi per diminuire il ruolo delle armi nucleari nella politica internazionale e, nel lungo periodo, per eliminare tali armi”. L’assegnazione del premio costituì anche il “riconoscimento della responsabilità degli scienziati nei confronti delle proprie invenzioni”. (The Nobel Peace Prize, 1995)

Il discorso di Rotblat alla cerimonia di consegna del premio Nobel costituisce un documento molto importante per l’analisi delle relazioni fra la scienza e l’etica. (Rotblat 1999a) Il tema del discorso di Rotblat fu quello dei terribili rischi cui le armi nucleari espongono l’umanità e la necessità di una convivenza pacifica come unico modo di assicurare un futuro al genere umano. In quell’occasione Rotblat espresse l’auspicio che, siccome il Nobel attribuito a lui e alle “Pugwash Conferences on Science and World Affairs” premiava degli scienziati dediti alla causa dell’abolizione delle armi nucleari, di lì in avanti molti altri scienziati avrebbero iniziato a preoccuparsi delle conseguenze del proprio lavoro sulla società.

Dopo essersi appellato ai politici per una pace stabile, Rotblat si rivolse direttamente agli scienziati invitandoli a non lavorare più per la realizzazione di armi nucleari sempre più potenti né per armi chimiche o batteriologiche. “Gli scienziati che prestano il loro talento alla realizzazione di questi terribili mezzi di distruzione, infatti, hanno inferto un grave danno all’immagine della scienza”.

Gli scienziati inoltre, secondo Rotblat, dovrebbero assumersi il compito di denunciare i casi in cui la ricerca scientifica potrebbe arrecare un grave danno alla società, le “soffiate di questo tipo dovrebbero diventare parte del codice etico degli scienziati”.

Purtroppo, però, spesso gli scienziati hanno timore di prendere posizione sulle questioni etiche perché ciò potrebbe incidere sulle loro carriere. Il caso più eclatante, secondo Rotblat, coinvolse il tecnico nucleare israeliano Mordechai Vanunu che dopo aver svelato al mondo intero il segreto della produzione di plutonio presso il reattore nucleare di Dimona fu condannato a diciotto anni di reclusione. Rotblat auspica quindi che il comportamento degli uomini di scienza sia dettato da un codice etico che sia una guida soprattutto per le nuove generazioni di scienziati e ingegneri e che possa essere espresso mediante un impegno visibile preso prima di cominciare a svolgere la professione allo stesso modo in cui il giuramento ippocratico viene pronunciato dai medici.

Il discorso si conclude con l’appello a tutti i cittadini che non devono lasciare soli nelle loro scelte i politici e gli scienziati, ma devono fermamente opporsi alle guerre e a questo fine rinunciare gradualmente alla sovranità nazionale in virtù di un legame più forte che lega ogni uomo all’intera umanità, oggi minacciata dagli ordigni nucleari.

## 6. Conclusione. L'eredità di Rotblat e i codici di comportamento etico

Vi sono diversi tipi di codici di comportamento che potrebbero essere applicati al lavoro degli scienziati (Revill, Dando 2006, p. S56):

- i codici di condotta vincolanti che richiedono sanzioni per le violazioni;
- i codici di consulenza, in grado di fornire linee guida su come comportarsi;
- i codici etici, cioè brevi dichiarazioni di intenti contenenti principi generali e facenti riferimento alle norme etiche, formulabili anche mediante un giuramento o una dichiarazione scritta.

La scelta seguita da Rotblat è quella dell'impegno secondo un codice etico formulabile sotto giuramento. A tal riguardo un documento, particolarmente interessante, qui citato integralmente, è il giuramento adottato dagli studenti del movimento Pugwash:

Prometto di lavorare per un mondo migliore, dove la scienza e la tecnologia siano utilizzate in modo responsabile. Non userò la mia istruzione per alcuno scopo dannoso per gli esseri umani o per l'ambiente. Nel corso della mia carriera professionale, pondererò le implicazioni etiche del mio operato prima di agire. Sebbene l'impegno che mi assumo sia gravoso, sottoscrivo questa dichiarazione riconoscendo che la responsabilità individuale è il primo passo sulla strada per la pace. (Student Pugwash USA, 1999)

Il testo, che considera le implicazioni etiche del lavoro dello scienziato sia per gli altri uomini che per l'ambiente, tiene in gran considerazione la responsabilità del singolo, come l'esperienza di Rotblat ci insegna, essendo stato l'unico scienziato atomico ad abbandonare il progetto Manhattan dopo la notizia che la Germania non avrebbe potuto dotarsi della bomba.<sup>2</sup> Questa scelta assume un significato ancora più grande se, come auspicato da Rotblat in un editoriale notevole pubblicato nel 1999 dalla rivista *Science*, "corsi sugli aspetti etici della scienza fossero introdotti nei programmi di studio universitario per gli studenti di scienze". (Rotblat 1999b)<sup>3</sup> Potrebbe sembrare riduttivo un impegno formativo volto all'assunzione delle responsabilità etiche soltanto da parte delle nuove generazioni di scienziati. La posizione di Rotblat, in effetti, non si esaurisce con questo obiettivo. Egli, infatti, auspica anche che le accademie nazionali delle scienze e le associazioni professionali degli scienziati svolgano un ruolo sociale più attivo, approntando codici di condotta per i loro aderenti e opponendosi ai progetti di ricerca potenzialmente pericolosi.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Un codice etico per gli scienziati più articolato fu realizzato nel 1984 a Uppsala in Svezia. (Gustafsson *et al.* 1984). Però una formulazione più breve e semplice come quella degli studenti del movimento Pugwash potrebbe essere più versatile e adatta a situazioni nuove. Una fase importante nella redazione di un codice di comportamento etico ha un approccio di tipo *bottom-up* perché partendo dall'esperienza degli scienziati si possa realizzare un codice quanto più possibile condiviso. (Revill, Malcolm 2006, pp. S56, S59)

<sup>3</sup> Dai miei contributi ai Congressi SISFA ho elaborato un percorso per la formazione delle nuove generazioni di scienziati che tiene conto degli aspetti etici della scienza (Cioci 2014).

<sup>4</sup> La sua posizione a riguardo è simile a quella di Frederick Soddy. (Cioci 2011, pp. 207-209)



### Ringraziamenti

Sono particolarmente grato a Kyle Gracey, Vicepresidente della Sezione studenti USA del movimento Pugwash, premio Nobel per la pace del 1995, per avermi accordato il permesso di pubblicare integralmente la mia traduzione in Italiano del giuramento formulato dai giovani del movimento.

### Bibliografia

- Busch J.E.A. (2009) *The Utopian Vision of H. G. Wells*. Jefferson, NC, and London: McFarland and Co.
- Brown A. (2012). *Keeper of the Nuclear Conscience: The Life and Work of Joseph Rotblat*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Cioci V. (2009). *Szilard e Rasetti: due scienziati a confronto*, in Giannetto E., Giannini G. (a cura di), Capecchi G., Pisano R. (con) *Da Archimede a Majorana: la Fisica nel suo divenire. Atti del XXVI Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*. Rimini: Guaraldi, pp. 303-313.
- Cioci V. (2011). *Frederick Soddy e la scoperta dell'energia atomica*, in Giannetto E., G. Giannini G. (a cura di) Capecchi G., Pisano R. (con) *Intorno a Galileo. La storia della fisica e il punto di vista galileiano*. Rimini: Guaraldi, pp. 201-209.
- Cioci V. (2014). *A teaching proposal on twentieth century physics*, in Katsiampoura G. (ed.), *Proceedings of 5th International Conference of the European Society for History of Science, Scientific Cosmopolitanism and Local Cultures: Religions, Ideology, Societies*, (Athens, 1-3 November 2012). Athens: National Hellenic Research Foundation/Institute of Historical Research, pp. 241-246. Symposium: History and Philosophy of Science in EU Secondary Curricula? New Proposals Wanted.
- Cioci V. (2015). *On the History and Technology of the Atomic Bomb. The Commitment of the Scientists*, in Pisano R. (ed.), *A Bridge between Conceptual Frameworks. Sciences, Society and Technology Studies*. Dordrecht: Springer, pp. 113-133.
- Flügge S. (1939). "Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?". *Die Naturwissenschaften*, 27(23/24), pp. 402-410.
- Gustafsson B., Rydén L., Tibell G., Wallensteen P. (1984). "The Uppsala Code of Ethics for Scientists". *Journal of Peace Research*, 21(4), pp. 311-316.
- Revoll J., Malcolm R.D. (2006). "A Hippocratic Oath for life scientists". *EMBO Reports*, Vol. 7, Special Issue, pp. S55-S60.
- Rotblat J. (1985). "Leaving the bomb project". *The Bulletin of the Atomic Scientists*, 41 (7), pp. 16-19.
- Rotblat J. (1986). "Interview". *Series War and Peace in the Nuclear Age, Dawn*, episode 101, WGBH Media Library & Archives [online]. URL: <<http://openvault.wgbh.org/catalog/wpna-db6dc9-interview-with-joseph-rotblat-1986>> [data di accesso: 15/05/2016].
- Rotblat J. (1999a). *Remember Your Humanity*, in Abrams I. (ed.), *Nobel Lectures, Peace 1991-1995*. Singapore: World Scientific Publishing Co. [online]. (URL: <<http://www.nobelprize.org>> [data di accesso: 15/05/2016]. Il Discorso di Joseph

- Rotblat alla cerimonia di consegna del Premio Nobel è in traduzione italiana in Rotblat *et al.* (2006), pp. 202-217.
- Rotblat J. (1999b). "A Hippocratic Oath for Scientists". *Science*, 286 (5444), p. 1475 [online]. URL: <[www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)> [data di accesso: 10/05/2016].
- Rotblat J., Ikeda D. (2006). *A Quest for Global Peace: Rotblat and Ikeda on War, Ethics and the Nuclear Threat*. London: I.B.Tauris & Co. Ltd. Traduzione italiana Rotblat J., Ikeda D. (2006). *Dialoghi sulla pace*. Milano: Sperling & Kupfer.
- Russell B.A.W., Einstein A. (1955). "Texts of Scientists' Appeal for Abolition of War". *The New York Times*, 10 July, p. 25.
- Student Pugwash USA (1999). *SPUSA Pledge*, [online]. URL: <[www.spusa.org](http://www.spusa.org)> [data di accesso: 10/05/2016].
- The Nobel Peace Prize (1995). *Press Release*, [online]. URL: <[www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/peace/laureates/1995/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/1995/press.html)> [data di accesso: 10/05/2016].

# La Geografia di carta di Schöner tra Cielo e Terra

Yara De Leo, Università degli Studi di Firenze - yara.deleo@gmail.com

Massimo Mazzoni - Società Astronomica Italiana - mazzoni@arcetri.astro.it

*Abstract:* Johannes Schöner was a XVI century German ‘*mathematicus*’, in the full Latin meaning: in fact he is known also as astronomer, cosmographer and scientific instrument maker, like sundials and globes. Besides this, he was an important publisher of scientific works and a strong supporter of the Copernican model. In spite of his ample and skilled activity, he doesn’t hold a deserved position in the History of Renaissance Science, and also related bibliography is very poor. The opportunity of studying deeper this scholar, which was also a pupil of the famous mapmaker Waldseemüller, was offered by the recent restoration of a original tome collecting all his major works, now owned by a Florentine theological college. The book was issued after his death by the son in 1551, with the title *Opera Mathematica Ioannis Schöner Carolostadii in unum volumen congesta*, and it contains several treatises ranging from celestial and terrestrial Globes to judicial Astrology, tables of distances among European cities, plain and cylindrical Sundials, motion of planets and their effects. Just at first sight, by reading the content of the sixteen main parts, it’s evident the leading concept of the whole volume: Earth with human beings, sky with celestial bodies, and the relationships, scientific or believed, among them. To deal with the engaging aim of better understanding the role played by Schöner in the rising sciences at the beginning of ’500, the authors decided to examine first the work on cartography and ethnology. In those years, new lands and new peoples were upsetting the current world view: the German mapmaker represents the boundaries of the new countries, sometimes with intuition beyond real discoveries, and outlines temper and nature of their inhabitants. The present comparative survey here reported is a preliminary step to face the astronomical and astrological treatises.

*Keywords:* Schöner, Geography, globes maker, mapmaker, explorations.

## 1. Esplorare la Terra, e misurarla

L’inizio dell’era moderna, collocabile nella seconda metà del XV secolo, è simbolicamente collegato da alcuni storici alla prima stampa a caratteri mobili (ca. 1456) mentre altri l’identificano con la scoperta delle Indie Occidentali (1492). In realtà i due eventi non sono del tutto scorrelati poiché l’invenzione di Gutenberg contribuì ad

estendere la notorietà della *Geographia* di Tolomeo, che conobbe una rinnovata, notevole diffusione e che fu una tra le prime impressioni a carattere scientifico.

La prima stampa dell'atlante, completo di mappe, avvenne nel 1477 proprio in Italia, a Bologna, ed appena cinque anni più tardi apparve a Firenze l'edizione in lingua volgare; in effetti è noto come il progetto di Colombo, così come molte navigazioni successive, sia stato influenzato dal contenuto di quest'opera. I diari dei viaggi di Colombo e poi di quelli di Diaz, Vespucci, Da Gama e Magellano costituiscono le prime incerte tessere di un *puzzle* impegnativo, originato dalle incompletezze di Tolomeo e dagli errori di misura del matematico Dal Pozzo Toscanelli.

È questo *puzzle* di informazioni che mezzo secolo più tardi il geografo Schöner cercherà di ricomporre su carta, sfidando addirittura le tre dimensioni nel rigido vincolo geometrico di un mappamondo. La difficoltà del lavoro, e quindi il merito del cartografo tedesco, stava nella vaghezza e perfino nella contraddittorietà dei resoconti di quelle esplorazioni, che all'inizio furono motivate principalmente da ambizioni politiche o di prestigio, più che da scopi scientifici o commerciali. Infatti per quasi tutto il decennio successivo, nonostante l'enfasi intenzionalmente eccessiva delle narrazioni relative alle nuove scoperte d'oltreoceano, la via più sicura verso l'Oriente fu considerata quella portoghese, che raggiungeva l'India circumnavigando l'Africa con una rotta stabilita nel 1488.

Tuttavia migliori valutazioni di posizioni, distanze ed estensioni si imposero quasi subito per motivi di dominio politico: già nel 1493 Alessandro VI Borgia, papa spagnolo, aveva usato lo strumento della bolla per definire a vantaggio dei castigliani la spartizione del nuovo mondo tra i due regni iberici, criterio corretto l'anno successivo dall'accordo bilaterale di Tordesillas. Quel trattato stabilì il *limes* dell'equa ripartizione in un meridiano molto ad Ovest delle isole di Capo Verde, in pratica prossimo all'attuale Brasilia, dimostrando così quanto ancora fosse ignota la reale conformazione ed estensione delle nuove terre. Ma proprio questa consapevolezza di inadeguatezza rese necessario integrare le spedizioni con figure come i cosmografi, per determinare le longitudini dei possedimenti; nello specifico, Amerigo Vespucci era allora uno dei pochissimi uomini in grado di assolvere al difficile compito, tanto che fu capace di calcolare con notevole approssimazione la misura della circonferenza terrestre. Sui dati del fiorentino si baserà la mappatura di Schöner; purtroppo le lettere di viaggio di Vespucci presentano, forse per motivi politici, discrepanze tali da far pensare che non tutti gli itinerari siano veri, almeno nel modo in cui sono stati descritti.

Comunque siano andate le cose nel dettaglio, i suoi scritti non riportano solo coordinate, ma sono suggestivi e ricchi di osservazioni naturalistiche ed antropologiche, così come lo erano stati quelli di Colombo: è questo un altro filo che lega i primi navigatori all'*Opusculum Geographicum* (1533), si veda più avanti. Infatti anche per Schöner la geografia doveva includere considerazioni sociali, linguistiche ed etniche oltre che faunistiche e climatiche; i suoi paragrafi sono soprattutto affreschi sintetici e colorati. Può sembrare un limite, ma rappresentavano comunque un formidabile passo avanti rispetto alle disquisizioni filosofiche del tempo sull'oltremare. Certo non si trattò di un'invenzione di Schöner, ma piuttosto di uno stile che si era già affermato nelle

narrazioni geografiche e che ben rappresentava il nuovo rapporto tra uomo e natura che si instaurò nell'arco del '500. (Omodeo 2001)

Breve cenno, infine, sulla collocazione temporale dell'opera: il libro apparve poco dopo che alle nuove conoscenze sulle terre ad Occidente si erano aggiunte quelle sulle contese isole delle spezie nel Pacifico, le Molucche. Ci fu allora disponibile abbastanza materiale affinché un valente artigiano e proto-scienziato come Schöner provasse a realizzare una ricostruzione completa del pianeta Terra: il mappamondo, appunto.

## 2. Schöner e *Opera Mathematica*

La presenza di Schöner nel *Dictionary of Scientific Biography* (Rosen 1980), è modesta, confinata in una colonna e mezzo. Eppure questo geografo e matematico di Karlstadt non è personaggio di pochi meriti scientifici, sia per la vastità dei suoi interessi, dalla matematica all'astrologia, all'editoria, sia per essere stato uno dei primi cartografi costruttore anche di globi terrestri, in anni nei quali la geografia subiva una rivoluzione epocale. In effetti Schöner è noto soprattutto come cartografo, ma merita, o meriterebbe, un posto speciale nella storia dell'astronomia che alla fine del XVI secolo si apprestava a subire un cambiamento di prospettive ancora più profondo di quello geografico, coinvolgendo nella sua rivoluzione tutte le scienze ed anche la filosofia e la religione. Fu grazie a Schöner infatti che il canonico di Frombork, Kopernik (1543), stabilì contatti con Retico dell'Università di Wittenberg e venne convinto, pur con molta riluttanza, a dare alle stampe il suo *De Revolutionibus orbium coelestium*.

Schöner, come dicevamo, è tutt'oggi figura della quale scarseggiano approfondimenti in letteratura, e ciò è dovuto solo in parte alla messa all'Indice dei suoi scritti, dato che questa scomunica fu più formale che reale, come vedremo più avanti. In altra parte ha contribuito il fatto che la pubblicazione completa delle sue opere è avvenuta solo postuma. Rappresenta bene quel modello di visione integrata dell'Uomo e del suo Ambiente valido nel primo '500: misurare il trascorrere del tempo e progettare nuovi orologi solari, rappresentare la Terra e le nuove terre, con i loro abitanti e le loro caratteristiche, ricollocare città e fiumi, raffigurare la confermata sfericità terrestre, diffondere una nuova visione celeste, studiare in quest'ambito i pianeti del sistema solare e progettare strumenti per determinarne posizione e moto, approfondire e codificare le loro influenze sulle vicende umane, tutto questo indica la concezione di un'umanità immersa in un cosmo del quale è parte e al quale partecipa. Il ruolo di Schöner editore si comprende osservando che a fine del '400 circa un terzo degli abitanti del centro Europa sapeva leggere, inoltre l'ascesa del cetto artigianale insieme all'affermazione della classe borghese produsse la comparsa di libri con cognizioni pratiche, fino ad allora confinate nella tradizione orale o nell'esperienza personale. Si ebbero così opere di metallurgia e di economia mercantile, di medicina popolare, di gastronomia o di agricoltura. (Omodeo 2001)

L'oggetto di questo contributo, il *De usu Globi terrestris*, è contenuto in una pubblicazione, e ne costituisce il sesto capitolo, il cui titolo, come risulta dal frontespizio, recita: *Opera Mathematica Ioannis Schoneri Carolostadii in unum*

*volumen congesta*. (Schöner 1551) ‘*Congesta*’: infatti non si tratta di un singolo lavoro, bensì di una raccolta di opere scientifiche di varia natura tutte scritte da Schöner. Questa ricerca si colloca come prosieguito di una recente analisi del trattato relativo all’Astrologia (*Isagogæ Astrologiæ iudiciariæ*), anch’esso incluso nella raccolta. (Mazzoni, Romoli 2011)

Il pregio del volume non sta solo nella sua rarità: è ormai trascorso oltre mezzo millennio dalla data di pubblicazione, ed in base ad una ricerca sulle maggiori OPAC del mondo, di questa edizione (Norimberga 1551) risulta appena una decina di copie nelle biblioteche italiane e circa 25 in quelle degli altri Paesi. È degno di rilievo il fatto che il presente volume sia custodito presso la Biblioteca-Archivio del Seminario Arcivescovile di Firenze, visto che il nome dell’autore risulta compreso nella lista *Auctores quorum libri & scripta omnia prohibentur* già dalla prima edizione (1559) dell’*Index Librorum Prohibitorum*.

La caratteristica che rende questo esemplare quasi unico è che esso sia giunto a noi completo anche degli elementi paratestuali, le volvelle. Si tratta di una decina di strumenti cartacei composti da dischi mobili graduati, sovrapposti ed eccentrici, cuciti su pagina recante un quadrante di riferimento, insieme ad uno o più fili in cotone con funzione di alidade. Queste parti risultano estremamente delicate all’uso ed infatti la ricognizione sulle OPAC indica in poche unità le copie integre. Si aggiunga infine che non tutte le *Opera Mathematica* sono complete di tutti i tomi come la nostra.

Johannes Schöner (1477-1547) nato a Karlstadt, in Germania, fu uno dei maggiori uomini di scienza del suo tempo, ufficialmente un ‘*mathematicus*’, inteso nell’accezione di allora, che intendeva coprire un vasto campo del sapere naturale, in quanto contrapposto a quello teologico: il concetto di scienza è piuttosto sfumato e per certi aspetti improprio nel secolo pre-galileiano. Lo stesso titolo ed incarico di matematico, un secolo più tardi, fu conferito a Galileo, da Cosimo II de’ Medici. Schöner, condotti gli studi universitari in teologia ed ordinato prete cattolico nel 1499, si convertì successivamente al luteranesimo, divenendo professore di matematica a Norimberga, fino al 1546. Frequentò gli ambienti religiosi riformisti e fu amico di Martin Lutero e del suo collaboratore Filippo Melantone. I diversi campi del suo interesse riguardarono il computo del tempo (degnò di nota il lavoro sulle meridiane cilindriche) anche ai fini dei calendari liturgici, lo studio e la raffigurazione della volta stellata, la rappresentazione della Terra nell’epoca delle grandi scoperte geografiche, la compilazione di tavole matematiche e infine complesse indagini astrologiche. Va sottolineata anche la sua attività di editore scientifico, che gli fece pubblicare antichi trattati arabi di astronomia tradotti in latino e che lo portò, come già ricordato, ad essere uno degli editori del *De Revolutionibus* di Kopernik (1543). A questo volume fece seguire subito la stampa delle osservazioni celesti dell’astronomo bavarese Regiomontano, a quel tempo uno dei più noti in ambito internazionale e del quale Schöner si era occupato come editore, pubblicandone uno studio sulle comete.

Il nome del matematico tedesco è associato soprattutto alla cosmografia e alla costruzione di globi terrestri dei quali fu uno dei primi fabbricanti. Questa attività era derivata da quella precedente di rilegatore di libri per incarico del Vescovato di Bamberg, e che aveva comportato l’installazione di una tipografia in casa propria. Fu in

grado di rendersi autosufficiente in tutte le fasi della stampa, dall'incisione dei cliché alla rilegatura dei libri, e fu proprio questa sua abilità artigianale a fargli realizzare quegli strumenti cartacei ricordati sopra, le volvelle, ossia dei "calcolatori analogici" di trigonometria applicata all'astronomia.

A pochi anni dalla sua morte venne pubblicata, a cura del figlio Andreas, l'*Opera Mathematica* (Schöner 1551), una raccolta di 16 opere a carattere matematico, geografico e astrologico. Scorrendo l'elenco degli argomenti nell'indice, si trovano l' 'Astrologia giudiziaria', l' 'Analisi delle condizioni di nascita', la 'Composizione del Globo celeste' e 'del Globo Terrestre', gli 'Strumenti di misura astronomica', oltre a 'Tavole matematiche e geografiche'. Dopo un preliminare Carme Solenne, il libro si apre con un' 'Introduzione' scritta da Filippo Melantone. Su questa è stata applicata, nella copia considerata, una forma di censura forse ad opera dello stesso Seminario, ma si è trattato di una censura minima, e soltanto simbolica: infatti ci si è limitati a nascondere il nome dell'autore con l'inchiostro di china e a tirare uno spesso rigo sull'intestazione delle pagine seguenti. Tuttavia il testo non è stato toccato.

### 3. De usu Globi terrestris

Il sesto capitolo di *Opera Mathematica* (1551) si intitola *De usu Globi terrestris* e si tratta di un breve 'libello' geografico. Nella prefazione è indicata la data di pubblicazione, 1533, e ciò fornisce un'importante informazione, poiché mostra che il suddetto capitolo non è altro che la ristampa nel volume postumo dell'*Opusculum geographicum*, un trattato che Schöner pubblicò nel 1533 a Norimberga per accompagnare un globo terrestre da lui costruito, chiamato 'il globo di Weimar', dedicato a Giovanni Federico I Duca di Sassonia. Tramite una ricerca OPAC è possibile confrontare i testi dell'opuscolo e del tomo e constatare che sono identici.

Il libello geografico è suddiviso in *prima pars* e *secunda pars*. Sul modello della *Geografia* di Tolomeo e di tutti i testi che adottarono la stessa impostazione della disciplina geografica, decretandone la fortuna, la prima parte dell'opuscolo pone le basi teoriche dell'approccio scientifico alla materia, tipico della cultura greca. Si annoverano paragrafi che portano argomenti sulla rotondità della Terra, sui moti della Terra (in particolare l'argomentazione del Regiomontano), paragrafi che descrivono i circoli della Terra e come questi la dividano in 5 zone, ma anche sulle differenze climatiche e sui venti. Gli ultimi paragrafi di questa parte riguardano la definizione di latitudine e longitudine (ponendo anche come riferimenti rispettivamente l'Equatore e il meridiano passante per le Isole Fortunate, isole semileggendarie oggi generalmente associate alle Canarie, come avveniva nella *Geografia*) e del loro uso per trovare le coordinate dei luoghi della Terra.

Dopo aver posto le basi teoriche, seguendo lo schema tolemaico, affinché il lettore fosse in grado di comprendere e riprodurre il proprio eventuale modello geografico, si passa alla descrizione del globo così come lo conosceva Johannes Schöner. Il titolo dell'*Opusculum Geographicum* dunque assume anche il ruolo di manifesto degli intenti dell'astronomo, il quale è giunto a tale concezione del mondo collezionando 'summa

*cura et diligentia*' le conoscenze da svariati libri e carte, e accomodandole secondo le più recenti scoperte, e probabilmente anche da racconti di mercanti ed esploratori.

Di seguito alla sezione *Generale divisione della Terra* si trova una descrizione dell'Europa, dell'Africa, dell'Asia e infine della nuovissima *Brasilia regio*. Già in *De generali divisione terrae* Schöner affronta la questione di "una quarta parte della Terra, di recente scoperta e solo parzialmente illustrata" (*quae nondum plene cognita est*) da dover aggiungere alla descrizione dei tre vecchi continenti fino ad allora conosciuti. Con quelle righe Schöner si vuole riferire al paragrafo *Brasiliae novae terrae annotatio* che conclude l'opuscolo. Il paragrafo è veramente breve, vi si riporta la posizione di questa parte del mondo, si ribadisce il concetto di quanto sia recente la sua scoperta e si coloriscono le scarsissime informazioni con dettagli di tipo antropologico (utilizza il *topos* letterario di un popolo senza leggi, ma umile e onesto, non antropofago, caratteristica degna della massima attenzione come testimoniano le numerose carte dell'epoca con zone etichettate *Canibales*). Se poi si torna indietro alla descrizione del continente asiatico tra gli ultimi paragrafi se ne trovano due dalla collocazione interessante: i paragrafi contemplati sono *De regionibus extra Ptolemeum*<sup>1</sup> e *De insulis circa Asiam ac Indiam, et novas regiones huius tertiae orbis partis*.<sup>2</sup> Come è possibile notare dal testo vengono elencati luoghi che ora sappiamo essere del Centroamerica (Isabella-Cuba, Giamaica, Spagnolla-Haiti, Mexico) o che venivano rappresentati nelle cartine del Sud America<sup>3</sup> (Parias, Dariena, Canibales appunto), ma sono tutti messi in relazione con il continente asiatico.

Questo fa pensare che, nel 1533, Schöner immaginasse una natura continentale per *Brasilia Regio* (che corrisponde alla parte 'rinvenuta' del Sud America dall'Occidente, in gran parte delle rappresentazioni geografiche rinascimentali), tuttavia non avesse ancora compreso la vastità del continente americano, attribuendone le isole e alcune parti al continente asiatico e sottostimando, dunque, anche l'estensione dell'Oceano Pacifico (del resto la prima circumnavigazione del globo era avvenuta, grazie a Magellano, appena 11 anni prima). A conferma di tale tesi concorre anche l'errata collocazione nelle carte, antecedenti al 1522, dello Stretto Magellanico a latitudini inferiori rispetto a quella reale, molto probabilmente scambiato per l'enorme estuario del Rio de la Plata, che venne parzialmente risalito da spagnoli e portoghesi, nel disperato tentativo di trovare il passaggio verso occidente, fin dall'inizio del '500. (Luzzana Caraci 2009, pp. 324-345)

#### 4. Schöner costruttore di globi

Per quanto riguarda la disciplina geografica, la produzione del matematico di Norimberga non si limitò solo a quella saggistica: Schöner fu anche un abile cartografo e costruttore di globi lignei (sia terrestri che celesti), come del resto fu un abile costruttore di strumenti scientifici in generale. I globi terrestri a cui si fa riferimento in

<sup>1</sup> Le regioni fuori dalla descrizione tolemaica.

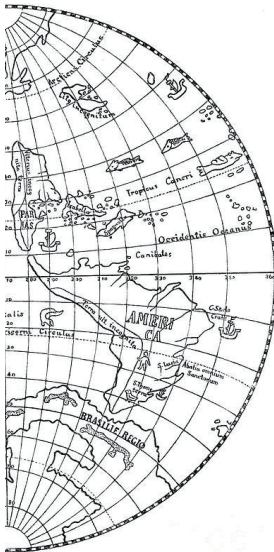
<sup>2</sup> Le isole intorno all'Asia, all'India e alle nuove regioni della terza parte del mondo.

<sup>3</sup> Si veda il Planisfero Cantino.



questo contributo sono i seguenti: il globo del 1515, il globo del 1520, il globo del 1523 detto di “Timiripa” e, infine, il globo del 1533 detto di ‘Weimar’.

In aggiornamento progressivo, su ciascun globo vengono rappresentate le ‘nuove terre rinvenute’ dall’Occidente negli anni delle grandi scoperte geografiche, che ebbero un ruolo da protagoniste nel sancire l’inizio della modernità. Lo studio in dettaglio dei globi permette di delineare la visione cosmologica di Schönner e insieme seguire lo sviluppo delle esplorazioni. Da un punto di vista cronologico queste attraversano due fasi cruciali che sono il passaggio del secolo con i viaggi di, per esempio, Colombo e Vespucci, e circa vent’anni più tardi con la prima circumnavigazione del globo di Magellano.



**Fig. 1** Particolare del Nuovo Mondo, globo del 1515

Il globo del 1515 era accompagnato dal trattato *Luculentissima quaedam terrae totius descriptio*,<sup>4</sup> (Schöner 1515) il quale fornisce una descrizione dei continenti conosciuti, accennando anche alla terra di nome *America* per la prima volta nei testi schöneriani, riprendendo così il toponomastico di Waldseemüller. La caratteristica principale di tale globo è la rappresentazione che Schöner fa, per la prima volta nella sua produzione, del Nuovo Mondo. Questo è rappresentato da due terre vaste, comprese tra i due Tropici, una delle quali a carattere continentale, separate dal mare, che egli chiama *Parias* e *America*. *America* ha la tipica forma a triangolo del continente sudamericano ed è separata dal mare da un'altra vasta zona, *Brasile Regio* (*sic!*), che Schöner, con assoluta novità, colloca ai celeberrimi *Antipodi*, teorizzati da più *Auctoritates* fin dall'antichità. *Parias* si trova in prossimità della costa più orientale del continente asiatico ed è facile notare che affacciata a questa si trova *Zipangri*, il Giappone. Ad est

<sup>4</sup> La più lucida descrizione di tutte le terre.

di *Parias* invece si notano *Isabella* e *Spagnolla*. Se tale rappresentazione mostra dei connotati di novità, molti elementi (come la rappresentazione di *America*) sono eredità di elaborati precedenti, come il planisfero del Waldseemüller del 1507.

Avendo presente tale rappresentazione del Nuovo Continente, è possibile constatare che quelle portate dagli altri globi non sono altro che “variazioni sul tema”. Sul globo del 1520 si ha sostanzialmente una redistribuzione di toponimi. Quella terra che nel globo del 1515 era denominata come *Parias* adesso è chiamata *Terra de Cuba*. Restano *Isabella* e *Spagnolla*, mentre *America* prende anche il nome di *Brasilia* e l’Antartide diviene *Brasilia Inferior*. Stupisce ed è stato oggetto di studio il fatto che Schöner rappresentasse sia lo stretto di Magellano che il continente antartico prima delle loro scoperte ufficiali. Probabilmente la credenza e la leggenda che gli Antipodi dovessero esistere concorse alla loro rappresentazione, mentre per quanto riguarda lo stretto di Magellano è opinione diffusa tra gli studiosi che, oltre alla credenza aprioristica dell’epoca che il Nuovo Mondo fosse separato dal Vecchio dall’*Oceanus Orientalis*, lo stretto fosse già noto e forse superato prima del viaggio del grande navigatore portoghese.

Nel 1523 Schöner pubblicò una missiva che accompagnava un globo terrestre, il quale prende il nome dal toponimo Timiripa (l’attuale Ehrenbach), come si evince dal titolo. (Schöner 1523) Tale globo è stato creduto perduto fino alla recente attribuzione di George E. Nunn (Nunn 1927), avvenuta nel 1927. I fusi che lo compongono e ci sono pervenuti mostrano le caratteristiche: è tracciata sul mare la rotta che Magellano seguì nella sua celeberrima impresa; inoltre a nord compare una grande terra continentale, collegata al Sud America tramite un istmo, che rappresenterebbe il Nord America.

Come è stato precisato in precedenza, il globo del 1533,<sup>5</sup> era accompagnato dal trattato *Opusculum Geographicum*, che Schöner scrisse per spiegare la sua nuova rappresentazione dell’*Ecumene*, in particolare al Principe Federico di Sassonia, destinatario dello strumento geografico. Coerentemente al testo (v. par. 2) il *Nuovo Mondo* è visto come continuazione del *Vecchio*, la costa occidentale del Nord America si fonde con quella dell’Asia e non ha più il carattere continentale della precedente rappresentazione, anche le isole caraibiche diventano isole di un arcipelago asiatico, riprendendo le rappresentazioni del 1515 e del 1520. Il continente sudamericano è collegato a quello asiatico e compare il nome di *Mare Magellanicum*. Viene rappresentata anche l’Antartide, come un vasto continente circolare intorno al Polo Sud, compaiono i toponimi *Regio Patalis* e *Terra Australis* (che sullo stesso globo è specificata come inesplorata, “nondum plene cognita”). Questa cosmologia sarà ripresa anche da cartografi rinascimentali successivi le mappe dei quali sono rimaste nella storia del cartografia (Oronce Finé, Gerardus Mercator, Abraham Ortelius).

<sup>5</sup> Noto anche come Globo di “Weimar”.

## 5. Conclusioni

Nei lavori di Schöner è possibile individuare principalmente due approcci: quello matematico-astronomico e quello pratico-tecnologico. I numerosi dati riportati nell'*Opusculum Geographicum* e i paragrafi introduttivi sul metodo geografico caratterizzano il primo approccio, quello teorico. Benché non si riveli come innovatore, Schöner mostra una notevole capacità di *synthesis* delle conoscenze del passato, tolemaiche, e quelle della modernità, dovute alle grandi scoperte geografiche; ad esempio nel tentativo di trovare una collocazione coerente sul globo delle nuove terre scoperte, conferisce un carattere continentale al vasto territorio del Sud America e annette invece le poche terre del Nord e Centro America al continente asiatico. Oltre alla *synthesis* rivela una capacità di integrazione delle conoscenze ufficiali con notizie non confermate attraverso intuizioni brillanti (come i suddetti Stretto di Magellano e Antartide prima della loro esplorazione), tanto da ritrovare il suo modello cosmologico anche in prodotti di cartografia successivi.

Non meno degne di nota sono le capacità tecniche che emergono dalla realizzazione delle sue mappe e dei globi e quelle del trasferimento delle immagini bidimensionali in modelli tridimensionali: tali caratteristiche collocano il '*mathematicus*' di Norimberga tra quegli uomini di scienza che concorsero alla rivalutazione delle *artes sordidae* tipica del periodo e conferirono importanza alle scienze applicate, contribuendo all'inizio dell'epoca moderna. Considerare tali aspetti è fondamentale per fare un ulteriore passo e affrontare lo studio della sezione astronomica di *Opera Mathematica*.

### Ringraziamenti

Speciali ringraziamenti vanno al dott. Marco Romoli, al Prof. Leonardo Rombai e alla dott.sa Elena Gurrieri per il loro supporto e i preziosi consigli.

### Bibliografia

- Borgioli C., Rombai L. (2013). *Scoperte geografiche e nuovi mappamondi: il ruolo di Amerigo Vespucci e dei cartografi fiorentini tra '400 e '500*, in Azzari M., Rombai L. (a cura di), *Amerigo Vespucci e i mercanti viaggiatori fiorentini del cinquecento*. Firenze: Firenze University Press, pp. 179-201.
- Hugues L. (1903). *Cronologia delle scoperte e delle esplorazioni geografiche dall'anno 1492 a tutto il secolo XIX*. Milano: Ulrico Hoepli.
- Kopernik M. (1543). *De Revolutionibus orbium coelestium*. Norimbergae: apud Johan Petreium.
- Luzzana Caraci I. (2009). *Al di là di altrove*. Milano: Ugo Mursia Editore.
- Mazzoni M., Romoli M. (2011). *Del trattato astrologico di Ioannis Schönerus*, in Mandelli E., Lavoratti G. (a cura di), *Disegnare il tempo e l'armonia*. Firenze: Alinea, pp. 957-959.

- Nunn G.E. (1927). "The Lost Globe Gores of Johann Schoner, 1523-1524: a Review". *Geographical Review*, 17 (3), pp. 476-480.
- Omodeo P. (2001). *Alle origini delle Scienze Naturali*. Catanzaro: Rubbettino editore.
- Rombai L. (1993). *Il mondo di Vespucci e Verrazzano*. Firenze: Olschki.
- Rosen E. (1980). *Schöner Johannes*, in Gillispie C. (ed.). *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Scribner's Sons, Vol. 12, pp. 199-200.
- Schöner J. (1515). *Luculentissima quaedam terrae totius descriptio*. Nuremberg: Johannes Stuchs.
- Schöner J. (1523). *De Nuper sub Castiliae ac Portugaliae Regibus Serenissimis repertis Insulis ac Regionibus, Joanis Schöner Charolipolitani Epistola & Globus Geographicus, seriem navigationum annotantibus*. Timiripae: E. Cervicornus. [Epistola e Globo geografico di Johannes Schöner, riguardanti le isole e le regioni recentemente scoperte sotto le Serenissime Maestà di Castiglia e Portogallo, con le annotazioni di una serie di viaggi].
- Schöner J. (1533). *Opusculum geographicum, ex diversorum libris ac cartis summa cura et diligentia collectum, accommodatum ad recenter elaboratum ab eodem Globum descriptionis terrenae*. Nürnberg: Johann Petreius. [Opuscolo geografico, raccolto con somma cura e diligenza da libri e carte differenti, accomodato ad un Globo elaborato di recente dalla stessa descrizione della Terra].
- Schöner J. (1551). *Opera mathematica Ioannis Schoneri Carolostadii in unum volumen congesta*. Nuremberg: in officina Ioannis Montani & Ulrici Neuber.
- Van Duzer C. (2010). *Johann Schoener's Globe of 1515: Transcription and Study*. Philadelphia: American Philosophical Society.

# **A dozen formulations of quantum mechanics: a mutual comparison according to several criteria**

Antonino Drago, formerly at Naples University “Federico II” - drago@unina.it

*Abstract:* In the literature there exist more than a dozen formulations of quantum mechanics, their number being different according to what one means for ‘formulation’. Scholars have suggested some interpretative categories of this variety of formulations; these categories are compared to the two dichotomies – on the kind of infinity and the kind of a theory organization – which are here considered as the foundation of a scientific theory. A general interpretative framework is obtained. By means of all these categories the above mentioned formulations are classed. Most of these formulations share the Newtonian choices for the actual infinity and the deductive organization. The few formulations based on the alternative choices are recognized; they include the first one, i.e. Heisenberg’s, and the recent Bub’ one.

*Keywords:* Quantum mechanics. Formulations. Interpretative categories of formulations. Basic dichotomies. Non-deductive organization. Intuitionist logic. Constructive mathematics,

## **1. The basic ambiguity of the present theory of quantum mechanics**

In the following I will investigate on the foundations of theoretical physics, by avoiding to deal with contemporary philosophy of quantum mechanics which someone evaluates as a ‘much-malignant discipline’. (Jagannathan 2002, p. 1272)

No physical theory in the past was so accurately adequate to the reality as quantum mechanics (QM). Indeed, no discrepancy between a quantum phenomenon and a theoretical prevision is detected. Moreover, notwithstanding representing a radical philosophical change with respect to classical theories, QM resulted to be a stable theory along almost a century. Yet, several scholars were unsatisfied of its theoretical construction. In particular Albert Einstein has launched the celebrated attack: ‘God does not play to dice’. As an authoritative scholar puts it: “According to Feynman, nobody really understands quantum mechanics. By this I think he means that nobody understands why nature has chosen to compute probabilities in a so strange way”. (Gudder 1988, p. XII) Some year later he added:

Although quantum mechanics is over 90-year old, it still contains many perplexing mysteries. As evidence for the dissatisfaction with the subject, there are [...] [several] approaches to the foundations of quantum mechanics [...] Why are

researchers in this field so discontent that they are continually manipulating its fundamental axioms? There are several reasons for the present state of flux. Although quantum mechanics has been eminently successful and has made many correct and precise predictions, we still lack a deep understanding of its foundations. Quantum mechanics, as it now stands, consists of a cookbook of seemingly *ad hoc* rules and recipes. We do not really understand where these rules come from and why they work, but must simply accept them on blind faith. If progress has to be made, we must obtain a deeper grasp of the subject.

[...] because of its lack of a rigorous foundation quantum mechanics has its logical problems as demonstrated by the plague of infinities and divergences in quantum fields theory. Quantum mechanics at present cannot adequately explain and describe the plethora of “elementary” particles, nor has a successful theory of quantum gravity been developed. It must be granted that towards these ends, quantum chromodynamics, quantum gauge theory, and superstrings theory are being intensely pursued. However, despite these efforts, these theories have exhibited very little predictive power. (Gudder 1992, pp. 15-16)

One may add some more unsatisfactory aspects of this so admirable theoretical construction.

1. Likely the theory of mechanics, this theory may be formulated in several ways, but this variety of formulations is disconnected from the variety of formulations of the previous theories. In particular, classical physics includes some formulations which are well-known alternatives – in the sense that the most basic notions and techniques are the opposite ones – to the dominant ones. Indeed, there exists a clear alternative formulation to Cartesian optics – i.e. in a first time Christian Huygens’ one and the Clerk Maxwell’s one –; there exists a clear formulation which is an alternative also to Isaac Newton’s mechanics – i.e. Gottfried Leibniz–Lazare Carnot’s one (Drago 2004) –; there exists a clear alternative formulation to the phenomenological thermodynamics – i.e. Constantin Carathéodory’s one. Yet, in QM no alternative formulation to the dominant one (Schroedinger-Dirac-Von Neumann in Hilbert space) of my attempts is recognised.<sup>1</sup>
2. Since the logical laws are at variance in the different kinds of logic, no theoretical physicist has to ignore to which logic he is obeying. Yet, the question of which kind of logic is appropriate to QM was investigated only after the accomplishment of the theory. In the year 1936 QM was declared the first physical theory governed by a non-classical logic (Birkhoff, von Neumann 1936); yet, this great novelty did not lead to discover a corresponding formulation of QM.

---

<sup>1</sup> Actually QM born through Heisenberg’s matrix mechanics, which for a short time remained the alternative one to Schroedinger wave mechanics [On this episode see the accounts by Beller (1983) and Giannetto (1997)]. Yet, both have been considered as included in the most general formalism of the at present dominant theory.

3. The mathematics of quanta is of course discrete; yet, the dominant formulation of QM is based on a continuous framework prolonging the traditional mathematical physics. From the viewpoint of the dominant formulation all seems to have passed as if the unexpected discovery of the quanta was a path accident, which had to be repaired as soon as possible. Instead, in 20th Century Mathematics the discrete approach was widely developed and formalized (Bishop 1967) and new scientific theories have built according to it (one for all, computer theory).
4. Although the indeterminacy principle is the essential reason for introducing a new theory with respect to the classical physics, most textbooks locate it at the end of the theoretical development of QM, as if it was a measurement question only. In this way Janos von Neumann's paradox – i.e. the theory is composed by two parts which are mutually incompatible; one part concerning the unperturbed system and the other part the perturbed system (Drago 1991b) – is kept away in the far horizon.
5. Erwin Schroedinger, Paul Dirac and Janos von Neumann formulated QM according to the traditional mathematical technique, i.e. the differential equations. Their mathematical framework, Hilbert space, is an *a priori*, abstract framework claiming to obtain a mathematical omniscience. An alternative mathematical technique is symmetry. (Barut 1986) Yet, since the year 1925 Hermann Weyl tried unsuccessfully to build QM by means of symmetries. (Weyl 1928; Drago 2000) Eventually in the '60s, the symmetry technique was no more considered a "pest" and hence was widely used by theoretical physicists as much as, if not more than differential equations. However a formulation of quantum mechanics directly based on symmetries is still lacking.
6. By coming back from QM to classical mechanics through the limit  $h \rightarrow 0$  one obtains the Hamilton-Jacobi formulation only. This fact proves that the various formulations of a same physical theory – in this case, classical mechanics – are inequivalent with respect to the kind of mathematics and hence the kind of language. Thus, in order to understand QM by starting from classical physics, a theoretical physicist would have to a priori decide which formulations of respectively classical mechanics, electromagnetism and thermodynamics are his basic ones; otherwise, the various notions about which he argues, being referred to inequivalent theories suffer radical variations in their meanings.
7. I proved (Drago 1986; Drago 1996) that according to the constructive mathematics – i.e. the mathematics rejecting the axioms appealing to the actual infinity; for ex., Zermelo's axiom – Newton's mechanics is undecidable. Then it was shown by da Costa and Doria (1991) that also the Hamiltonian mechanics is undecidable. Although one is allowed to suspect that the principles of the dominant formulation of QM – appealing to actual infinity – constitute an idealistic framework, no specific theorem was proved

as undecidable. (Billinge 1997) On the other hand, a re-formulation of QM through constructive mathematics is still lacking.

## 2. A dozen formulations of quantum mechanics

Eighty years of collective pondering on QM produced a variety of formulations – or even pictures. A recent paper listed a dozen formulations of QM, (Styer *et al.* 2002)<sup>2</sup> chosen as those formulations which may be interesting to a working theoretical physicist:

Each of these formulations can make some application easier or some facet of theory more lucid, but [one has to take in account that] no formulation produces a royal road to quantum mechanics. (Styer *et al.* 2002, p. 195, I)

They are the following ones:

1. The matrix formulation (Heisenberg);
2. The wave function formulation (Schroedinger);
3. The path integral formulation (Feynman);
4. The phase space formulation (Wigner);
5. The density matrix formulation;
6. The second quantization formulation;
7. The variational formulation;
8. The pilot-wave formulation (De Broglie-Bohm);
9. The Hamilton-Jacobi formulation.

For each of them the paper specifies:

- I. the mathematical formalism,
- II. its application to the case-studies of either one or two, or infinite particles (either bosons or fermions),
- III. a quick note on its history,
- IV. a succinct list of original references.

In a final section ('Additional issues') two more 'interpretations'-formulations are considered:

1. The many-worlds formulation (Everett);
2. The transactional interpretation (Cramer); Eventually, three 'miscellaneous issues' are declared not properly formulations;
3. The density functional theory;

---

<sup>2</sup> Previously the same review published two *Resource Letters on the various aspects of Quantum mechanics*. (DeWitt, Graham 1971; Ballentine 1987)



4. The consistent histories;
5. Continuous spontaneous localization.

Some more formulations may be suggested. ‘Physics Stock Exchange’ adds to the previous ones the new ones: 15. PT symmetric quantum mechanics; 16. Superoperator formulation. I add: 17. Strocchi’s based on C\* algebra. (Strocchi 2005)<sup>3</sup>

### 3. The categories for classifying the various formulations

The motivations of the authors of such formulations range from a radical operativism – “Shut up and calculate!” (Mermin 1989, p. 9) – to the introduction of physicist’s consciousness or even the application of the anthropic principle. Since these extreme motivations are of a philosophical nature – although presented in physical clothes –; their examination involves to consider both theoretical and philosophical aspects.

Some scholars tried to class them according some foundational differences. Wikipedia article is interesting also because it classes the listed formulations according to the following 9 questions: Determinist? Wavefunction real? Unique history? Hidden variables? Collapsing wavefunctions? Observer role? Local? Counterfactual definiteness? Universal wavefunction exists? Notice that the nature of these questions are not only technical, but also philosophical.

It is well-known that Einstein suggested two categories for analysing a formulation of QM: Realism and Completeness. To them the subsequent debate on the foundations of QM added: Local realism and Determinism. I will call them ‘Einstein’s categories’. I define these four categories as best I can through the definitions offered by the current literature.

*Completeness*: “No theoretical construction can yield experimentally verifiable predictions about atomic phenomena that cannot be extracted from a quantum theoretical description.” (Bohr and Heisenberg)

*Determinism*: “A theory is deterministic if, and only if, given its state variables for some initial period, the theory logically determines a unique set of values for those variables for any other period.” (Nagel 1999, p. 292) Alternatively: For every event, including human action, there exist conditions that could cause no other event (“Interpretations of quantum Mechanics” Wikipedia 2016).

---

<sup>3</sup> In Wikipedia an anonymous article ([online]. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Interpretations\\_of\\_quantum\\_mechanics](http://en.wikipedia.org/wiki/Interpretations_of_quantum_mechanics)> [data di accesso: 12/05/2016].) lists 18 *interpretations* of “both the formalism and the phenomenology” of QM, each described in few lines. Since the definitions of “interpretation” and “formulation” are not the same, one has to expect that the new list differs from the former one. Indeed, it does not include eight of the previous formulations: 1, 3-7, 9 and 12 whereas it adds the following ones interpretations: 18. Ensemble interpretation; 19. Relational quantum mechanics; 20. Elementary cycles; 21. Transactional interpretation; 22. Stochastic mechanics; 23. Von Neumann-Wigner consciousness; 24. Participatory anthropic principle; 25. Many minds; 26. Quantum logic; 27. Quantum information theory; 28. Modal interpretations of quantum theory; 29. Time symmetric theories.

*Realism*: “The material objects exist in themselves, apart from the mind’s consciousness of them”. (Heisenberg 1958, p. 100) The minimal realism: Any scientific theory should be interpretable as a mind-independent description of the world. (Johansson 2007, p. 15)

*Local realism*: This principle is the combination of the principle of locality with the ‘realistic’ assumption that all objects must objectively have a pre-existing value for any possible measurement before the measurement is made. The principle of locality is defined as follows: There is no way that two systems can interact with each other ‘instantaneously’ at a distance (i.e. faster than light). An object is influenced directly only by its immediate surroundings [through actions operatively determinable] (Interpretations of ... ); One more definition is the following one: A local realist theory is one where physical properties [of microscopic world] are defined prior to and independently of measurement, and no physical influence can propagate faster than the speed of light. In other words, measurements do not betray us.

A further suggestion came from (Caponigro 2010, chp. IV). He suggested to class the formulations according to two dichotomic categories, i.e. the different ways allowed to “explain the observer and the underlying physical reality once established at ontic level”: Realism/Idealism, Ontic/Epistemologic. By considering them as a two-dimensional diagram, several formulations are represented as points aligned along a straight line.

#### **4. The categories of the two basic dichotomies. The mutual comparison of all the above interpretative categories**

In previous papers I presented two dichotomies as constituting the foundations of theoretical physics: 1) The dichotomy on the two kinds of infinity in mathematics, or evenly, the formal dichotomy of either the classical mathematics freely appealing to the actual infinity (AI), or the constructive mathematics based on the potential infinity only (PI). 2) The dichotomy on the kinds of the theory organization – either the deductive organization (AO), or the problem-based organization (PO) whose ideal model was defined by a previous paper –, or evenly, the formal dichotomy of either the classical logic or the intuitionist logic. Two theories differing in their basic couples of choices, are defined as incommensurable. (Drago 1991a; Drago 2014)

Can the above mentioned two dichotomies interpret and summarize the previous multitude of categories? A strategy may be to perform a specific analysis of each formulation in order to decide its basic choices; then to compare it with the above categories. But this analysis is very difficult, since may involve all the theoretical aspects of a formulation; let us recall that to decide the idealistic nature – the appeal to AI in the basic notions and techniques – of Newton’s mechanics required a long time and even more time was required for deciding the idealistic nature of its mathematics (chaos, undecidabilities). (Drago 1986; Da Costa Doria 1991) Hence, the following determinations have to be considered as a work in progress. An alternative strategy is to compare directly the two dichotomies with the above categories. Even this comparison

is difficult for two reasons. First, the categories – for instance, Einstein’s four ones – are variously defined. Second, the physicists suggested categories through notions which almost all belong to the objective realm; a sharp correspondence between them and the two dichotomies, which instead refer to the structure of a theory, is not easy. However this strategy constitutes at least as a first attempt. However, no surprise if the correspondences suggested in the following are partially founded and not sharply defined.

The choice PO is of a global nature; i.e. it implies the capability to consider at once all the phenomena useful to the solution of its basic problem; hence it means ‘Completeness’ in a sense very similar to the common definition in QM.

A deductive theory, i.e. a theory choosing AO, is entirely determined by few axioms developed according to classical logic; hence the ‘Determinism’ may be considered as an allusion to AO.

The choice PI means in physical terms the choice of operativism; hence it may be intended as alluded by the *Realism*, as previously defined.

The choice AI may be intended as physicists’ capability to fully determine the properties of the infinitely small, hence the capability to manage them through a mathematics relying on the AI; in fact, in the dominant formulation of QM the choice AI includes Dirac’s delta – i.e. the adjunction of an ideal mathematical element for rounding the basic notions – and Hilbert’s space – whose functions include also the most sophisticated ones. Hence, the mathematical appeal of AI corresponds to the ‘Local realism’.

The correspondence with Caponigro’s dichotomic categories seems equivalent to the previous ones. Provided that Idealism is intended as mathematical idealism, his ‘Realism and Idealism’ may be intended as respectively PI and AI. The correspondence between Ontic/Epistemologic with AO/PO is loose, because the former notions are of philosophical nature only. Yet, a sharp correspondence appears when the Ontic is intended as the Newton’s one, i.e. a theory deduced (AO) from metaphysically certain principles; and the Epistemologic is intended at a methodological level, just what is a theory PO, aimed to find out a new method for solving a general problem. In sum, the correspondences are the same of the Einstein’s four, apart the different coupling two by two of the four categories.

Two of the latter ones of the 9 Wikipedia questions concerns the same subject of the two of Einstein’s categories – Deterministic, Local [realism] – and hence their correspondence of the two basic dichotomies with the choices AO and AI have been already established. It is difficult to establish a correspondence between the remaining two choices PO and PI and Wikipedia questions because the latter ones correspond to a manifestly different viewpoint from that of the basic choices. The result is the following one (In *Italic* are the attributions which I consider as certain): *Determinist*: AO. *Wavefunction real*: AI, since it attributes a reality to unknown beings. Unique history (PI?). *Hidden variables*: PI, inasmuch as it wants to recuperate the operativism of classical physics (or also AI?). Collapsing wavefunctions: AI (?). *Observer’s role*: it destroys the idealistic illustration offered by an AO theory, hence, PO. *Local (realism)*: AI. Counterfactual definiteness: PO (vs. AO?). *Universal wavefunction exists*: AO.

The following table summarises the above attributions.

Basic choices	AI	PI	AO	PO
Einstein's categories	Idealistic mathematics (Local realism)	Operativism (Realism)	Determinism	Completeness
Wikipedia's classification criteria	Local, Real wavefunction, Collapsing wavefunction	Hidden variables, Unique history	Determinist, Existence of a universal wavefunction	Observer's role Counterfactual determination

**Table 1.** Mutual comparison of three kinds of Categories

### 5. Applying a foundational viewpoint in order to classify the various formulations

The previous correspondences help the task of attributing to each formulation of QM its dichotomic choices. This attribution is decided on the basis of the direct observation on its most apparent mathematical and organizational aspects, its summary description in the literature and mainly its classifications in both Wikipedia and Caponigro's classifications of all the formulations according their categories. I take in account the formulations of QM listed by Styer *et al.*, yet I add Bub's formulation (Bub 2005) since it is a recent instance of formulation based on the alternative choices.

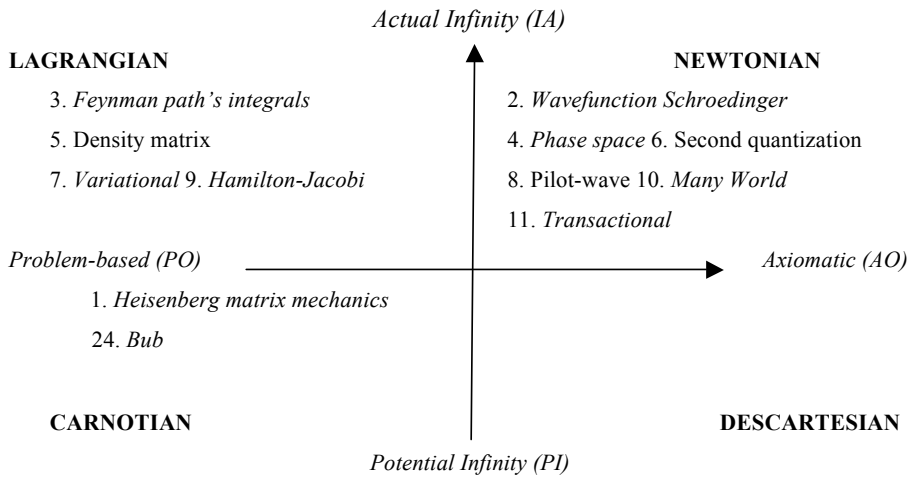
IA: 2., 3. (integral of all paths), 4. (idealistic phase space distribution), 5. (?), 6. (idealistic creation and annihilations), 7., 8., 9., 10., 11..

IP: 1., 24., 25..

AO: 2., 4. (a priori phase space distribution), 5. (a priori density matrix), 6. (?), 8. (causality), 10., 11., 25..

PO: 1., 3., 7., 9., 24..

As a global result these formulations appear to be distributed in the following way on the windrose graphic representing the four MSTs.



The unequal distribution over the four quadrants has to be stressed. However, it is a remarkable fact that the alternative quadrant to that of the dominant formulation is not void and rather it includes, as one could expect, Heisenberg' matrix mechanics.

## References

- Ballentine L.E. (1987). "Resource letter IQM-2: Foundations of quantum mechanics since the Bell inequalities". *American Journal of Physics*, 55, pp. 785-794.
- Barut A.O. (1986). *Symmetry and dynamics. Two distinct methodologies from Kepler to supersymmetry*, in Gruber, B., Lenczewski L. (eds.), *Symmetry in Science II*. New York: Plenum P., pp. 37-50.
- Beller M. (1983). "Matrix Theory Before Schrodinger: Philosophy, Problems, Consequences". *Isis*, 74, pp. 469-491.
- Billinge H. (1997). "A Constructive Formulation of Gleason's Theorem". *Journal of Philosophical Logic*, 26, pp. 661-670.
- Birkhoff G., von Neumann J. (1936). "The logic of quantum mechanics". *Annals of Mathematics*, 37, pp. 823-843.
- Bishop E. (1967). *Foundations of Constructive Analysis*. New York: Mc-Graw Hill.
- Bitbol M. (1991). *Perspectival Realism and Quantum Mechanics* in Lahti P., Mittelstaedt P. (eds.), *Symposium on the foundations of modern physics 1990*. Singapore: World Scientific.
- Bub J. (2005). "Quantum Mechanics is About Quantum Information". *Foundations of Physics*, 35, pp. 541-560.
- Caponigro M. (2010). "Interpretations of Quantum Mechanics: A critical survey". *Prespacetime Journal*, 1, pp. 745-760.

- Da Costa N., Doria F.A. (1991). "Undecidability and Incompleteness in Classical Mechanics". *International Journal of Theoretical Physics*, 30, pp. 1041-1073.
- DeWit B.S., Graham R.N. (1971). "Resource Letters IQM-1 on the interpretations of Quantum Mechanics". *American Journal of Physics*, 39, pp. 724-738.
- Drago A. (1986). *Relevance of Constructive Mathematics to Theoretical Physics*, in Agazzi, E. et al. (eds.), *Logica e Filosofia della Scienza, oggi*. Bologna: CLUEB, vol. II, pp. 267-272.
- Drago A. (1991a). *Le due opzioni*. Molfetta BA: La Meridiana.
- Drago A. (1991b). *Alle origini della meccanica quantistica: le sue opzioni fondamentali*, in Cattaneo G., Rossi A. (a cura di), *I fondamenti della meccanica quantistica. Analisi storica e problemi aperti*. Cosenza: Editel, pp. 59-79.
- Drago A. (1996). "Mathematics and alternative theoretical physics: The method for linking them together". *Epistemologia*, 19, pp. 33-50.
- Drago A. (2000). "Which kind of mathematics for quantum mechanics? The relevance of H. Weyl's program of research", in Garola A., Rossi A. (eds.), *Foundations of Quantum Mechanics. Historical Analysis and Open Questions*. Singapore: World Scientific, pp. 167-193.
- Drago A. (2014). "Einstein's 1905 'Revolutionary' Paper on Quanta as a Manifest and Detailed Example of a 'Principle Theory'". *Advances in Historical Studies*, 3(3), pp. 130-154.
- Einstein A. (1905). "Ueber einen die Erzeugung der Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristisch Gesichtspunkt". *Annalen der Physik*, 17, pp. 132-148; reprinted in Stachel J. (ed.) (1989), *Collected Papers of Albert Einstein*. Princeton: Princeton U.P., vol. 2, pp. 149-165.
- Giannetto E. (1997). "Note sulla rivoluzione della meccanica delle matrici di Heisenberg, Born e Jordan e sul problema dell'equivalenza della meccanica di Schroedinger", in Tucci P. (a cura di), *Atti del XVII Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*. Milano: Università Milano, pp. 199-208.
- Gudder S.P. (1988). *Quantum Probability*. New York: Academic Press.
- Gudder S.P. (1992). "A new formulation of quantum mechanics". *International Journal of Theoretical Physics*, 31, pp. 15-29.
- "Interpretations of quantum Mechanics" Wikipedia [online]. (URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Interpretations\\_of\\_quantum\\_mechanics](http://en.wikipedia.org/wiki/Interpretations_of_quantum_mechanics)) [data di accesso: [15/05/2016]].
- Johansson L.G. (2007). *Interpreting Quantum Mechanics: A Realistic View in Schrödinger's Vein*. Burlington: Ashgate.
- Jordan F. (1985). *Quantum Mechanics in Simple Matrix Form*. New York: Wiley & Sons.
- Mermin N.D. (1989). "What's Wrong with this Pillow?". *Physics Today*, 42(4), p. 9.
- Nagel E. (1999). *The Structure of Science*. New York: Hackett.
- Strocchi F. (2005). *An Introduction to the Mathematical Structure of Quantum Mechanics*. Singapore: World Scientific. Advanced Series in Mathematical Physics, Vol. 27.
- Styer D.F. et al. (2002). "Nine formulations of quantum mechanics". *American Journal of Physics*, 70, pp. 288-297.

# On the various historical accounts on statistical mechanics

Antonino Drago, formerly at Naples University “Federico II” - drago@unina.it

*Abstract:* The theory of statistical mechanics attracted the attention of the historians of Physics since it was innovative with respect to the Newtonian paradigm. A review of all past historical accounts is presented. Owing to the supervenience of a deeper insight on the foundations of such a theory, the previous historical appraisals result to be no more adequate. Hence, this case-study constitutes a stumbling block for interpreting the history of Physics of the times after Newton’s mechanics. A new account according to a new foundational viewpoint is here sketched. Contrarily to what the founders and the subsequent historians of physics thought, this theory results to be relied upon Lazare Carnot’s mechanics, which is incommensurable with Newton’s mechanics.

*Keywords:* Statistical mechanics, Historical accounts, Boltzmann, Foundations, Models of scientific theory, New historical account, Carnot’s mechanics

## 1. Introduction

Which physical theory as first marks a radical change with respect to Newton’s theory? According to the mainstream opinion in history of Physics, the new non-Newtonian theory which born as first, thermodynamics, was a so phenomenological theory – a ‘Baconian’ theory, as it was evaluated by Kuhn (1977) – to be at all inadequate for a comparison with the glorious Newtonian theoretical paradigm. The subsequent electromagnetic theory seemed to agree with the Newtonian paradigm, because Maxwell has founded it according to a model of mechanical vortices and subsequently he has derived it from the Lagrangian function, which, according to most scholars, is a merely technical prolongation of the Newtonian paradigm. It was thus the theory of statistical mechanics (StM) which through Boltzmann’s efforts for suggesting a new theoretical framework – including the phenomenological thermodynamics –, has represented a so decisive change with respect to the Newtonian paradigm to eventually prepare – according to an accredited opinion – essential parts of quantum mechanics, i.e. the subsequent theory of quanta and then the quantum statistics.

Past studies on the history of StM have exhausted the first phase of a historical investigation, i.e. to collect all relevant historical materials. Moreover, the subsequent several historical descriptions of the main events did not present important

discrepancies. Instead, no common agreement exists among the accounts on the historical development of StM.

They are analysed by the present paper. I leave aside the externalists accounts as in influencing the present debate and also the accounts suggested before the recognition of the existence of the molecules by Perrin in the year 1908.

## **2. Internalist historical accounts whose focus is a conflict: Boltzmann as a scientific champion**

According to the externalist historians the history of science is determined by social conflicts aimed to gain the political power. Also some internalist historians have conceived the history of science as determined by conflicts, in this case of scientific nature. Surely, in the history of Physics the birth of StM has ignited several disputes. First of all, about the atomistic view; furthermore about other divergences from the Newtonian paradigm: hard/elastic bodies, the conservation of energy or not, the introduction of probability in physics, the incredibly disordered motion of innumerable particles, the notion of reversibility/irreversibility, the notion of entropy, the direction of time.

One of the first historical accounts<sup>1</sup> of StM is Brunschvige's one. (Brunschvige 1922, pp. 365-376) He recalls negative Comte's appraisal on the atomic hypothesis of kinetic theory of gases (KTG), and even more on the use of probability. The positivistic philosopher had evaluated this theory "as one of those purely speculative exercises which resulted only in postponing and obstructing [my] reform of physics philosophy".

Brunschvige considers this opposition as an 'anthropocentered dogmatism'. (Brunschvige 1922, p. 371) But oddly enough, Brunschvige seems to be reluctant to accept the subsequent victory of the atomic hypothesis; he considers that this theory was decisively proved not only owing to Perrin's evidence, but also owing to StM's introduction of the notion of probability, which subsequently produced useful results in science.

Since Boltzmann has intended his researches as a fight against contrary scientific opinions, some internalist historians of StM gave emphasis to his attitude; they have attributed to him a revolutionary role. Dugas' account (Dugas 1959) manifests this motivation through the title of his book, i.e. he wants to re-evaluate Boltzmann's works in order to encourage – through an historical example of a previous conflict in which a scientific minority eventually won – the contemporary minoritarian interpretation of quantum mechanics; just for this aim the preface is written by de Broglie, who supported an 'heterodox' interpretation of quantum mechanics.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Surely, the first relevant account was Ehrenfest (1911). However, it represents more an analysis on the foundational issues than an accurate historical account. (Klein 1978, p. 120)

<sup>2</sup> One more follower of this historiographic attitude is Hiebert (1971). It is curious that fifty years later, Renn (2008) has reiterated the same program, without mentioning the precedent studies and moreover without taking in account the new result of Bell's inequalities, which has radically changed that program which in



### 3. Kuhn's historical account of StM

Three historians – Koyré, Kuhn and Lakatos – have suggested new methods for studying the History of Physics. But few scholars attempted to apply these methods to specific case-studies.

Koyré's method is not directly applicable to the theories born after Newton's mechanics.<sup>3</sup> Kuhn (1969) was unable to apply his method – illustrated by his sketchy history of classical physics –, to the history of modern physics. Indeed, he had planned a book on the history of quantum mechanics. However, in the course of his preparatory work, he bounded its subject to the initial period of its development, i.e. the birth of quanta. (Kuhn 1978, Preface) Even in his particular case he renounced, with a great deception of the readers of this previous book, to make use of his interpretative notions (paradigm, anomaly, revolution, etc.).

However, Kuhn's new book had to deal with StM. His account is new and is one of the most relevant accounts. In particular, he attributes to Boltzmann a decisive role for the birth of the quanta. But he left open some questions. He recognises in Boltzmann's work some decisive failures. (Kuhn 1978, pp. 36-66)

Boltzmann several times has attempted to prove a continuous passage from mechanics to StM, in particular about the notion of entropy, which is the most divergent notion from the Newtonian paradigm. A crucial Kuhn's problem is to evaluate these attempts: Is the notion of entropy an essential innovation with respect to the Newtonian paradigm? Or, does this notion result – according to Boltzmann's plan – from a continuous theoretical passage? It is apparent that Kuhn remains in doubt because his account does not solve the following dilemmas: Has Boltzmann inconsistently made use of his theoretical tools, or was his work a scientific revolution, anticipating the further revolution of the birth of quantum mechanics, together with the quantum statistics? In the latter case, through which steps Boltzmann's revolution of StM was accomplished?

### 4. The debate about the applications of Lakatos' programs of research

Two scholars (Elkana 1974; Clark 1976) have applied to Boltzmann's program Lakatos' interpretative method of the programs of scientific research.<sup>4</sup>

---

quantum mechanics is considered as a prosecution of Boltzmann's, i.e. the program of discovering the hidden variables of quantum mechanics.

<sup>3</sup> However, a relevant attempt to follow Koyré's method is declared by Scott. (1970, pp. V and XIV) This author analyses the contemporary environment of KTG's scientists. (Scott 1970, in particular ch. XII)

<sup>4</sup> A scholar remarked that "the gist of Lakatos's argument is the following. There are four major theories of rationality of scientific progress – each provides a theoretical framework for the rational reconstruction of the history of science [...] . A. Inductivism – its internal history is alleged discoveries of hard facts and indicative generalizations. B. Conventionalism – its internal history is factual discoveries and the erection of pigeon-hole systems (theoretical networks). C. Falsificationism – its internal history depicts bold conjectures, improvements, and great negative crucial experiments. D. Methodology of Scientific Research Programmes (MSRP) – its internal history depicts the possibly never-ending rivalry...". (Elkana 1974, p. 245) These four theories parallel the four models of a scientific theory which will be presented in sect. 6; respectively:

Brush has summarised these results:

Yehuda Elkana (1974) [...] claimed that Boltzmann himself changed his views in the 1890s and no longer considered meaningful the question whether atoms really exist. [...] Peter Clark (1976) argued that Boltzmann's original research program was "degenerating" after 1880 and therefore that it was reasonable (by Lakatosian criteria) for [the other] scientists to abandon it in favour of the rival programme based on macroscopic thermodynamics even though Boltzmann's programme had to be revived after the 1900 when the thermodynamic programme proved to be inadequate. (Brush 1983, p. 262)

But Nyhof (Nyhof 1988) has contested Clark's conclusions. He claimed that some philosophical objections were decisive for leading most scientists to disbelieve in and then abandon StM. Another historian, through a more accurate appraisal on the philosophical attitudes of the prominent founders of StM as well as more documentary novelties about the crucial role played by the specific heat anomaly, has suggested

that in this episode science and philosophy were much more interconnected [than it is commonly suspected] and that [either Boltzmann's or Maxwell's] philosophy also influenced the internal development of [this] science. (de Regt 1996, p. 32) [Hence] both Clark and Nyhof fail to capture the complexity of actual theory (de Regt 1996, p. 60) [since] the scientific development of the kinetic theory of gas [read: StM] cannot be understood without taking in account the role of philosophy. (de Regt 1996, p. 31)

In conclusion, the scholars who applied Lakatos' method missed their target to adequately interpret the historical development of StM.

## 5. The fragile foundations of StM

After a long period in which historical accounts have all appraised positively Boltzmann's work, some scholars have contested this common view.

A recent review of the status of art is offered by Uffink's comprehensive paper. (Uffink 2004) He remarks that there is no agreement among the different accounts on Boltzmann's works, who in fact 'pursued many lines of thought', most of which generated treatments which are mostly incomplete. (Uffink 2004, sect. 1.3)

Even about the more general subject of the foundations of StM at present time there exists a 'dozen or so different schools' and moreover the present foundations are inaccurate. A scholar wrote:

In statistical mechanics particularly, precision is an elusive goal. It is safe to say that a major portion of non-trivial results in statistical mechanics has been derived from inconsistent formulations. (Grad 1967, p. 49)

---

PO&PI, AO&PI, PO&AI, AO&AI. According to this parallelism Lakatos has closely approached the four models of a scientific theory, although in the particular case of the dynamical process of theory-research.

A more recent paper added:

The first thing to say is that one comes away from this collection [of papers] with the impression that the conversation about the foundations of statistical mechanics is still very much in its infancy; there seems to be no general and stable consensus among the investigators represented here even about how some basic statistical-mechanics terminology is to be understood, or about what the central foundational problems of statistical mechanics are, or about what might or might not count as solving them. (Albert 2010)<sup>5</sup>

No surprise if past historians of StM followed divergent research directions. Uffink (2004) classed them in three groups (the scholars marked with \* are added by myself):

1. Authors describing Boltzmann as a brilliant and conclusive researcher: Externalist ones\*, Dugas\*, Renn\*.
2. Authors biased by prejudice, or confusing, or misguiding: von Plato, Lebowitz, Kac, Bricmont (1996), Goldstein.
3. Critics: the two Ehrenfest, Brush, Klein, Truesdell and Muncaster, Sklar\*. (Uffink 2004, sect. 1.2)

I leave aside those authors who in some way did not centre the subject for rather taking in account the “critics” only: Ehrenfests, Truesdell and Muncaster, Sklar\*. I quickly summarize their criticisms as follows.

After an investigation on the theory through sophisticated mathematical tools, Truesdell, Muncaster (1980) list four “open questions”:

1. Do there exist and are unique the positive, classical solutions of the Maxwell-Boltzmann equation?
2. Which assumptions for the asymptotic trend to a grossly determined state?
3. Which interpretation of the H-Theorem and which bearing on the trend to equilibrium?;
4. Which asymptotic status of the Stokes-Kirchhoff theory? (Truesdell, Muncaster 1980, pp. 559-565)<sup>6</sup>

At the end of a detailed philosophical analysis on the problems arising from the introduction of probability in theoretical physics – i.e. the statistical explanation, the

---

<sup>5</sup> Lavis (1977) suggests an interesting, comprehensive graphic. He characterizes the inner structure of StM through four levels: 1° The mechanical system, considered either as a system with a large number of degrees of freedom or as an incompletely specified system. 2° The probability theory, considered under either a scientific viewpoint or a logical viewpoint. 3° The various methods: ergodic, ensemble, evolution, ignorance. 4° The microcanonical distribution, the canonical distribution, the thermodynamics system. (Lavis 1977, p. 256)

<sup>6</sup> One more radical criticism is the following one: “the molecular scheme employed... is not consistent with the principle of the Newtonian mechanics. [...] *Maxwell assumptions regarding the molecular motions contradict the laws of analytical mechanics.* [...] [This scheme] is a consequence neither of classical mechanics nor of the axioms of probability theory”. (Truesdell, Muncaster 1980, pp. 102-103)

ergodic hypothesis, the inner asymmetry, the reduction of thermodynamics to statistical mechanics, the direction of time –, Sklar's authoritative book concludes:

Anyone who has followed the debate from the days of Maxwell and Boltzmann to the present cannot but help be struck by the way in which the fundamental problems of the theory – the problems posed by its original discoveries and by the brilliant early critics – have remained as deep puzzles for over a century. Attempts at solving the profound quandaries at the foundations of statistical mechanics have led to some of the most innovative conceptual developments in physics. Furthermore, whole rich branches of mathematics, such as Ergodic Theory in all its present general glory, have been inspired by the need to find the right language and the right basic postulates to deal with the fundamental issues that arise when probabilistic reasoning is applied to the dynamics of systems. Yet despite the richness of the resources that have been developed and despite the immense clarification of the issues that has been obtained, the most basic questions of the explanatory accounts to be offered for the fundamental probabilistic posits of the theory and for the appearance of statistical temporal asymmetry in the world remain. (Sklar 1999, p. 420)

[...] it is the author's view that many of the most important questions still remain unresolved in very fundamental and important ways. (Sklar, 1999, p. 413)

As a particular case, there exist four different limits of StM to thermodynamic. (No mention of this variety of limits by the handbooks, maybe in the aim to present a quick reduction of thermodynamics to the Newtonian mechanics).

Yet, Brush has contested this kind of presentation:

[...] one often encounters the claim "thermodynamics has been reduced to statistical mechanics". I consider it quite misleading. Thermodynamics is the science that deals with general relations between the thermal and mechanical energy of substances whose special constitutive properties are assumed to be known [...] a theoretical calculation of the equation of state from statistical mechanics is not a derivation of reduction of thermodynamics itself. [...] Yet this is what many philosophers present as the only concrete justification for the claim [...] So far I have not found any philosophical discussion of the reduction of *thermodynamics* to statistical mechanics except for the problem of irreversibility, where the time asymmetry implied by the second law of thermodynamics is in question. Perhaps this is because the reduction is so far only a program, not a fact. But the philosophers of science do not seem to be familiar with the work that has actually be done in this area, in the 19<sup>th</sup> century and recently. (Brush 1983, p. 260-261)

All these criticisms support de Regt's appraisal, already remembered in the above; without putting the right questions – the main task of a philosophy of StM – is not possible to have a satisfying account on the history of the StM. (de Regt 1996)

I conclude that no previous historical account adequately covers the novelty of StM with respect to the Newtonian paradigm.

## **6. A new appraisal through two basic dichotomies**

In the historiography of Physics the interpretation of the history of StM, as a theory which is manifestly different from Newton's mechanics, represents a failure of not only the externalist historians of physics, but also the 'new historiographers'. Among the contributions of the latter ones, Kuhn's book on the black body theory represents the most relevant account on StM, although he did not apply his celebrated categories (Kuhn 1969) and moreover his conclusions are uncertain.

The new historiographers suggested a great interpretative power, but their various and spontaneous philosophical bases resulted to be capable to recognize neither an alternative theory to the Newtonian paradigm (not even the chemistry), nor a historical discontinuity before the year 1900, notwithstanding in 1962 Kuhn had announced scientific revolutions.

I suggest to study the history of StM through more complex but also more detailed categories. In previous writings I presented two dichotomies – respectively on the two kinds of infinity and the two kinds of organization of a theory – as the basic categories for a new interpretation of history of physics. (Drago 2001; Drago 2016)

Let us now recognize the basic choices of the Newton's mechanics. Its mathematics makes use of actual infinity (AI) and its organization deduces all laws from few principles-axioms (AO). Instead thermodynamics relies on an elementary mathematics, which makes use of potential infinity only (PI). By having a different basic choice (on the kind of mathematics), mechanics and thermodynamics are mutually 'incommensurable'; this phenomenon is manifested by the radical variations in meaning of the common basic notions. Hence, Boltzmann has compared two incommensurable theories. Lodschmidt's celebrated objection deals with rather than the notion of irreversibility, the essential incommensurability of the two theories, as it is manifested by the radical variation in the meaning of the basic notion of the time, either the continuous time or the after-then time.

Boltzmann's attention to the finite methods in mathematics led him to consider the choice PI as the most appropriate one. (Dugas 1959, pp. 25-29) This choice gives the same incommensurability as before; it gives reason for the great difficulties met by Boltzmann; he unnoticed to be dealing with radical variations in the meanings of several (mathematical) notions; for cause he tried several investigation paths for obtaining the wanted results.

StM relies on a mathematics which does not make essential use of AI. (Moreover it has an axiom-principle organization (AO), since is derived from a formulation of mechanics. Yet, StM's choice is for the alternative organization, i.e. the problem-based one (PO), when the theory is considered as the suggestion of a new method for reducing thermodynamics to a mechanical theory, or when the notion of probability is considered a basic methodological principle). Again its choice on the kind of mathematics differs from Newton's one. No surprise if its basic choices are very different from the Newtonian ones. (Drago, Saiello 1995, p. 117, Tables no.s 2 and 3) The ignorance of this incommensurability gives reason of the great difficulties of the philosophical investigations on StM, as remarked by de Regt.

Rather, already at the end of 18<sup>th</sup> Century Newton's theory had lost the monopoly of theoretical physics; the birth of Huygens-Leibniz-L. Carnot's (HLC) formulation of mechanics (together with Lagrange's one) has represented a crisis of the Newtonian paradigm. Later, in the middle of the 19<sup>th</sup> Century the birth of the KTG according to HLC's theory (Drago 2016) has deepened this unnoticed crisis. Hence, the reference formulation of mechanics for the notions and techniques of StM is L. Carnot's mechanics rather than Newton's.

Through considerations on chemistry's foundations, in a previous paper I has obtained Koyré's categories covering the classical theories which are alternative to Newton's mechanics, in particular L. Carnot's one: "Evanescence of the force-cause and discretization of the matter." (Drago 2001) It is manifest that these categories adequately interpret the basic notions of StM as well its theoretical attitude; hence StM is at variance with Newton's mechanics. Instead, historians of physics recognized in StM a mere prelude of the next crisis of quanta.

I conclude that since have ignored L. Carnot's formulation, past historical accounts are all defective, wrong or even misleading, exactly as previous critics of historiographies of StM independently concluded.

## References

- Albert D.Z. (2010). *Notre Dame Philosophical Reviews*, in Ernst G., Huetteman A. (eds.). *Time, Chance and Reduction. Philosophical Aspects of Statistical Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press [online].  
URL: <<https://ndpr.nd.edu/news/24477-time-chance-and-reduction-philosophical-aspects-of-statistical-mechanics/>> [access date: 15/05/2016].
- Bricmont J. (1996). "Science of Chaos and Chaos in Science", in Gross P.R., Levitt N., Lewis M.W (eds.), *The Flight from Science and Reason*. New York: New York Academy of Science, pp. 131-175.
- Brunschvicg L. (1922). *L'expérience humaine et la causalité physique*. Paris: Alcan.
- Brush S.G. (1976a). *The Kind of Motion we call Heat*. Amsterdam: North-Holland.
- Brush S.G. (1976b). "Irreversibility and Indeterminism: Fourier to Heisenberg". *Journal of History of Ideas*, 37, pp. 603-630.
- Brush S.G. (1980). *Statistical Mechanics and the Atomic Theory of Matter, from Boyle and Newton to Landau and Onsager*. Princeton: Princeton U.P.
- Clark P. (1976). "Atomism vs. Thermodynamics", in Howson, C. (ed.), *Method and Appraisal in Physical Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 41-105.
- de Regt H. (1996). "Philosophy of the Kinetic Theory of gases". *British Journal for the Philosophy of Science*, 47, pp. 31-62.
- Drago A. (1990). "I quattro modelli della realtà fisica". *Epistemologia*, 13, pp. 303-324.
- Drago A. (2001). "The several categories suggested for the "new historiography of science": An interpretative analysis from a foundational viewpoint". *Epistemologia*, 24, pp. 48-82.

- Drago A. (2012). *I quattro modelli della teoria meccanica*, in Toscano M., Giannini G., Giannetto E. (a cura di), *Intorno a Galileo: La storia della fisica e il punto di svolta Galileiano*. Rimini: Guaraldi, pp. 181-190.
- Drago A. (2016). *The kinetic theory of gas was unwarily derived from Huygens-Leibniz-Carnot's formulation of mechanics*, in *Atti del Congresso Sisfa 2013* (to appear).
- Drago A., Saiello, P. (1995). *Newtonian mechanics and the kinetic theory of gas*, in Kovacs L. (ed.), *History of Science in Teaching Physics*. Szombathély: Studia Physica Savariensia, pp. 113-118.
- Dugas R. (1959). *La Thérodynamique au sens de Boltzmann*. Neuchâtel: Griffon.
- Elkana Y. (1974). *Boltzmann's scientific reaserach program and its alternatives*, in Elkana Y. (ed.), *The interaction Between Science and Philosophy*. Atlantic Highlands NJ: Humanities P., pp. 243-279.
- Ehrenfest P., Ehrenfest T. (1911). *Begriffliche Grundlagen der Statistische Anfassung in der Mechanik* in *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften vol. 4, pt 32*. (Leipzig: Teubner). English translation (1959) *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics*. Ithaca, NY: Cornell University.
- Goldstein S. (2001). *Boltzmann's approach to Statistical Mechanics*, in Bricmont J., Durr D., Galavotti M., Petruccione F., Zanghi N. (eds.), *Chance in Physics. Foundations and Perspectives*. Berlin: Springer, pp. 39-54. Lect. Notes in Physics no. 574 [online]. URL: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/0105242>> [data di accesso: 15/05/2016].
- Grad H (1967). *Levels of description in Statistical Mechanics and theory*, in Bunge, M. (ed.), *Delaware Seminar in Philosophy of Science*. Berlin: Springer, pp. 49-76.
- Hiebert E.N. (1971). *The Energetic Controversy and the New Thermodynamics*, in Roller D.H.D. (ed.), *Perspective in the History of Science and Technology*. Norman: U. Oklahoma P., pp. 67-86.
- Kac M. (1979). *Probability, Number theory, and Statistical physics: Selected papers*. Cambridge MA: MIT Press.
- Klein M.J. (1973). *The Development of Boltzmann's Statistical Ideas*, in Cohen E.G.D., Thirring W. (eds.), *The Boltzmann's Equation*. Wien: Springer, pp. 53-106.
- Kuhn T.S. (1969). *The Structure of the Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago U.P..
- Kuhn T.S. (1977). *Mathematical and experimental traditions in the development of the physical sciences*, in Kuhn T.S. (1977), *The Essential Tension*. Chicago: Chicago P., pp. 31-65.
- Kuhn T.S. (1978). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity*. Oxford: Clarendon P.
- Lebowitz J.L. (1999). "Statistical Mechanics: A selective review of two central issues". *Reviews of Modern Physics*, 71 (2), pp. 346-357.
- Mendoza E. (1961). "A Sketch for a History of the Kintetic Theory of Gases". *Physics Today*, 14, pp. 36-39.
- Nyhof J. (1988). "Philosophical Objections to the Kinetic Theory". *British Journal for the Philosophy Science*, 39(1), pp. 81-109.
- Plato J. von (1991). "Boltzmann ergodic Hypothesis". *Archive for the History of exact Sciences*, 42(2), pp. 71-89.

- Renn J. (2008). *Boltzmann and the end of the mechanistic worldview*, in Gallavotti G., Reiter W.L., Yngvason J. (eds.). *Boltzmann's Legacy*. Zurich: European Mathematical Society Publishing House, pp. 7-23.
- Sklar L. (1993). *Physics and Chance. Philosophical Issues in the Foundations of Statistical Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Truesdell C. (1961). *Ergodic theory in classical statistical mechanics*, in Caldirola, P. (ed.). *Ergodic Theories*. New York: Academic Press, pp. 21-56.
- Truesdell C., Muncaster, R.G. (1980). *Foundations of Maxwell's Kinetic Theory of Gas*. New York: Academic Press.
- Uffink J. (2004). *Boltzmann's Work in Statistical Physics*, in Zalta, E.N. (ed.). *Stanford Encyclopaedia of Philosophy* [online]. URL: <http://plato.stanford.edu/entries/statphys-Boltzmann/> [data di accesso: 15/05/2016].



# Al microscopio con gli occhi di Drude nella didattica della conduzione elettrica

Giuseppe Fera - Università di Udine - giuseppe.fera@uniud.it

*Abstract:* The Drude model is a high point in physics inquiry on electrical properties of metals and acts as a bridge not only between history and education but also between physics and chemistry raising important issues: What are the constituent particles of a metal? How we can describe their state and interactions? How we can conceptually connect the macroscopic laws of Ohm, Joule, Kirchhoff to microscopic processes?

An analysis in the framework of Model of Educational Reconstruction (Duit *et al.*, 2012) answers these questions by addressing: a) the common sense knowledge and the spontaneous conceptions of students; b) the clarification of the relationship between particles properties and processes with macroscopic physical quantities such as current, field, energy; c) the current in metals in terms of electric force on charge carriers.

*Keywords:* Drude model, physics education, electrical conduction

## 1. Le prime teorie sulla conduzione nei metalli e il modello di Drude

Le ricerche che affrontano nel quadro della fisica classica la questione del trasporto della carica elettrica nei solidi, in particolare nei metalli, iniziano con W. Weber a metà Ottocento e culminano nel 1900 con la formulazione del modello di Drude. Secondo Whittaker (1953), la teoria atomistica di Weber non aveva consentito progressi nella comprensione della conduzione nei metalli. Mancava un quadro teorico unitario nel quale ricondurre la diversa fenomenologia osservata: la conduzione della corrente secondo le leggi di Ohm del 1827, il riscaldamento Joule di un metallo percorso dalla corrente trovato nel 1848, l'effetto termoelettrico rilevato da Seebeck del 1822 e Peltier del 1834, l'effetto Hall del 1879, la relazione tra conducibilità elettrica, termica e temperatura stabilita dalla legge di Wiedemann e Franz del 1853.

Weber (1846-1848) riteneva che 'atomi elettrici' costituissero sia la materia che l'etere e utilizzava questa visione come base per spiegare tutti i fenomeni elettrodinamici in termini di interazioni tra atomi elettricamente carichi che agiscono a distanza. (Wilson 1953) Egli immagina che gli atomi di un metallo sono instabili e che particelle cariche sono continuamente espulse e riassorbite da esse ma non fa alcun tentativo di determinare i parametri fisici delle particelle (massa, dimensione, ecc.). Thomson nel 1888 propose una visione della corrente nei metalli come una serie di scariche intermittenti, dovute alla ridisposizione dei costituenti interni alle molecole.

Nonostante il prestigio di Thomson, i ricercatori all'epoca optavano per una diversa ipotesi, che gli interstizi tra gli atomi dei metalli fossero occupati in ogni istante da uno sciame di particelle, dotate di carica elettrica, in rapido movimento. In particolare Riecke nel 1898, sulla base della teoria degli ioni nella conduzione elettrolitica (Arrhenius 1887) e della teoria di Weber, assume la presenza nel metallo di differenti specie di particelle (con cariche positive e negative per rendere conto delle misure del coefficiente di Hall che in materiali come Zn indicavano la presenza di portatori di carica positivi), libere di muoversi negli interstizi tra gli atomi come le particelle di un gas. (Riecke 1898)

Nel 1900 Paul Drude semplifica e precisa alcuni aspetti del modello di Riecke, utilizzando la teoria elementare del trasporto per derivare le proprietà elettriche, termiche, ottiche dei metalli e ottenendo un migliore accordo con i risultati sperimentali. (Drude 1900) Egli propose che l'energia cinetica dei portatori di carica liberi fosse proporzionale alla radice quadrata della temperatura assoluta, assimilando i portatori di carica alle molecole di un gas perfetto classico. Anche Thomson aderì a questa ipotesi, avanzando l'idea che particelle con carica di segno diverso giocassero un differente ruolo nella conduzione, quelle positive solidali alla struttura del metallo e quelle negative, identificate come elettroni, in libero movimento nel metallo. Un convincente esperimento a sostegno dell'ipotesi di Drude e Thomson fu condotto da Tolman e Stewart nel 1916. Esso consiste nel misurare l'impulso di corrente suscitato dal rapido arresto di un disco metallico rotante ad alta velocità. (Tolman, Stewart 1916) Drude distingue in un metallo elettroni liberi e legati riconoscendo la presenza degli ioni reticolari e applica la teoria cinetica classica dei gas agli elettroni di conduzione del metallo, trattando le interazioni con gli ioni reticolari come urti tra molecole di un gas ideale. (Clausius 1857)

In accordo con quanto ipotizzato da Drude sullo stato di agitazione termica degli elettroni di conduzione in un metallo, Johnson (Johnson 1928) misura in un resistore con  $R=0,5 \text{ M}\Omega$  una corrente con valore medio nullo che però presenta una fluttuazione dell'ordine di 10 pA. Trova anche che la corrente misurata dipende dalla temperatura del resistore. La fluttuazione della corrente in un resistore non alimentato indica che gli elettroni responsabili della conduzione all'interno di un metallo sono in movimento caotico, come le particelle di un gas.

Tenendo presente che in assenza di tensione applicata al conduttore, il campo elettrico mediato sullo spazio e nel tempo è zero all'interno del conduttore (se così non fosse si avrebbero delle correnti in assenza di energia per sostenerle) Drude descrive le interazioni tra elettroni e ioni reticolari come urti tra sfere rigide. In una versione moderna, la dinamica può essere modellizzata dalla seguente equazione:

$$m \frac{dv}{dt} = -eE - m \frac{v}{\tau}$$

per il moto di un elettrone di conduzione di massa  $m$ , carica  $e$  in un filo metallico ove è presente un campo elettrico di intensità costante  $E$ . In questa equazione il termine  $-eE$  rappresenta la forza elettrica, mentre il termine  $-mv/\tau$  rappresenta la forza viscosa

dovuta alla interazione con gli ioni reticolari. Il parametro  $\tau$  esprime appunto il tempo libero medio dell'elettrone, ossia il tempo che in media intercorre tra un urto ed il successivo.

Questa equazione implica che, dopo un transiente di durata trascurabile, il moto dell'elettrone di conduzione è rettilineo uniforme nella direzione del campo (ma con verso opposto) con una velocità di deriva  $v_d$  espressa da:

$$v_d = -eE\tau/m.$$

È possibile interpretarla come una relazione causale tra campo elettrico (ovvero tensione,  $E=V/L$ ) e velocità di deriva (ovvero corrente,  $I/A=env_d$ , essendo  $n$  la concentrazione degli elettroni di conduzione). Se la si riscrive nella forma:

$$I/A = e^2 n \tau / m (V/L)$$

se ne deducono le due leggi di Ohm  $I=V/R$ ,  $R=\rho L/A$ . Si riconosce immediatamente che la grandezza  $\rho$  indica la resistività del materiale espressa in termini dei parametri microscopici:

$$\rho = m / ne^2 \tau.$$

Questa espressione per la resistività elettrica di un metallo fu ricavata per la prima volta da Drude nel 1900 e viene usata ancora oggi. (Lipperheide *et al.* 2001; Mizutani 2003; Chudnovsky 2007; Horng *et al.* 2011)

Uno dei maggiori successi della teoria di Drude fu la giustificazione teorica della legge di Wiedemann e Franz (Fig. 1) dove Drude ricondusse la costante che compariva in tale legge alle costanti fisiche fondamentali (costante di Boltzmann e carica dell'elettrone).

**Sind nur einfache Kerne vorhanden, deren Ladung  $\pm e$  ist, so folgt:**

$$(20) \quad \frac{k}{\sigma} = \frac{4}{3} \left( \frac{\alpha}{e} \right)^2 T,$$

*d. h. es folgt das Wiedemann-Franz'sche Gesetz, dass das Verhältnis beider Leitfähigkeiten eine universelle Constante ist. Dieselbe ist proportional der absoluten Temperatur.*

**Fig. 1.** Dal lavoro originale di Drude (1900)

A tale scopo Drude assunse che la velocità di deriva fosse la media aritmetica delle velocità di un elettrone tra un urto e il successivo (Fig. 2).

Bei Wirkung einer Kraft  $X$  in einem beliebig langen Zeitraum fliegt also der Kern im Mittel so, als ob zu seiner unregelmässigen Geschwindigkeit  $u_1$  dazu käme eine dauernde  $x$ -Componenten seiner Geschwindigkeit, welche ist:

$$(12) \quad u_x = \frac{1}{2} e_1 X \frac{\tau_1}{m_1}.$$

Fig. 2. Dal lavoro originale di Drude (1900)

Si tratta di un errore che fu corretto da Lorentz (1905), peggiorando però l'accordo della teoria di Drude con i dati sperimentali. Tuttavia il modello di Drude è alla base dell'interpretazione moderna del legame metallico, come fu riconosciuto da un chimico importante come G. N. Lewis in un articolo pubblicato nel 1913. (Jensen 2009) Inoltre Drude spiega l'elevata riflettività dei metalli alle frequenze ottiche. Analizzando la risposta del gas elettronico ad un campo elettrico sinusoidale di frequenza  $\omega \gg 1/\tau$ , egli determina per l'indice di rifrazione l'espressione:

$$n^2(\omega) = 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2, \quad \omega_p = \frac{4\pi n e^2}{m}$$

che caratterizza la risposta ottica del metallo in termini di riflessione, trasmissione, assorbimento. La transizione dal comportamento completamente riflessivo (con  $\omega < \omega_p$ ) alla trasparenza (con  $\omega > \omega_p$ ) fu osservata nei metalli alcalini nel 1933. (Born *et al.* 1975)

## 2. Le diverse concezioni della conduzione elettrica nei metalli

Spesso l'insegnamento della fisica nelle scuole secondarie è inteso in senso trasmissivo di idee e principi generali, poco correlati ai fenomeni di base ed alle problematiche interpretative: ciò conduce gli studenti ad acquisire nozioni in modo mnemonico, in disaccordo con la necessità formativa di tipo scientifico, in cui la costruzione di conoscenze è basata sull'evidenza sperimentale e su pratiche scientifiche, quali la costruzione e l'impiego di modelli interpretativi della fenomenologia stessa. Non sempre viene riconosciuta l'importanza di esplicitare e discutere le idee spontanee degli studenti ai fini della costruzione di un solido apprendimento scientifico. Affrontare i ragionamenti degli studenti con consapevolezza della ricostruzione storica dell'impostazione interpretativa della fenomenologia può contribuire al superamento delle concezioni spontanee.

Molte ricerche mostrano che nel campo della conduzione elettrica gli studenti, anche alla fine del corso di studi, possono mantenere le loro concezioni alternative rispetto alla visione scientifica. Mulhall, McKittrick e Gunstone (Mulhall *et al.* 2001) riscontrano confusione tra carica elettrica vista come fluido o sostanza oppure come sinonimo di particella (elettrone, ione, ecc.). Gli studenti, come i primi studiosi,

tendono ad utilizzare modelli distinti per la carica elettrica: a) un fluido, b) composta da entità particellari che agiscono a distanza. La didattica deve affrontare il nodo dell'integrazione di questi modelli. La visione della carica come fluido continuo, alla base dell'opera di Maxwell, è riportata nei manuali in uso nelle scuole secondarie italiane. Tuttavia la carica elettrica, dal punto di vista fisico, ha una natura discreta che pone notevoli difficoltà: a) l'ipotesi di una struttura spazialmente estesa dell'elettrone lascia aperto il problema della stabilità; b) l'ipotesi di un elettrone puntiforme conduce alla divergenza fisicamente inaccettabile del campo elettromagnetico (problema dell'auto-energia dell'elettrone). Questo dilemma sarà superato nella descrizione quantistica di campi e particelle ad opera di Feynman (1949), ma va considerato anche nella pratica didattica ordinaria, in particolare quando nella scuola secondaria si affronta l'elettrolisi. Si riscontrano concezioni non in accordo con la visione scientifica; gli studenti affermano che: "la corrente elettrica produce gli ioni in soluzione durante l'elettrolisi". (Schmidt *et al.* 2007) Nel dibattito sull'origine degli ioni nella soluzione elettrolitica prevalse lentamente l'idea (Arrhenius 1887) che gli ioni esistessero prima del passaggio della corrente.

Gli studenti possono vedere la carica dell'elettrone come grandezza variabile in quanto la proprietà di caricarsi/scaricarsi dei corpi macroscopici viene estesa anche ad una particella elementare. Alla base di questa visione sta il contrasto tra tutta la fenomenologia osservata dell'elettrizzazione dei corpi macroscopici ed il concetto di carica elettrica come grandezza intrinseca delle particelle.

Le idee degli studenti sulle interazioni elettroni-reticolo mostrano che essi adottano il quadro di riferimento a loro familiare della legge di Coulomb ragionando in termini locali senza tener conto degli effetti globali di sovrapposizione dei campi di tutte le particelle presenti nel metallo. Essi quindi riutilizzano le conoscenze dell'elettrostatica come una lente deformante nell'interpretazione dei processi.

I ragionamenti degli studenti sullo spostamento della carica possono essere: "le cariche si spostano da dove ce n'è di più a dove ce n'è di meno". (Barbas, Psillos 1997) Alla base di questa idea c'è una visione matematica formale del potenziale elettrico utilizzando la quale gli studenti non riescono a stabilire relazioni significative dal punto di vista fisico tra tensione e corrente elettrica. Il quadro storico delle ricerche fisiche sulla natura della corrente elettrica svolte nell'800 evidenzia una situazione analoga.

Per quanto riguarda il legame metallico, studenti universitari, piuttosto che ragionare nella prospettiva del gas di elettroni liberi, costruiscono spontaneamente un modello di come gli atomi divengano donatori di elettroni: "I. non ci sono elettroni liberi prima di attaccare la batteria; II. l'energia della batteria spinge gli elettroni fuori dall'atomo, permettendo loro di muoversi nel filo conduttore". (Fera 2014)

Quindi gli studenti non considerano le proprietà del legame metallico, ma si concentrano sul comportamento del singolo atomo. Nella stessa ottica gli studenti spesso ritengono che gli elettroni di conduzione di un metallo siano fermi in assenza di corrente. (Wittman *et al.* 2002) La valenza didattica dell'esperimento di Johnson del 1928 per affrontare le concezioni spontanee degli studenti è stata evidenziata in Fera (2014).

### 3. Conclusioni

Il modello di Drude consente di esprimere la resistività di un metallo in funzione della carica, della concentrazione, della massa e del tempo libero medio dei portatori di carica. Pur essendo fondato sulla fisica classica, il modello descrive le proprietà elettriche dei conduttori metallici alimentati in corrente sia continua che alternata; esso fornisce, inoltre, una interpretazione della dipendenza della resistività dei metalli dalla temperatura. Può essere utilizzato per ottenere il valore del coefficiente di Hall e quindi per interpretare il moto orbitale dei portatori liberi di carica nei metalli in presenza di un campo magnetico.

Nella didattica, il modello di Drude può essere utilizzato per la sua semplicità concettuale, come preliminare per introdurre modelli fisici più completi e predittivi. Esso integra coerentemente la descrizione macroscopica della conduzione nei metalli basata sulle grandezze tensione/corrente con la visione particellare della materia. Infatti interpreta la resistività come manifestazione macroscopica dei processi di interazione tra elettroni di conduzione e reticolo ionico, chiarisce l'origine fisica della legge di Ohm in termini di una relazione causale campo elettrico-velocità di deriva dell'elettrone e chiarisce, infine, l'origine fisica della legge di Joule in termini di trasferimento di energia nelle interazioni elettroni-reticolo. Per queste caratteristiche consente di superare la visione locale degli studenti, come viene riconosciuto in letteratura. (Eylon, Ganiel 1990; De Posada 1997; Chabay, Sherwood 1999; Wittmann *et al.* 2002; Hart 2008) Esso consente di introdurre la descrizione in termini di sezione d'urto dei processi di interazione tra elettroni di conduzione e reticolo ionico, che è alla base della comprensione di fenomeni complessi come la superconduttività.

#### Ringraziamenti

Si ringrazia la prof.ssa Marisa Michelini per le utili discussioni e gli stimoli a guardare le proposte di diverso approccio al tema dal punto di vista didattico.

#### Bibliografia

- Arrhenius S. (1887). "Arbeiten über die Leitfähigkeit mit Kohlrauschs Konduktometer und Postulat der Dissoziation von Salzen in positive und negative Ladungsträger, Begründer der Dissoziationstheorie". *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 1, pp. 631-648.
- Barbas A., Psillos D. (1997). "Causal reasoning as a base for advancing a systemic approach to simple electrical circuits". *Research in Science Education*, 27(3), pp. 445-459.
- Born M., Wolf E. (1975). *Principles of optics*. New York: Pergamon Press.
- Chabay R.W., Sherwood B.A. (1999). "A unified treatment of electrostatics and circuits" [online]. URL: <<http://matterandinteractions.org/Content/Articles/circuit.pdf>> [data di accesso: 15/05/2016].

- Chudnovsky E.M. (2008). “Theory of Spin Hall Effect: Extension of the Drude Model”. *Physical review letters*, 99 (20), p. 206601.
- Clausius R., (1857). “Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen”. *Annalen der Physik*, 176 (3), pp. 353-380.
- De Posada J. M. (1997). “Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and Their Electric Conduction: Structure and Evolution”. *Science Education*, 81 (4), pp. 445-467.
- Drude P. (1900). “Zur Elektronentheorie der Metalle”. *Annalen der Physik*, 306 (1), pp. 566-613 e 306(3), pp. 369-402.
- Duit R., Gropengießer H., Kattmann U., Komorek M., Parchmann I. (2012). *The Model of Educational Reconstruction, a Framework for Improving Teaching and Learning Science*, in Jorde D., Dillon J. (ed.). *Science Education Research and Practice in Europe*. Rotterdam: Sense Publishers, pp. 13-37.
- Eylon B., Ganiel U. (1990). “Macro-micro relationship: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students’ reasoning”. *International Journal of Science Education*, 12 (1), pp. 79-94.
- Fera G. (2014). *La didattica in prospettiva verticale delle proprietà di trasporto elettrico nei solidi: i modelli microscopici partendo dalla fenomenologia*. Tesi di dottorato, Università di Udine.
- Feynman R.P. (1949). “Space-time approach to quantum electrodynamics”. *Physical Review*, 76(6), pp. 769-789.
- Hart C. (2008). “Models in Physics, Models for Physics Learning, and Why the Distinction may Matter in the Case of Electric Circuits”. *Research in Science Education*, 38, pp. 529-544
- Horng J., Chen, C.F., Geng,B., Girit,C., Zhang,Y., Hao, Z., Bechtel H.A., Martin M., Zettl A., Crommie M.F., Shen Y.R, Wang F. (2011). “Drude conductivity of Dirac fermions in graphene”. *Physical Review B*, 83 (16), p. 165113.
- Jensen W.B. (2009). “The Origin of the Metallic Bond”. *Journal of Chemical Education*, 86, pp. 278-279.
- Johnson J.B. (1928). “Thermal agitation of electricity in conductors”. *Physical Review*, 32, pp. 97-109.
- Lipperheide R., Weis, T., Wille, U. (2001). “Generalized Drude model: unification of ballistic and diffusive electron transport”. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 13 (14), p. 3347.
- Lorentz H.A. (1905). “The motion of electrons in metallic bodies III”. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Proceedings, Series B, Physical Sciences*, 7, pp. 684-691.
- Mizutani U. (2003). *Introduction to the Electron Theory of Metals*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mulhall P., McKittrick B., Gunstone R. (2001). “A Perspective on the Resolution of Confusions in the Teaching of Electricity”. *Research in Science Education*, 31, pp. 575-587.
- Riecke E. (1898). “Zur Theory des Galvanismus und der Wärme”. *Annalen der Physik*, 66, pp. 353-389 e 545-581.

- Schmidt H.J., Marohn, A., Harrison, A.G. (2007). "Factors that prevent learning in electrochemistry". *Journal of research in science teaching*, 44 (2), pp. 258-283.
- Tolman R.C., Stewart T.D. (1916). "The electromotive force produced by the acceleration of metals". *Physical Review*, 8 (2), p. 97.
- Whittaker E.T. (1953). *A History of the Theories of Aether and Electricity*. London: T. Nelson.
- Wilson A.H. (1953). *The Theory of Metals*. London: Cambridge University Press.
- Wittmann M.C., Steinberg R.N., Redish E.F. (2002). "Investigating student understanding of quantum physics: Spontaneous models of conductivity". *American Journal of Physics*, 70 (3), pp. 218-226.



# Macchine di Fisica testimoni della storia della navigazione

Laura Franchini - A.I.F e Associazione Amici di Città della Scienza  
franchinila@libero.it

*Abstract:* The history of navigation can be told with the Scientific historical instruments exposed in the naval museums. The instruments described are collected in three groups: measure instruments, control instruments and the propulsion mechanisms. The most part of them can be found in the “Naples Naval Museum” and in the “Teaching Sea Museum” of Bagnoli.

*Keywords:* Historical physics instruments, naval museums, navigation history.

## 1. Introduzione

I musei del mare, numerosi in tutto il mondo, sono conosciuti principalmente per essere la raccolta di oggetti evocativi della vita marinai come modelli di navi, brigantini d'importanza storica, esposizioni di nodi, cimeli, dipinti, diorami e carte nautiche. Accanto a questi oggetti si trovano esposte anche macchine di fisica, che sono legate alla vita di una nave e alla storia della navigazione. Saranno illustrate alcune di esse tra le più caratteristiche. Per dare un filo conduttore alla descrizione gli apparecchi sono stati raggruppati a seconda della loro funzione sulla nave, distinguendoli in:

1. ‘strumenti di misura’, come l’astrolabio, la balestriglia, il sestante, e la bussola;
2. ‘strumenti di controllo’, come igrometri, termometri, salinometri, pluviometri, scandagli, e telegrafi delle macchine;
3. ‘meccanismi della propulsione’, cioè leve, ingranaggi, caldaie, turbine ed eliche.

## 2. Strumenti di misura

Gli strumenti illustrati in questa sezione permettevano di eseguire i calcoli necessari all'individuazione della posizione della nave sulle carte nautiche, in modo da trovare le rotte più convenienti.

Con l’‘astrolabio’ in Fig. 1, noto in Grecia fin dal II secolo a.C. e perfezionato dagli arabi, si potevano eseguire più di 100 calcoli astronomici. Le parti principali

dell'astrolabio sono la madre, la lamina, la rete, il regolo o puntatore e l'alidada. La 'madre', struttura portante dello strumento, è un disco di metallo di forma circolare, la cui parte frontale è scavata in modo tale da poter alloggiare le lamine, diverse a seconda della latitudine del luogo, su ciascuna delle quali è incisa la proiezione stereografica della sfera celeste. La 'rete' ruotando sulla 'lamina' permette, attraverso le sue punte o fiamme che rappresentano le posizioni delle stelle fisse, di ottenere una sorta di mappa astrale.

Sul 'dorso' della madre si trova incisa una scala goniometrica periferica divisa in 24 parti come le ore del giorno ed altre scale che danno informazioni sulla posizione del sole, sul calendario e sulle costellazioni. L' 'alidada' a cavallo del dorso è un regolo imperniato sul centro e libero di ruotare, che porta alle estremità due pinnule con fori, usati come puntatori per fare misurazioni sia di distanze astronomiche che terrestri.

Su alcune navi, dal XV al XVIII secolo, si adoperava l' 'astrolabio nautico' composto da uno spesso cerchio metallico sul quale erano incise due scale diametralmente opposte; un' alidada munita di due traguardi permetteva di osservare gli astri e determinarne le altezze, mentre un anello girevole consentiva di tenerlo sospeso e il suo notevole peso (5-6 kg) ne assicurava la stabilità anche in presenza di vento. Per impiegarlo occorrevano tre operatori: uno sosteneva lo strumento, uno riguardava l'astro ed il terzo procedeva alla lettura. Questa procedura consentiva di ottenere una maggior precisione nella misura delle altezze. Con l' 'astrolabio nautico' partirono per le loro imprese Cristoforo Colombo, Vasco De Gama e Magellano.



**Fig. 1.** Balestriglia ed astrolabio (Copenaghen Orlogmuseum)

Nel corso del XVI secolo entrò in uso la 'Balestriglia' (Fig. 1), che per la sua semplicità soppiantò l'astrolabio. Questo strumento per misurare gli angoli, introdotto in Spagna dalla marineria turca, era costituito da un bastone lungo circa 70 cm suddiviso in parti dette 'case' a cavallo del quale si montavano a croce 3 o 4 regoli corti intercambiabili: puntando un oggetto e riguardandolo con i regoli se ne misuravano le dimensioni.

Il 'sestante', in uso dal secolo XVIII, permetterà di fare misure dell'altezza del sole rispetto all'orizzonte, in modo da evitare gli errori causati dal movimento della nave. Un sestante è costituito da un semicerchio graduato sul quale ruota un alidada solidale ad uno specchio mobile. Il cannocchiale mira lo specchio fisso semitrasparente, che fornisce simultaneamente l'immagine dell'orizzonte e quella del sole. La doppia riflessione permette di leggere sulla scala il doppio dell'angolo di elevazione del sole o

di una stella sull'orizzonte. Infatti anche se il sestante misura angoli tra 0 e 60°, come dice il nome, la sua scala è graduata in maniera doppia in modo da poter leggere direttamente il doppio dell'angolo tra i due specchi. Tavole nautiche permettono poi di ricavare la latitudine a cui si trova la nave. Fin dai primi decenni del secolo XVIII, grazie ai cronografi marini come quelli che aveva costruito l'orologiaio John Harrison, cominciò ad essere possibile la determinazione in alto mare anche della longitudine.

Data l'importanza del suo ruolo nella navigazione, la 'bussola' è uno strumento principe nei musei del mare, che ne espongono svariati modelli. Non è di questi che ci occuperemo, ma di una particolare custodia delle bussole sulle navi, che doveva proteggerle dalle vibrazioni e dai campi magnetici creati dai metalli dello scafo, cioè la 'chiesuola' (Fig. 2): una colonna di legno nella quale viene alloggiato lo strumento, mantenuto da un giunto cardanico che, grazie anche ad un sistema di molle permetteva di compensare le oscillazioni.



**Fig. 2** Chiesuola di bussola (“Museo Navale dell’Università Parthenope”)

Le due sfere di ferro una verde e l'altra rossa che si vedono ai lati della cupola della chiesuola, fissate con sostegni di ottone, un materiale amagnetico, servivano a correggere le deviazioni causate dal campo magnetico stesso della nave.

### 3. Strumenti di controllo

Le realizzazioni moderne del 'salinometro' poco hanno a che vedere con lo strumento ottocentesco in Fig. 3, che permetteva di controllare le variazioni della salinità dell'acqua, garantendo così il buon funzionamento delle caldaie.



**Fig. 3** Salinometro e telegrafo delle macchine (“Museo del mare di Bagnoli”)

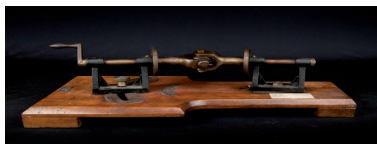
L'Indicatore di Watt e salinometro, dei costruttori "FRIEAKE & SONS, Late A.P.HOW Patent Salinometer-LONDON", come si legge sulla targa (Fig. 3), ha due scale di lettura una per la temperatura, espressa in gradi Fahrenheit THEMOMETER (160...210) l'altra per le corrispondenti variazioni volume IDROMETER: probabilmente si riempiva il cilindro di acqua bollente (circa 210F°) poi la si lasciava raffreddare (BLOW OFF) fino a 160F° (circa 70C°) e si misuravano i corrispondenti pesi specifici: la salinità si ricavava grazie a tabelle di riferimento.

Il 'Telegrafo di macchine' (Fig. 3) per decenni è stato l'unico sistema di comunicazione tra il ponte di comando e la sala macchine. Oggi ovviamente tale mezzo è stato superato dalle nuove tecnologie. È costituito da una colonna verticale sormontata da una leva e da un quadro comandi suddiviso in settori circolari da un indicatore. A ciascun settore evidenziato dall'indicatore corrisponde un comando: 'STOP' (macchine ferme), 'PRONTI' (macchine pronte a muovere), 'FINITO' (finito in macchina), 'ADAGIO' (avanti/indietro adagio), 'MEZZA' (avanti/indietro mezza forza). Ad ogni comando corrisponde una diversa potenza erogata dall'apparato propulsivo. Il telegrafo di macchina è posizionato sia sul ponte di comando che in sala macchine (sala propulsione); la posizione indica lo stato attuale della propulsione. Quando dal ponte di comando la leva viene spostata per ordine dell'ufficiale di guardia, si sposta anche l'indicatore in sala macchine segnalando la richiesta di diversa andatura. Lo spostamento della leva in sala macchine nella posizione corrispondente a quella indicata dalla plancia è segnale di conferma dell'ordine ricevuto. Attualmente il telegrafo di macchina rappresenta solo uno dei possibili modi mediante i quali, attraverso l'automazione, si può controllare l'andatura di una nave.

#### 4. I meccanismi della propulsione

Nel museo del mare di Bagnoli una sala è dedicata agli strumenti di Meccanica. Tra essi un ruolo principale giocano le 'Leve', che da più di 2.000 anni sostengono il lavoro dell'uomo. Il piano inclinato usato per facilitare il sollevamento dei carichi pesanti, è di grande aiuto sulle navi durante tutte le operazioni di carico e scarico di merci ed altro. L'Asse della ruota o verricello, è una leva costituita da due cilindri coassiali girevoli grazie ad una manovella intorno ad un asse, permette di sollevare grandi pesi con piccoli sforzi è perciò molto utile sulle navi per sollevare ad esempio ancore, scialuppe, vele o alberi. Altrettanto importanti nelle macchine sono i diversi tipi d'ingranaggio come le cremagliere e le ruote dentate che servono a trasmettere il movimento di rotazione dal motore alle eliche. Questi meccanismi erano già ben noti agli antichi, grandi ingegneri navali e costruttori di sofisticate macchine da guerra, come Erone di Alessandria ed Archimede. Tra gl'ingranaggi particolare interesse ha l'Ingranaggio snodato o giunto cardanico (Fig. 4) la cui invenzione molto antica risale almeno al III secolo a.C., quando Filone di Bisanzio, nella *Belopoietica* lo descrive chiaramente (*karkesion*) e già a partire dal IV secolo a.C., era utilizzato per puntare le catapulte. Il giunto fu riscoperto nel 1545, dall'opera *De subtilitate rerum* del matematico italiano Gerolamo Cardano (1501-1576), che sembra lo avesse elaborato studiando i movimenti

di una bussola per la navigazione marittima, fissata su due cerchi articolati. Sulla nave il giunto permette di trasmettere il moto alternativo dei pistoni all'elica.



**Fig. 4.** Snodo cardanico (“Museo del Mare di Bagnoli”)

Nel “Museo di Bagnoli” si possono vedere modelli di macchine che testimoniano l'evoluzione della tecnologia dei motori, che trasformò la propulsione della nave da quella della vela a quella del motore. La ‘Pentola di Papin’ (Fig. 4) è il più semplice esempio di macchina a vapore, anche se quella più antica che l'uomo ricordi è l'eolipila di Erone di Alessandria (III secolo a.C.). Circa un millennio dopo, nel primo decennio del XVIII secolo, Denis Papin, l'inventore della pentola pressione, per la prima volta utilizzò una macchina a vapore come propulsore di una nave. Si racconta che tale innovazione fu boicottata dai battellieri, i quali, intuendo che essa avrebbe potuto mettere a rischio il loro lavoro, incendiarono il primo rudimentale piroscampo.

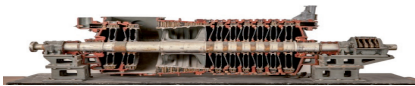


**Fig. 5.** La sala macchine con la pentola Papin

La ‘Macchina di Papin’ era costituita da un cilindro chiuso nella parte inferiore (caldaia) e comunicante con l'esterno tramite un tubo di sfiamamento (cilindro) nel quale scorreva un pistone. Quando la piccola quantità d'acqua contenuta nella caldaia veniva portata ad ebollizione, il pistone era spinto dal vapor acqueo fino in cima al tubo, dove si fermava contro un dente di arresto. Il raffreddamento del cilindro, produceva la condensazione del vapore e la produzione di un vuoto parziale sotto il pistone. La pressione atmosferica costringeva il pistone ad una rapida discesa. Il dispositivo dunque svolgeva la triplice funzione di caldaia, cilindro del motore e condensatore. Nella ‘macchina alternativa’ (Fig. 5a sinistra), chiamata così per il suo sfruttare il moto di va e vieni del pistone, queste tre funzioni saranno separate. L'inerzia del pesante volano permetterà di superare i punti morti del cilindro e produrre il moto continuo dello stantuffo. Questo movimento, prodotto dal vapore proveniente dalla caldaia (a destra Fig. 5), è trasmesso tramite l'‘albero motore’ alle eliche. Il vapore prodotto, dopo essere

stato utilizzato, può essere scaricato direttamente all'esterno oppure in un 'condensatore', per poi essere riutilizzato.

In seguito la macchina alternativa a vapore fu sostituita dalla 'turbina a vapore',<sup>1</sup> che consentiva rendimenti maggiori, grazie al sistema di convogliare un forte getto di vapore direttamente su palettature mobili, che si mettevano in rotazione. Le turbine (Fig. 6) più piccole, più leggere ed economiche delle macchine a vapore alternative di pari potenza, avevano il vantaggio di produrre direttamente un moto rotatorio, senza richiedere l'uso di alberi a gomiti o altri meccanismi per la trasformazione del moto rettilineo alternativo. Già gli antichi Greci avevano progettato ruote idrauliche mosse da getti d'aria, ed è nota l'incisione seicentesca di Giovanni Branca, che raffigura una ruota a pale messa in moto da un soffio di vapore. Le turbine a vapore sono usate ancora oggi negli impianti industriali e in alcune navi.



**Fig. 6.** Spaccato di turbina ("Museo del mare di Bagnoli")

Dopo l'avvento dei motori, l'elica si rivelò il propulsore più vantaggioso, perché poco sensibile alle differenze di immersione, come lo era invece la vecchia ruota, ed inoltre si poteva collocare a poppa in modo da essere protetta dal mare mosso e dagli urti. L'elica doveva essere un organo intermediario, che avrebbe trasformato il lavoro prodotto dal moto rotatorio dell'albero motore in variazione della quantità di moto del fluido, che per il principio di azione e reazione generava la propulsione dello scafo.

La storia dell'invenzione dell'elica è complessa: tra i suoi primi ideatori ci sono Archimede, che aveva inventato la famosa vite, e Leonardo che aveva proposto di montare un tipo di elica, come quelle che disegnava per le sue macchine volanti anche sulle navi. Durante i primi trent'anni secolo XIX furono progettate eliche delle forme più svariate da quelle a pale ad altre a vite, ma all'ingegnere austriaco Giuseppe Ressel si deve la sua messa in opera. Uno dei primi modelli di elica, che egli aveva disegnato nel 1812, era con un'unica pala che riproduceva il contorno di una superficie elicoidale, e ricorda poco le pale delle eliche attuali. Ressel nel 1826 chiese il brevetto austriaco per la sua elica e lo ottenne nel 1827. Grazie al brevetto l'ingegnere riuscì nel 1828 a stipulare un contratto per la costruzione di un vaporetto ad elica, che si sarebbe chiamato Civetta ed che avrebbe collegato Monfalcone con l'Istria. Purtroppo qualcosa andò storto, nel 1829, proprio nella prima uscita della nave davanti alla commissione governativa: l'esplosione di un tubo della caldaia impedì la prosecuzione dell'esperimento. Ma ormai l'invenzione era nota ed altri avevano cominciato a sperimentare l'uso delle eliche sulle navi. Nel 1849 una gara di 'tiro alla fune' tra due navi di uguale potenza, ma una a ruota ed l'altra ad elica, dimostrò definitivamente la

<sup>1</sup> Il nome deriva dal fatto che fu utilizzata per la prima volta da Parsons nel 1894, sul cacciatorpediniere Turbinia famoso per la sua velocità.

convenienza dell'elica per le applicazioni navali. Nel “Museo Tecnico dell'Industria” di Vienna sono oggi conservati i disegni di Ressel acclusi alla sua richiesta di brevetto, in cui viene indicato che “l'elica andava sistemata a poppa completamente sommersa, l'albero motore tenuto in posizione orizzontale con possibilità di utilizzare due eliche, la grandezza dell'elica andava commisurata alla forza della macchina e alla grandezza della nave”. [L'elica navale]

Risultati eccezionalmente visionari per un'epoca nella quale era ancora sconosciuto il fenomeno della ‘cavitazione’, che può danneggiare le eliche e rallentare la nave. La “Österreichische Nationalbank” ha ricordato Giuseppe Ressel, emettendo nel 1905 una banconota di 500 scellini recante il suo ritratto e il disegno del “Civetta”. [Sala Ressel]

### **Bibliografia**

- Franchini L. (2010). *Strumenti antichi e storia della scienza in alcune realtà museali napoletane*, in Mantovani R. (a cura di), *Atti del XXX Congresso Nazionale della Società Italiana di Storici della Fisica e dell'Astronomia* (Urbino 30 giugno-3 luglio 2010). Urbino: Argalia Editore, pp. 383-388.
- Riccio A. (a cura di) (2009). *Musei del mare, acquari e collezioni per la conservazione e valorizzazione del patrimonio marino in Campania*. Napoli: Regione Campania.
- Russo L. (2001). *La rivoluzione dimenticata*. Milano: Feltrinelli.
- Scamardella A. (2010). *Museo Navale dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope*. Napoli: Rogiosi editore.

### **Sitografia**

- [L'elica navale]. URL: <<http://www.cherini.eu/cherini/eliche/elica.html>> [data di accesso: 1/05/2016].
- [Sala Ressel]. URL: <<http://www.museodelmaretrieste.it/?s=ressel>> [data di accesso: 1/05/2016].





# Entropy from Clausius to Kolmogorov: historical evolution of an open concept

Emilio Marco Pellegrino - Università di Torino - emiliomarco.pellegrino@unito.it

Elena Ghibaudi - Università di Torino, Dip. di Chimica - elena.ghibaudi@unito.it

*Abstract:* This communication is focused on a survey of entropy definitions that highlights the multifaceted nature of this basic concept. In literature there are more than 40 definitions, corresponding to distinct formal objects sharing a common name whose physical meanings strictly dependent on the disciplinary contexts wherein they were conceived. A historical contextualization of some paradigmatic entropy definitions helped to understand the origin of such epistemological plurality: entropy stands out as an “open concept” that underwent (and undergoes) a continuous evolution under the influence of socio-economic and cultural elements.

*Keywords:* Entropy Classification, Clausius, Gibbs’ Free Energy, H Theorem, Communication Theory

## 1. Introduction

Entropy has an elusive character, well expressed by von Neumann’s stunning statement: “Nobody knows what entropy really is, so in a debate you will always have the advantage”. (Tribus *et al.* 1971) Irony aside, this provocative statement suggests the polysemous character of the term ‘entropy’ as well as a variability of meanings that can be related with distinct disciplinary contexts.

Driven by von Neumann’s provocation, we undertook a survey of entropy’s definitions found in the literature, with the double purpose of attempting a classification and a historical contextualization of such definitions. We spotted five main categories, referring to distinct disciplinary domains.

As for as the historical analysis of the entropy concept is concerned, we focused on the timeslot ranging from 1860s to 1960s. Within that period, we identified the following steps, based on technological and scientific arguments:

- I. Clausius’ thermodynamics, strongly pushed by the need of improving steam engine’s efficiency;
- II. the “second industrial revolution”, marked by the industrial chemistry birth;
- III. the foundational research at the beginning of the ‘*nouveau siècle*’;
- IV. post 2<sup>nd</sup>-world war period, marked by computers diffusion and Communication Theory development.

We sustain that entropy stands as an open concept still undergoing evolution: the starting point of such progressive path may be identified with 1865 Clausius' definition of entropy, but the final point – provided that it exists – remains undetermined. In the next sections we will give a synthetic presentation of these issues.

## 2. Attempting a Classification

As soon as one undertakes an investigation on entropy, it comes out that entropy is not a monolithic concept – as it could appear at a first sight: this single term hides a multitude of diverse formal objects belonging to different disciplinary domains. (Čápek *et al.* 2005) In order to handle this plethora of definitions, we attempted a classification aimed at facilitating a critical analysis of the existing relationships among these many functions. We finally managed to identify five categories, conceived on disciplinary basis, and consequently run a logical classification of 'entropies' based on some paradigmatic cases, as reported in Table 1.

First we spotted a 'physical entropy' category, gathering all functions whose definition directly refers to truly physical instances. This is the case of Clausius' original definition (Clausius 1867), but it also concerns contemporary entropy functions such as Gyftopoulos' and Beretta's. (Gyftopoulos *et al.* 1991)

A second set is represented by functions conceived within the context of an axiomatic approach to the Second Law: this is the case of Carathéodory (Carathéodory 1909), Lieb-Yngvason (Lieb *et al.* 1999) and Tsallis (Tsallis 2002) entropies. We refer to these functions as 'mathematical entropies' as they stand as formal parameters, whose physical meaning is not evident.

In his 1948 paper, Shannon (1948) defined a function (that he named entropy) as foundational element of his Mathematical Theory of Communication.

We have classified as 'informational entropies' those functions (such as Shannon's, Kolmogorov's and Fisher's (Pellegrino *et al.* 2016) related to Communication Theory.

Within the frame of density matrix formalism, Von Neumann conceived a quantum entropy function. (Čápek *et al.* 2005) Following Von Neumann's idea, other authors such as Daóczy, Rényi, Hartley and Segal (Čápek *et al.* 2005) defined similar functions that we classified as 'quantum entropies'.

Finally we named 'statistical entropies' those statistical defined inside statistical-mechanics formal systems (e.g.: Gibbs' and Boltzmann's).

CATEGORY	DEFINITION	PARADIGMATIC CASES <sup>1</sup>
physical entropy	Experimentally measurable macroscopic entity, including Clausius' function that represents the transformation content (Verwandlungsinhalt) of thermodynamic systems	Clausius, Gyftopoulos, Beretta
mathematical entropy	Formal instance, including all definitions referring to the axiomatic formulations of thermodynamics Second Law	Caratheodory, Lieb-Yngvason, Tsallis
informational entropy	Mathematical functions related to the Theory of Communication	Shannon, Fischer, Kolmogorov
statistical entropy	Functions defined inside the diverse Statistical Mechanics' formal systems	Boltzmann, Gibbs
quantum entropy	The original variant was outlined by von Neumann with reference to the Density Matrix formalism; it can be seen as a measure of the "purity" of an arbitrary quantum state	Von Neumann, Daoczy, Renyi, Hartley, Segal

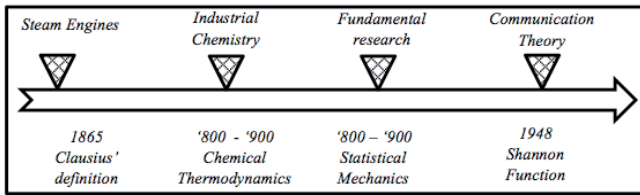
**Table 1.** Classification of entropy definitions

Such a systematic approach highlights that multiple entropy definitions are definitely not a pure linguistic issue. In fact, distinct entropic functions belong to truly different disciplinary domains. This is particularly evident when considering two extreme examples, such as Clausius' physical entropy and Shannon's informational entropy. Faced to this huge disciplinary multiplicity, we have decided to address our investigation towards the use of history as a connecting platform. In the next section we show how this choice allowed us to trace back a sort of historical *fil rouge* that eases the interpretation of entropy's ontological plurality.

### 3. History as a cognitive vehicle

The historical perspective whereby the epistemic analysis of entropy was pursued exploits history as an effective cognitive vehicle. The Entropy concept has been followed alongside an ideal time arrow displaying from 1860s to 1960s: within this period, we identified four major milestones, pictorially represented in Fig. 1.

<sup>1</sup> Author's names are used to label the corresponding entropic functions



**Fig. 1.** Relevant Scientific and technological milestones taken into account in the timeslot ranging from 1860s to 1960s

The ‘added value’ of this approach is impressive. Entropy appears to be a still in-progress concept, undergoing an evolution: the starting point of such progressive path may be easily identified, whereas the final point – provided that it exists – remains undetermined. From a complementary perspective, entropy can be considered as a very “reactive” concept that absorbs features of the scientific-socio-historical context and responds to specific needs. Apart from these general insights, the results of our historical investigation are briefly reported in the following subsections.

### 3.1. Clausius’ entropy: the beginning of the story

Clausius’ definition of entropy, reported in his Ninth and last memoir (Clausius 1867), is the conclusion of a 15-year-long cognitive process that led to an exploitable mathematical expression of the Second Law. (Pellegrino *et al.* 2015) Clausius’ contribution historically belongs to the tradition of 19<sup>th</sup> century thermodynamics sparked off by Carnot’s famous paper (Carnot 1897), whose aim was to face the problem of improving heat engines’ efficiency. Carnot figures out the economic importance of steam engines for a leading country, such as England at that time, in this hyperbolic passage:

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 1897, p. 40)

Müller argues that the economic pressure exerted by 19<sup>th</sup>-century industrial needs – emerging from a dominant steam engine technology – actually oriented early thermodynamics research. More precisely, he points out that entropy emerged “in the context of the engineering proposition”. (Müller 2007, p. 47)

It is worth reporting and briefly commenting the truly original entropy definition provided by Clausius:

$$dS = \frac{dH}{dt} + dZ \quad (1)$$

This definition was given in terms of two pre-modern quantities – disgregation  $dZ$  and the internal heat  $dH$  – whose meaning was to be found within an archaic microscopic model of heat developed by Clausius.<sup>2</sup> This new quantity – the entropy – allowed Clausius to reformulate his “second fundamental theorem extended to non-cyclic process”:

$$\frac{dH + dQ}{T} + dZ \quad (2)$$

and obtain the famous inequality, that is a mathematical representation of the Second Law:

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad (3)$$

The final step of Clausius’ work on entropy was to provide an exploitable way to determine this quantity by integrating the Second Law for reversible transformations:

$$S = S_0 + \int \frac{dQ}{T} \quad (4)$$

### 3.2. Entropy and Industrial Chemistry

The second half of the 19<sup>th</sup> century was marked by profound socio-economical changes, as the industrial landscape saw the transition from plants fuelled by steam engines to chemical and electric industry. As far as chemical industry is concerned it is worth mentioning the paradigmatic case of indigo industrial synthesis. In 1897 the German chemical corporation “Badische Anilin und Soda Fabrik” (BASF) launched synthetic indigo on the market after a 30-year-long industrial research. As reported by Cerruti (2003), this event had at least a double relevance. First, it represented a prototype of industrial research – achieving the transition from the laboratory desk to a production plant. Second, from an economic standpoint the replacement of natural indigo by the synthetic molecule ignited the ‘ideology’ of Ersatz,<sup>3</sup> i.e. the use of synthetic chemical products instead of their natural homologues. Finally, the commercialization of synthetic indigo had dramatic consequences on the market of natural indigo. Just to fix the ideas, four years after the implementation of BASF indigo process, English planters had to reduce the surface of their plantations in Bengal by one-third. This example can efficiently evoke the historical, economic and scientific scenario of the second half of the 19<sup>th</sup> century that was clearly marked by new industrial needs and prompted scientific and technological research with new aims. In particular early industrial chemistry was in need of a formal system to handle the energetics of industrial processes involving chemical reactions. It was under the pressure of these external

---

<sup>2</sup> For a wider discussion on this matter, the reader can refer to Pellegrino *et al.* (2015).

<sup>3</sup> Ersatz can be translated as ‘replacement’.

factors that thermodynamics – originally conceived to treat compression-expansion cycles in piston-cylinder systems – was extended to more complex systems involving chemical reactions. This cognitive extension of thermodynamics – whose foundations were mainly due to J.W Gibbs – took some decades to be accomplished and “accepted” by the worldwide chemical community. (Kragh *et al.* 1996)

Concurrently, the concept of entropy underwent an important epistemic transformation that can be traced back inside Gibbs’ equilibrium theory. (Gibbs 1906) This latter is grounded on the geometrical representation of Clausius’ laws for reversible systems, wherein entropy becomes a ‘mere’ geometric parameter (i.e. one Cartesian axis in the thermodynamic 3D-space). This new epistemic valence of entropy – along with energy and volume – allowed Gibbs to express the condition of thermodynamic stability of a system as the condition where entropy is maximized. Based on this conceptual foundation stone, Gibbs conceived a general thermodynamic theory suitable for the treatment of heterogeneous systems undergoing chemical reactions. This implied the introduction of new extensive quantities suitable to express stability conditions. It is worth mentioning Gibbs’ ‘free energy’ that – in the conventional thermodynamic notation – corresponds to:

$$G = U + pV - TS \quad (5)$$

This function is currently used in physical chemistry to establish the direction towards which a chemical heterogeneous system can evolve spontaneously.<sup>4</sup> In the treatment of physical chemical systems, Gibbs’ ‘free energy’ actually plays the same central epistemic role played by Clausius’ entropy in thermo-mechanical contexts. Hence, part of Clausius’ entropy epistemic content has been transferred to Gibbs’ free energy, to the point that the latter is often considered as ‘disguised entropy’.

### 3.3. Entropy and Statistical-Mechanics

Between the end of 19<sup>th</sup> and the beginning of 20<sup>th</sup> century, several disciplinary scientific domains saw a new foundation. Within a single year, ‘annus mirabilis 1905’, Einstein, Nernst and Planck published five fundamental papers.<sup>5</sup> (Müller 2007) This creative wave did not concern only physics but had a wider extension. Poincaré’s fundamental works on three-body systems and the axiomatic definition of number by Giuseppe Peano are two further relevant examples.

During this ‘gold period’ for ‘foundational research’, the groundwork for modern Statistical Mechanics was also carried out. Based on Boltzmann’s seminal intentions<sup>6</sup>

<sup>4</sup> A heterogeneous system is stable at a Gibbs’ free energy minimum.

<sup>5</sup> That is to say: I) Planck: Black Body Radiation, II-IV) Einstein: Special Relativity; Brownian motion; Photoelectric effect; V) Nernst: Heat Theorem.

<sup>6</sup> Boltzmann writes: “Aim of this treatise is to provide a truly analytic and general proof of the second law of mechanical theory of heat” (Translated by the author).

(Boltzmann 1866), kinetic theory original goal was to settle a cognitive justification for the Second Law at the microscopic level. Concerning Statistical Mechanics current status, Frigg clearly remarks that

Unlike quantum mechanics and relativity theory, Statistical Mechanics has not yet found a generally accepted theoretical framework, let alone a canonical formulation. What we find in Statistical Mechanics is a plethora of different approaches and schools, each with its own program and mathematical apparatus, none of which has a legitimate claim to be more fundamental than its competitors. (Frigg 2008, p. 6)

This plurality is commonly approached by referring to “two theoretical frameworks, one of which can be associated with Boltzmann (1877) and the other with Gibbs (1902)”, that can be classified as either ‘Boltzmannian’ or ‘Gibbsian’. (Frigg 2008, p. 7)

As far as entropy is concerned, two relevant issues can be mentioned. First, entropy played a key role, in both statistical approaches, inside bridge equations relating the microscopic statistical formal system to the macroscopic thermodynamic model. Second, ‘Boltzmannian’ and ‘Gibbsian’ approaches foundationally differ for the mathematical expression of entropy (as to say  $H$  functions) and equilibrium definitions, given in terms of these latter functions. More precisely, in Boltzmann approach – for a  $N$ -particles-system –  $H_B$  is given by:

$$H_B = N \int w_1 \log w_1 d\tau_1 \quad (6)$$

and depends on a single particle probability density ( $w_1$ ). Conversely, Gibbs’ function  $H$  is defined in terms of a Liouville function or  $N$ -particles probability density ( $W_N$ ) defined on the ensemble:

$$W_N = N \int W_N \log W_N d\tau$$

Discussing the foundations of Statistical Mechanics is far from the aim of this presentation. Nevertheless we can mention the emerging centrality of  $H$  definitions in both statistical models. This mirrors the key role of entropy inside Statistical Mechanics (Jaynes 1965) and witnesses a first profound ontological transformation of the entropy concept.

### 3.4. Entropy and Communication Theory

The *post* 2<sup>nd</sup>-World-War period saw the development of modern Information Technology. Its origins are commonly traced back to Turing’s machine and to the construction of Colossus – the analogical computer designed to decrypt Enigma, the Germans’ secret code. Just after the war, computers started to be serially produced and

underwent a large diffusion. Cybernetics, Semiotics and Communication Theory developed in this context under the pressure of external factors including the above-mentioned technological enhancements.

In his 1948 foundational paper (Shannon 1948), Shannon – a father of Communication Theory – defined a new function representing the number of bits exchanged through a communication channel. Shannon proposed three distinct names for such function: information, uncertainty and entropy. This latter choice – as witnessed by the author – was mainly due to its formal similarity with “the  $H$  in Boltzmann’s famous H theorem”. Nevertheless, the dimensions of Shannon’s entropy correspond to the number of bits; hence it is clearly not an entropy *stricto sensu*.

Kolmogorov’s contributions to Communication Theory are also worth to be mentioned. (Grünwald *et al.* 2003; Grünwald *et al.* 2004) In 1965, he defined another function to represent information. Kolmogorov function (or Kolmogorov complexity) applied to an information string is defined as its shortest binary description or alternatively as the length of the shortest computer program generating it. In this case the name entropy disappeared, highlighting that the function belonged to a new disciplinary domain, distinct from physics where entropy had started its long story.

#### 4. Conclusions

Our analysis shows that entropy behaves as an open concept undergoing a continuous evolution. The historical survey highlights that entropy’s polysemy has enriched the thermodynamics formal arsenal with a great epistemological plurality, albeit not devoid of inconsistencies. Moreover, entropy can be seen as a *still-in-progress* concept that has undergone several semantic changes under the pressure of evolutionary factors such as cultural and social textures, depending on the specific historical background.

#### References

- Boltzmann L. (1866). “Über die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie”. *Wiener Berichte*, 53, pp. 195-220.
- Čápek V., Sheehan D.P. (2005). *Challenges to the Second Law of Thermodynamics*. Dordrecht: Springer.
- Carathéodory C. (1909). “Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik”. *Mathematische Annalen*, 67, pp. 355-386.
- Carnot S. (1897). *Reflections on the Motive Power of Heat*. Hoboken: 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.
- Cerruti L. (2003). *Bella e potente: La chimica del Novecento fra scienza e società*. Roma: Ed. Riuniti.
- Frigg R. (2008). *A field Guide to Recent Work on the Foundation of Statistical Mechanics*. London: Ashgate.



- Gibbs J.W. (1906). *The Scientific Papers of J. Willard Gibbs*. Vol. 1. London: Longmans.
- Grünwald P., Vitányi P.M.B. (2003). “Kolmogorov Complexity and Information Theory”. *Journal of Logic, Language and Information*, 12, pp. 497-529.
- Grünwald P., Vitányi P.M.B. (2004). “Shannon Information and Kolmogorov Complexity”. arXiv:cs/0410002.
- Gyftopoulos E.P., Beretta G.P. (1991). *Thermodynamics: Foundations and Applications*. New York: Macmillan.
- Jaynes F.T. (1965). “Gibbs vs Boltzmann Entropies”. *American Journal of Physics*, 5 (33), pp. 391-398.
- Kragh H., Weininger S.J. (1996). “Sooner Silence than Confusion: The Tortuous Entry of Entropy into Chemistry”. *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, 27, pp. 91-130.
- Lieb E.H., Yngvason J. (1999). “The Physics and Mathematics of the Second Law of Thermodynamics”. *Physics Reports*, 310, pp. 1-96.
- Müller I. (2007). *A History of Thermodynamics. The Doctrine of Energy and Entropy*. Berlin, Heidelberg: 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.
- Pellegrino E.M., Cerruti L., Ghibaudi E. (2016). “From Steam Engines to Chemical Reactions: Gibbs’ Contribution to the Extension of the Second Law”. *Entropy*, 18, 162, pp. 1-27.
- Shannon C.E. (1948). “The Mathematical Theory of Communication”. *Bell System Technical Journal*, 3 (27), pp. 379-423.
- Tribus M., E.C. McIrvine (1971). “Energy and information”. *Scientific American*, 224, pp. 178-184.
- Tsallis C. (2002). “Entropic Nonextensivity: a Possible Measure of Complexity”. *Chaos, Solitons and Fractals*, 13, pp. 371-391.



# “Newton Geneva” Edition as research programme concerning the relationship physics-mathematics in the history and philosophy of science

Raffaele Pisano - AP, Lorraine University / CFV, Nantes University, France / HPS Unit, Sydney University, Australia - pisanoraffaele@iol.it  
Paolo Bussotti - Università di Udine - paolobussotti66@gmail.com

**Abstract:** The third edition of Newton’s (1642-1727) masterpiece *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* was published in 1726. This edition represented a refinement and – in some respects – an extension of the two previous editions (1687, 1713). It could be therefore surprising that between 1739 and 1742 a further – commented – edition was published in Geneva. This edition was wrongly called Jesuit Edition, but this is a mistake because the two commentators Thomas Le Seur (1703-1770) and François Jacquier (1711-1788) were not Jesuit, but minim friars. The other important personality in this context is the Swiss scientist Jean-Louis Calandrini (1703-1758). The commentators specified every mathematical and physical aspect of Newton’s thought and methodology and referred the the discoveries – connected to Newton’s results – carried out after his work.

**Keywords:** Newton Geneva Edition, Relationship between Physics and Mathematics, Editorial Project, History and Philosophy of Science, Oxford University Press, 2020.

## 1. Newton’s *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* Geneva Edition

Newton’s *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica Geneva Edition* (hereafter GE) was edited and commented by Thomas Le Seur and François Jacquier. (Le Seur, Jacquier 1739-1742) The version of the GE we to which we refer is composed of four volumes annotated by the commentators. The notes are longer than Newton’s text itself. *Geneva edition* was divided into three tomes. The *tomus tertius* is divided into two parts. (Bussotti, Pisano 2014b) We remark that, because of editorial reasons, our project of publication with the Oxford University Press will follow the version of the Glasgow edition (1822, by three plus one vol.) Thus we totally divided them into four volumes; because of this, we have used the expression ‘four volume’.

The third edition of the *Principia* had been published only 13 years before the first volume of the GE. An English version of the second edition of the *Principia*<sup>1</sup> (Newton

---

<sup>1</sup> The book was presented at “The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge” (briefly known as “The Royal Society”) in April, 28, 1686, and only in-between May, 19 and June, 30 “The Royal

1713), translated by Motte, appeared in 1729. (Newton 1729) ‘Why was a further edition published then’? An answer to this question depends on the profound changes occurred in mathematics, in physics and in the application of mathematics to physics between the end of the 17th century and the beginning of the 18<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> century. (Gillispie, Pisano 2014) The question is also connected with Newton’s personal and geometrical methods, their reception and their replacement with more analytical methods. (Bussotti, Pisano 2014a)

GE is a very treasure concerning Newton’s ideas and his heritage: Newton’s geometry and mathematical physics. Conspicuous sections of history of physics and mathematics can be drawn from it. At this stage, no translations, no critical edition exist about this GE. At first glance, a crucial question arises in history of science: Why only thirteen years after the publication of the 3<sup>rd</sup> edition of *Principia* was felt the need to publish an annotated edition, which, given its dimensions, was a huge cultural and economic enterprise? (Pisano, Bussotti 2016)

Conspicuous pieces of information as to history of physics, history of mathematics and epistemology can be drawn from GE. It is known that Wallis and Wallis (Wallis, Wallis 1977) worked on that, and their account is crucial text (i.e. for references) up to 1975. After the publication of Newton’s *Principia* many authors (i.e. Varignon, Gregory, Jakob, Johann and Daniel, Euler, etc.) tried to offer a clear and perspicuous transcription into an analytical language of the results Newton presented using his ‘infinitesimal geometry’. On the other hand, because of the mixed geometrical-physical-mathematical-astronomical contents of Newton’s masterpiece (Pisano, Bussotti 2015) a definitive revision is hard and – still nowadays (i.e. *Principia*, Vols. II-III) – far from being complete. Subsequently, in the attempt to offer complete explanations of Newton’s work ‘Geneva edition’ has a set of remarks more extended than Newton’s manuscript itself: e.g., explanations of the results and – above all – of Newton’s methods. Last but not least, a historical question – and under certain aspects philological, as well – raised up: “Why choose a commentary edition of Newton, and not the Newton’s work?”. (Pisano, Bussotti 2016)

## 2. A Research Programme

Our ‘Newton Geneva Project’ is a research programme that we started several years ago within a more general research statement concerning the relationship between physics and mathematics in the *HPS*. (Pisano 2011; Pisano, Capecchi 2013) In the latest years, we extensively published on the subject. (Pisano, Bussotti 2016) Since 2014 are under contract with the Oxford University Press for the publication of five volumes (expected: 2020): translations from Latin to English, transcription and criticism. We aim to rework the main conceptual scientific frameworks of the whole ‘Newtonian Geneva edition’,

---

Society” firstly approved and then licensed by Pepys (President of *The Royal Society*) to publish it. Subsequently Edmond Halley (1656-1742) received the Book II and Book III respectively in March, 1, 1687 and in April, 11, 1687. The first edition, composed of the three volumes into Latin language, was published in July, 5, 1687.

taking into account – within historical epistemology of science – the complex share knowledge in context, as well. Particularly we mainly aim to:

1. a clear delineation of the relations between mathematics and physics of the *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (Principia)*. In other terms: how the particular way in which Newton used geometry and infinitesimal procedures influenced his physics;
2. the comprehension why and how Newton's mathematical methods were progressively, but rapidly, replaced by more analytical methods.

### **2.1. General and Specific Objective**

- Re-examine the present state of art on historical Newtonian Physical-Mathematical understanding, basing extensively on scientific, mathematical, geometrical, epistemological and astronomical considerations: primary and secondary literatures.
- Re-examine critically Newton's mechanical-Astronomical accounts as expounded in Newton's *Principia*.
- Re-thinking of the the relationship between physics and mathematics in Newton's *Principia* by means (acceptation and change) of 'Geneva Edition' annotations.

### **2.2. Methodology and content of our work**

- The general structure of the edition;
- The personalities of the editors;
- The role of the GE among *Principia*'s editions and commentaries published from 1687 – first original edition of Newton's work – to 1833.
- The historical and conceptual meaning of the GE.
- Research and study based on primary sources, as far as possible.
- Re-work Newtonian calculation.
- Re-examination of the literature on the subject.

### **2.3. Areas of Research and Disciplines**

- History of: Physics, Mathematics, Physics-Mathematics, Science in Context.
- Astronomy, Geometry, Mathematics, Physics, Logic.

#### 2.4. *Specific Documentary Needs*

- We have Newtonian and full ‘Geneva editions’ (in pdf) and necessary materials (at first glance see selected references).

#### 2.5. *Main Expected Results and Perspectives*

- A new theoretical model of Newtonian science based on the relationship between physics and mathematics along the Scientific revolution.
- A historical scientific account concerning concepts, visualization of knowledge civilization and science in context.
- The results obtained would be of help in re-analysing the birth of the modern science and its heritage in the birth of modern physics.

#### 2.6. *Job Process*

- Four volumes (Full Transcription and Translation from four-Le Seur and Jacquier volumes) will contain the original Latin text (Newton’s text plus the notes of the commentators) and our critical translations.
- The fifth volume will contain our commentaries, explanations and specifications on Newton’s thought.
- Estimated Manuscript Start Date: 2014-2015.
- Estimated Number of Pages per Volume: ca. 500-600.
- Estimated Number of Images: main facsimile pages if necessary.
- Estimated Manuscript Delivery Date: 2020.

#### 2.7. *Originality of Manuscript*

- Previously Latin ancient publication.
- New Material: new commentary by the authors.
- New Material: translation from Latin to English and facsimile pages.

#### 2.8. *Some Additional Specifications*

<b>Volume I containing the book I of the <i>Principia</i></b>		
<b>Number of pages</b>	<b>Number of words</b>	<b>Figures</b>
The first volume has 435 pages. The dimension of the page is format A4. It is not necessary to insert the figures in the translation. We only let	Each page contains about 500-600 words. The calculation is not easy because there are many figures and mathematical formulas. The	The figures are about 550. The original text and the figures are relatively clear, hence it is possible to think of an <i>anastatic</i> reprint.

them in original Latin text. Maybe we can use image page-image of the Latin original text (from pdf). If necessary, Some figures can be redrawn. Hence, using an A4 format, the first volume will approximately contain 750-800 pages (original text + translation + about 20 introductory pages, also including the figures).	number of words of the volume should be about 375.000 and 480.000 words (text + translation).	
--	---	--

**Volume II containing the book II of the *Principia***

<b>Number of pages</b>	<b>Number of words</b>	<b>Figures</b>
The second volume has 320 pages. Following the same reasoning applied to the first volume, it is reasonable to think that the amount of pages in the edition with Latin text plus translation + introduction is about 580-600.	Following the same calculations as before the global number of words should be between 29.000 and 360.000.	The figures are about 290. The same considerations applied for the first book are valid.

**Volume III containing the initial 26 propositions of the book III of the *Principia***

<b>Number of pages</b>	<b>Number of words</b>	<b>Figures</b>
The third volume contains about 370 pages. Following the same reasoning applied to the other volumes the amount of pages in the edition with Latin text plus translation + introduction is about 680-720 pages.	Following the same calculations as before the global number of words should be between 340.000 and 430.000.	The figures are about 180. The same considerations applied for the first book are valid.

**Volume IV containing the other propositions of the book III of the *Principia***

<b>Number of pages</b>	<b>Number of words</b>	<b>Figures</b>
The third volume contains about 210 pages. Following the same reasoning applied to the other volumes the amount of pages in the edition with Latin text plus translation + introduction is about 370-390 pages.	Following the same calculations as before the global number of words should be between 185.000 and 235.000.	The figures are about 190. The same considerations applied for the first book are valid.

**Volume V**

With regard to our volume concerning the introduction to the Jesuit Edition, it is reasonable to think of – more or less – 300/350 pages. Of course, now, it is premature and difficult to be more precise on this question.

### **2.9. Pertinence and Strategic Character of the Scientific Project Programme**

1. No translation exists of the notes-commentaries of the GE. Hence, we propose a product, which is a novelty, from a scientific, historical and editorial point of view.
2. The notes-commentaries of the commentators are added to every single Newton's proposition. They are longer than Newton's text itself. These notes clarify all aspects of Newton way of thinking and working. This was a novelty at that time and even nowadays the GE is the most important document to clarify Newton's scientific thought.
3. The notes-commentaries represent a significant document to point out how physics, mathematics and geometry was developed in the few years between the publication of the third edition of Newton's *Principia* (1723) and the first volume of the GE (1739). Newton's geometrical approach was progressively abandoned in favour of an analytical one. The commentators explain how Newton worked. Furthermore they translated Newton's results into analytical terms. For the first time this was made in a *systematic manner*.
4. Inside the notes-commentaries apparatus, the commentators add treatises, written by themselves or by famous physicians and mathematicians, to clarify how Newton's theory, and more in general physics, was developed along 18<sup>th</sup> century.
5. The notes of the GE can also be interpreted as a series of lectures in the communication of Newtonian science. These contributions to theoretical science are useful for the needs of both researchers and scholars who wish to understand the bases of Newton's physics and mathematics, in particular, geometry. GE is an edition whose interest goes far beyond the experts of Newton and involves all history of science in the 18<sup>th</sup> century: how science can change in few years.
6. The volumes-compositions make for absorbing reading for historians of science, philosophers of science, scientists and scientific-Latin language specialists.

### **3. Concluding Remarks**

In our opinion, an extensive rework of this edition GE is necessary to clarify the context in which Newtonian science was developed. This can be a useful means for historians, philosophers and scientist busy with Newton and Newtonian studies. Under this perspective, our project aims at familiarizing and introducing to the tenor of a huge work between physics, mathematics, geometry and science in context.

Finally, the radical way in which the relationships between physics and mathematics changed in relatively few years, so that Newton's geometric methods became almost incomprehensible even to specialists, needs an explanation.



**Selected References**

- Bussotti P., Pisano R. (2014a). “Newton’s *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* “Jesuit” Edition: The Tenor of a Huge Work”. *Accademia Nazionale dei Lincei-Rendiconti Matematica e Applicazioni*, 25/4, pp. 413-444.
- Bussotti P., Pisano R. (2014b). *On the Jesuit Edition of Newton’s Principia. Science and Advanced Researches in the Western Civilization*, in Pisano R., (ed.). *Newton Special Issue: History and Historical Epistemology of Science. Advances in Historical Studies*, 3 (1), pp. 33-55.
- Gillispie C.C., Pisano R. (2014). *Lazare and Sadi Carnot. A Scientific and Filial Relationship*. Dordrecht: Springer, 2<sup>nd</sup> edition.
- Guicciardini N. (2014). “Editing Newton in Geneva and Rome: the Annotated Edition of the Principia by Calandrini, Le Seur and Jacquier”. *Annals of Science*, 71(4), pp. 1-44, 72 (3), pp. 337-380.
- Newton I. (1822). *Philosophiae Naturalis Mathematica Principia, auctore Isaaco Newtono, Eq. Aurato, perpetuis commentariis illustrata, communi studio Pp. Thomae Le Seur et Francisci Jacquier ex Gallicana minimorum familia, matheseos professorum. Editio nova (in three volumes)*. Glasgow: Duncan.
- Newton I. (1780-1785). *Philosophiae Naturalis Mathematica Principia, auctore Isaaco Newtono, Eq. Aurato, illustrata commentationibus potissimum Ioannis Tessanek, philosophiae et SS. teologiae doctoris, [...] et (quibusdam in locis) commentationibus veterioribus clarissimorum Tho. le Seur, et Fr. Jacquier, ex Gallicana Minimorum Familia matheseos professorum*. Prague: Piskaczek.
- Newton I. (1972). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. The Third Edition (1726) with Variant Readings. Assembled and edited by A. Koyré and I B Cohen, with the assistance of A. Whitman*. Cambridge MA: The Harvard University Press.
- Pisano R. (2011). *Physics-Mathematics Relationship. Historical and Epistemological notes* in Barbin E., Kronfellner M., Tzanakis C. (eds.). *European Summer University History and Epistemology in Mathematics*. Vienna: Verlag Holzhausen GmbH-Holzhausen Publishing Ltd., pp. 457-472.
- Pisano R., Capecchi D. (2013). “Conceptual and Mathematical Structures of Mechanical Science in the Western Civilization around the 18th century”. *Almagest*, 2(4), pp. 86-121.
- Pisano R., Bussotti P. (2015). *On the Conceptualization of Force in Johannes Kepler’s Corpus: an Interplay between Physics, Mathematics and Metaphysics*, in Pisano R., J Agassi J., Drozdova D. (eds.). *1964-2014. Hommage to Alexandre Koyré. Hypothesis and Perspective within History and Philosophy of Science*. Dordrecht: Springer, forthcoming.
- Pisano R., Bussotti P. (2016). “A Newtonian Tale Details on Notes and Proofs in Geneva Edition of Newton’s Principia”. *Bulletin British Journal for the History of Mathematics*, in press.
- Wallis P.J., Wallis R. (1977). *Newton and Newtoniana, 1672-1975: A Bibliography*, Folkstone: Dawson.
- Wright J.M.F. (1833). *A commentary on Newton’s Principia with a supplement volume designed for the use of students at the university*. London: T.T. & J. Tegg. 2 Vols.



# Alternatives to Positivism: Gaston Bachelard and Hélène Metzger

Arcangelo Rossi, Dipartimento di Matematica e Fisica “Ennio De Giorgi”,  
Università del Salento, Lecce, Italy - arcangelo.rossi@unisalento.it

Abstract: Philosophy of science influences science either through ‘epistemological obstacles’, or through ‘epistemological breaks’, sometimes even through a ‘psychoanalysis of scientific knowledge’ in order to reveal these epistemological factors. The great French historians-epistemologists Gaston Bachelard and Hélène Metzger, affirm this. Nevertheless, their common anti-positivistic agreement finds its limit in Bachelard’s ‘progressivism’ implying the overcoming, by falsification practices, of every epistemological obstacles. Consistently with her more historiographical perspective, Hélène Metzger denies that there is a guarantee of safe progress. According to her, Bachelard, the French epistemologist who more than others assumed a critical stance towards positivism, shows a certain incoherence: if for him it is necessary to assume an active critical attitude towards common sense devoid of true empirical justifications, it is also necessary to be critical towards undue generalizations, unjustly taken for granted, conscious of the active character of knowledge and of the limits of any reification and absolutism. This will avoid the error of shutting itself in a restricted cage made of numbers and measures. It will instead recognize the approximated character of the knowledge of a reality which does not let itself exhausted in our provisional schemata, through an error rectifying recalling Karl Popper’s falsification approach. Metzger, though sharing this perspective, yet requires a further clarification and refinement. According to her, there is in Bachelard an excessively ‘progressive’ interpretation of the perspective, relegating the whole scientific past previous to the XX Century in a pre-scientific phase, laden with errors and prejudices. Metzger was instead convinced of the necessity of avoiding to flatten the past in trivially ‘modernist’ schemata.

*Keywords:* Philosophy and history of science, Falsificationism, Positivism, Bachelard, Metzger.

Philosophy of science influences science either through the ‘epistemological obstacles’ which hamper its development or through the ‘epistemological breaks’ which instead accelerate it. Sometimes even a true psychoanalysis of scientific knowledge is required in order to reveal these either negative or positive epistemological factors which would otherwise remain hidden or even unsuspected and then uncontrollable. This peculiar form of psychoanalysis would have in fact as its main aim to free mind from a certain number of prejudices, childishnesses and true errors accepted without reflections.

Great French historians-epistemologists, Gaston Bachelard (Bachelard 1951) and Hélène Metzger (Metzger 2009) quoted by Thomas S. Kuhn (Kuhn 1969) as his main inspirer, affirm it in their common aversion to positivism meant as mere unproblematic factuality, though deeply rooted, as is known, in scientific-epistemological French tradition.

Nevertheless, their anti-positivistic agreement finds its limit in G. Bachelard's 'progressivism', tense to evidenciate creative breakings, as non-Euclidean revolution in geometry, or quantum and relativity in physics. In fact it would imply the total and irreversible overcoming of any epistemological obstacle in the direction of a true modernizing effort, arriving, thanks to falsification procedures, at realizing in the present, beyond the past, a new 'scientific spirit' more and more cleaned up from errors and approximated to the truth. (Bachelard 1978)

Hélèn Metzger instead affirms, consistently with the historiographical perspective she applies in particular to the history of XVIII Century's chemistry (Metzger 1930), that there is no guarantee of safe progress, as the present itself is subject to ever new or renewable errors and deceits, eventually revealing themselves only in the future. Then, even if, also according to Metzger, Bachelard is the French epistemologist who more than others assumed an original critical stance towards positivism by insisting on the epistemological obstacles implied by the empiricist naive uncritical conception of knowledge disowning the active role of reason reduced to a passive and purely registrative one, there is a certain incoherence in Bachelard's attitude. (Bachelard 1951)

In fact, in the effective synthesis done by Hélèn Metzger herself (Metzger 2009), he shows through both epistemological analysis and the study of episodes of history of science, in particular of the XVIII Century's chemistry, that empiricist prejudices play a role as epistemological obstacles to knowledge. Then it is necessary to assume an active critical attitude towards common sense devoid of true empirical justifications, even at the level of apparently most evolved and founded science, mathematical physics. (Castellana 2004)

Anyway, for Bachelard it is also necessary to be critical towards undue generalizations unjustly taken for granted, conscious of the active character of the knowledge, and of the limits of any reification and absolutism, both materialist and animist, in a critical and auto-critical development of knowledge in general. This will then avoid the error of shutting itself in a restricted cage made of numbers and measures so avoiding to make absolute the quantitative method itself.

It will instead recognize the approximated character of the knowledge of a reality which, though progressively rationalized, does not let itself exhausted in our provisional, though open and dynamic schemata in a neverending objectifying effort through error rectifying recalling Karl Popper's falsificationist perspective.

Hélèn Metzger (Metzger 1938) then supplies a long list of the obstacles evidenciated by the study of the historical cases pertaining to the birth of modern chemistry, from the most obvious empiricist prejudices to the most expected generalisations, to deceptively familiar analogies and images as, for example, the sponge, most practiced in the study of chemical phenomena at the origin of modern chemistry, until the most complex substantialist or animist obstacles to be criticized and

deepened, so practicing in a new, more critical and less dogmatic vision, the so called ‘realist’s psychoanalysis’, where the substantialistic delusion is even connected to the need to literally possess the ontological reality.

Anyway Hélèn Metzger, though sharing the falsificationist perspective in the outline, yet requires – in particular criticizing its historiographical application by Bachelard to the development of XVIII Century’s chemistry – a further refinement and clarification. According to her, there is in Bachelard an excessively ‘progressive’ interpretation of that perspective, identifying the present with the inescapable result of a growth of knowledge relegating the whole scientific past previous to the XX Century in a pre-scientific phase more laden with errors and prejudices. This contradicts Bachelard’s himself effort to try to relive the proper activity of the researcher, to be understood in its specific dynamics. In fact, according to H. Metzger (Metzger 1938), in order to attain this goal, it is necessary to avoid to flatten it in trivially ‘modernist’ schemata, according to which only in the present epoch prejudices and errors would be surely overcome and would not instead live together, in complex and concrete forms, with truth and knowledge, to mould the experienced reality of science. It was so not only in the past but will surely be also in the future, for the adventure of science is, in its fallibility and creativity, irreducible to every rigid falsification methodology unavoidably objectivist and then unavoidably ‘progressive’. (Vinti 1997)

## References

- Bachelard G. (1951). *La formazione dello spirito scientifico*. Bari: Laterza.
- Bachelard G. (1978). *Il nuovo spirito scientifico*. Bari: Laterza.
- Castellana M. (2004). *Razionalismo senza dogmi. Per un’epistemologia della fisica-matematica*. Soveria Mannelli: Rubbettino.
- Kuhn T.S. (1969). *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Torino: Einaudi.
- Metzger H. (1930). *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris: Hermann.
- Metzger H. (1938). “Gaston Bachelard, La formation de l’esprit scientifique. Contribution a une psychanalyse de la connaissance objective”. *Archeion*, 1938, 1, pp. 162-165.
- Metzger H. (2009). *Il metodo filosofico nella storia delle scienze*. Manduria: Barbieri Selvaggi.
- Vinti C. (1997). *Il soggetto qualunque. Gaston Bachelard fenomenologo della soggettività epistemica*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.



# Gli strumenti di Fisica del Museo di Scienze Naturali “Enrico Caffi” di Bergamo

Laura Serra Perani - Università degli Studi di Bergamo - laura.serra@unibg.it

*Abstract:* The historic physics instruments at the Natural Science Museum “Enrico Caffi” in Bergamo represent a conspicuous part of the gymnasium “Paolo Sarpi” Physics Cabinet collection. The instruments were manufactured from the end of the eighteenth century for teaching purpose and were recently catalogued. Several precious objects were identified, a centrifugal force apparatus and a Nollet’s model fire pump among others. The ongoing project aims to organize a permanent exhibition to emphasize the value and historical importance of the collection.

*Keywords:* Historic physics instruments, Natural Science Museum “Enrico Caffi,” “Paolo Sarpi” Physics Cabinet

Gli strumenti di Fisica conservati presso il Museo “Enrico Caffi” di Bergamo provengono dal Gabinetto di Fisica del Liceo “Paolo Sarpi”, le cui origini risalgono alla fine del Settecento, quando Lorenzo Mascheroni, docente presso il Collegio Mariano,<sup>1</sup> dal quale proviene il Liceo Sarpi, ottenne nel 1783 dal Consiglio della Nobile Reggenza di poter innovare l’insegnamento della Fisica attraverso il metodo sperimentale, comprando a Pavia alcuni strumenti e assumendo come macchinista Giovanni Albrici. (Serra Perani, Brenni 2012, pp. 355-365)<sup>2</sup>

Nel Gabinetto di Fisica del Collegio Mariano e del Liceo Sarpi l’uso degli strumenti e il conseguente logoramento, ma anche il semplice malfunzionamento riscontrato a volte nel loro utilizzo, ha fatto sì che gli strumenti fossero accantonati e, intorno agli anni settanta del secolo scorso, spostati nel vicino Museo di Scienze Naturali Enrico Caffi, che li ha conservati fino a oggi.

Il desiderio di completare la catalogazione di tutti gli strumenti appartenenti o appartenuti un tempo al Gabinetto di Fisica del Liceo Sarpi (Serra Perani 2009) mi ha portato a stilare un primo inventario anche degli strumenti conservati al Museo Caffi, accompagnato da una documentazione fotografica. La collezione comprende circa duecento strumenti sostanzialmente integri o con piccole parti mancanti; a questi se ne aggiungono altri 100 circa, identificabili come strumenti rotti o incompleti. Fra di essi

---

<sup>1</sup> Il Collegio Mariano fu istituito nel 1617 dal Consiglio della Misericordia Maggiore, Istituzione di beneficenza bergamasca, per istruire gratuitamente i chierici della Basilica di S. Maria Maggiore e aperta in seguito anche ad allievi paganti. Il collegio era governato dal Consiglio della Nobile Reggenza.

<sup>2</sup> Giovanni Albrici è il costruttore della pregevole ‘Macchina planetaria’, acquistata dal Collegio Mariano nel 1784 e tuttora conservata presso il Liceo Sarpi. Per una sua descrizione dettagliata, si veda Serra Perani, Brenni (2012).

ve ne sono alcuni di alto valore scientifico, oltre che artistico e antiquariale, in quanto rari esempi di apparati usati per la didattica della Fisica nei primi anni dell'Ottocento. La presenza di vari documenti, quali manoscritti e inventari, conservati presso l'Archivio storico del Liceo Sarpi e presso la Biblioteca Civica "Angelo Mai" di Bergamo, ha consentito l'identificazione e la datazione di tutti gli strumenti. I più antichi risalgono agli ultimi anni del Settecento o ai primi dell'Ottocento e fanno quindi parte della prima dotazione del Gabinetto di fisica; la maggior parte sono strumenti databili intorno alla metà dell'ottocento, pochi dei primi anni del Novecento.

Diversi strumenti conservati al Museo Caffi sono citati negli inventari più antichi: il primo datato 16 febbraio 1793<sup>3</sup> e il successivo datato 18 maggio 1804,<sup>4</sup> entrambi sottoscritti dal macchinista Giovanni Albrici. Fra questi, nella sezione della Meccanica, sono stati identificati, ad esempio, una leva tripla così descritta: "Una tavoletta lunga con tre pilieri scorrevoli con tre righe che sono leve" (Fig. 1); un piano inclinato purtroppo incompleto; "Quindici pezzi di legno di noce quadrilateri che posti l'uno sopra l'altro formano una torre"; "Un tavolo per le forze composte con piede triangolare"; "La macchina della bomba, che scorre sopra una tavoletta lunga posta orizzontalmente per dimostrare il moto dei proietti [...]"; "La macchina delle carrucole o taglie, la quale consiste in due aste quadrate alte piedi 6 di Parigi circa, con un finimento di cornici [...] tutta di noce col suo piede a telajo [...]"



**Fig. 1.** Leva tripla, 4/4 XVIII Secolo

Appartiene invece alla sezione di chimica una pila formata da quattro colonne di dischi di rame e zinco, montate sopra una base di legno dipinto; ciascuna colonna è racchiusa fra tre bacchette di vetro alte un metro, infisse in un cilindro e completate da un cappello in legno tornito e dipinto.

Nella sezione dedicata all'Aerometria vi è la pompa pneumatica probabilmente costruita dallo stesso macchinista Giovanni Albrici alla fine del Settecento (Fig. 2) e acquistata dal Collegio Mariano nel 1791.

<sup>3</sup> Biblioteca Civica "Angelo Mai" di Bergamo, Archivio del Consorzio Misericordia Maggiore, MIA 3509.

<sup>4</sup> Biblioteca Civica "Angelo Mai" di Bergamo, AB 151.





**Fig. 2.** Pompa pneumatica, 4/4 XVIII Secolo

È un modello a due cilindri, davvero singolare considerando la sua base quadrata di circa settanta centimetri di lato e l'altezza di due metri. È in legno di noce, con piatto in ottone sul quale era appoggiata la campana di vetro. Gli inventari fanno riferimento a diversi accessori, ora mancanti, che dovevano essere contenuti in un cassetto posto all'interno della base della pompa. Alla stessa sezione appartiene anche l'“Eudiometro del Sig. Volta composto da una canna grossa in cristallo con due rubinetti a cui va aggiunta una canna lunga di cristallo con sue armature in ottone graduate [...]”.

Risultano acquistati negli anni 1809-1810 il modello della vite senza fine che muove un piccolo tornio; un telaio con due scanalature cicloidalì per la proprietà dell'isocronismo della cicloide e un altro con due guide: una a forma di cicloide e l'altra circolare per la dimostrazione del brachistocronismo della cicloide (Fig. 3); un fucile ad aria compressa; un prisma triangolare di cristallo finissimo e l'apparecchio dei 7 specchi che mostrano la scomposizione e la ricombinazione della luce; entrambi sono stati acquistati nel 1811 dal costruttore Dumotiez di Parigi.<sup>5</sup>



**Fig. 3.** Telaio con scanalature a forma di arco di cerchio e di cicloide, 1/4 XIX Secolo

La sezione di Astronomia del Gabinetto di Fisica del Sarpi comprende, oltre alla splendida ‘Macchina planetaria’ dell'Albrici, diversi globi terrestri e celesti che, logorati dall'uso, furono via via sostituiti; la collezione si arricchì costantemente di nuovi apparecchi, come dimostrano i documenti conservati nell'archivio storico del

<sup>5</sup> Archivio storico del Liceo Sarpi, LXIII, 30 aprile 1811.

Liceo Sarpi. In una lettera datata 7 settembre 1812, il Prefetto del Dipartimento del Serio annuncia al Reggente del Liceo “essere stata disposta la consegna da parte di Sua Eccellenza il Sig. Conte Ministro dell’Interno del Meccanismo uranografico inventato dal Sig. Carlo Rouy”. Secondo le disposizioni ministeriali, infatti, questo planetario meccanico doveva far parte delle dotazioni di tutti i licei dipartimentali. Anche questo planetario, logorato dall’uso, fu accantonato e ora lo troviamo al Museo Caffi insieme a tre sfere armillari: una copernicana del 1815 e due geocentriche datate entrambe 1750 e firmate dal costruttore Désnos di Parigi, tre globi terrestri di cui uno datato 1750 e firmato sempre da Désnos.

Nell’inventario del Gabinetto di Fisica redatto nel 1817 dal professore di fisica e bibliotecario Francesco Maccarani (1776-1846), oltre agli strumenti descritti negli inventari precedenti, vi sono molti apparecchi che si riferiscono all’elettricità e al magnetismo che ora sono al Museo Caffi; fra questi una ‘Lantern di Volta’ per l’elettricità atmosferica; sei bottiglie di Leida di grandi dimensioni – il diametro è di 17 cm – con vasi di vetro ricoperto di stagnola, coperchio di legno con infisso il conduttore interno formato da strisce di stagnola.

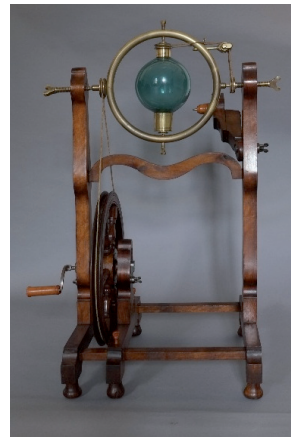
Nel 1820 fu acquistato per il Gabinetto di Fisica il ‘Modello della tromba a fuoco di Nollet’ (Fig. 4).



**Fig. 4.** Pompa per l’innalzamento dell’acqua

Si tratta di un modello semplificato della pompa ideata nel 1698 da Thomas Savery (1650-1715) e chiamata ‘L’amico del minatore’ perché in grado di prelevare l’acqua dalle gallerie nelle miniere. Lo strumento, illustrato dall’Abate Nollet nelle *Lezioni di Fisica sperimentale* (Nollet 1751, Tomo IV, pp. 63-66), è il modello di una pompa che innalza l’acqua sfruttando la compressione e la condensazione del vapore prodotto dalla caldaia.

Negli stessi anni fu acquistato anche un apparecchio davvero singolare (Fig. 5.1), citato negli inventari come “Macchina di Cartesio e Bulfingero”, che serve a mostrare gli effetti della forza centrifuga. Si tratta della realizzazione, anche se in parte diversa, di un modello descritto da Nollet, a proposito delle forze centrali (Nollet 1751, Tomo II, pp. 48-68) e, in particolare, della forza centripeta e della forza di gravità. È lo stesso Nollet a descrivere l’esperienza: nel globo di vetro riempito d’acqua si introduce olio di trementina colorato e si pone il globo in rotazione. L’olio, per effetto della forza centrifuga si separa in piccoli globuli disponendosi intorno all’asse di rotazione.



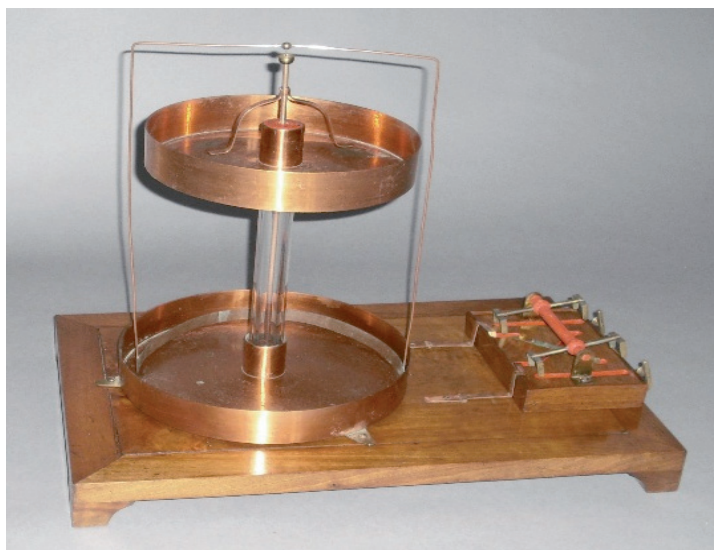
**Figg. 5.1.-5.2.** Macchina di Cartesio e Bulfingero per dimostrare l’azione delle forze centrali, 1/4 XIX Secolo

L’apparecchio tuttavia può essere montato in un altro modo (Fig. 5.2) inserendo il globo in un anello di ottone che consente la rotazione del globo contemporaneamente intorno a due assi perpendicolari. Secondo Nollet, lo strumento era stato ideato da Georg Bilfinger (1693-1750) di Tubinga, accademico di Pietroburgo e vincitore del premio assegnato nel 1728 dall’Accademia delle scienze di Parigi sul tema delle forze centrali, per verificare l’ipotesi che la forza di gravità fosse il risultato della combinazione di due forze perpendicolari. In realtà, mettendo in funzione l’apparecchio, come spiega Nollet: “... l’acqua contenuta in codesto vaso non riceve nel medesimo tempo due moti di rotazione, come si potria credere, e come taluno ha preteso...”.

L’acquisto dello strumento, avvenuto intorno agli anni Venti dell’Ottocento quando la disputa sulle forze centrali era da tempo superata, può trovare una giustificazione proprio nel voler dimostrare agli studenti l’inesattezza dell’ipotesi di Bilfinger.

Nel *Catalogo metodico degli oggetti esistenti nel Gabinetto di Fisica dell’Imperial Regio Ginnasio Liceale di Bergamo*, compilato probabilmente a partire dal 1851 dal docente di Fisica Giuseppe Venanzio (1821-1899) si ritrova la maggior parte degli strumenti ora conservati al Museo Caffi, e fra questi: una pompa pneumatica a due

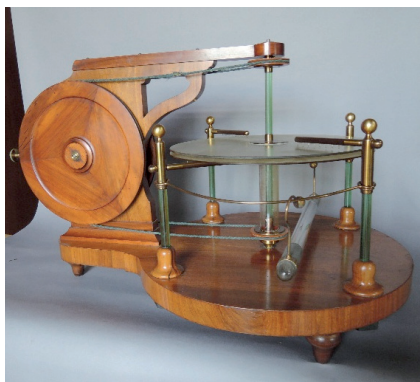
cilindri, acquistata nel 1840 e firmata dal suo costruttore Carlo Grindel (1780-1854), meccanico dell'Osservatorio Astronomico di Brera; alcune lucerne elettriche e diversi quadri fulminanti; diversi apparecchi acquistati intorno alla metà dell'Ottocento per dimostrare le ultime scoperte sulle interazioni fra campo magnetico e corrente elettrica, quali elettrocalamite, rocchetti a induzione, apparati per illustrare le leggi di Ampère. Alcuni di questi strumenti sono stati donati al Liceo nel 1846 per volontà testamentaria da parte di Francesco Maccarani. Fra questi, ad esempio, un piccolo apparato per la dimostrazione dell'attrazione delle correnti nello stesso senso e la repulsione in caso contrario; un apparecchio di Pouillet per dimostrare la rotazione continua delle correnti per effetto del magnetismo terrestre (Fig. 6); un altro per la rotazione della calamita per effetto della corrente.



**Fig. 6.** Apparato di Pouillet per la rotazione delle correnti per effetto del campo magnetico terrestre

È tuttavia grazie all'inventario del 1870 che gli strumenti possono essere identificati più facilmente. Infatti gli inventari che abbiamo fin qui citato sono dei semplici elenchi, mentre nel 1870 l'inventario (*Inventario 1870*) fu redatto secondo le norme dettate dal Ministero dopo l'unificazione italiana che imposero di elencare gli strumenti secondo un numero progressivo che doveva essere riportato sullo strumento stesso, e che ritroviamo inciso sugli strumenti del Gabinetto di Fisica del Liceo Sarpi e dunque anche su molti di quelli conservati al "Museo Caffi".

Fra gli strumenti acquistati nell'ultimo quarto del XIX secolo, ve ne sono due di particolare interesse: la 'Macchina di Holtz', generatore elettrostatico a dischi di vetro montati orizzontalmente (di secondo tipo), acquistato nel 1872 (Fig. 7) e un Magnetometro per la misura della variazione diurna della declinazione magnetica.



**Fig. 7.** Macchina elettrostatica di Holtz

Conclude la carrellata di strumenti l'acrobata cinese che scende facendo capriole da una scalinata (Fig. 8), probabilmente costruito dal fabbricante parigino Deleuil e acquistato nel 1845, che costituisce un esempio di gioco didattico, appartenente alla Fisica divertente che non mancava mai nei laboratori ottocenteschi.



**Fig. 8.** Ballerino cinese che scende dalla scala formata dalla scatola in cui è contenuto

L'approfondimento dello studio e la schedatura degli strumenti conservati al Museo Caffi hanno, da un lato, completato la catalogazione di tutti gli strumenti appartenuti al Gabinetto di Fisica del Collegio Mariano e del Liceo Sardi e, dall'altro, ne hanno evidenziato ancor più la ricchezza. La presenza a Bergamo, fin dal secolo XVIII, di scuole dotate di laboratori didattici che si sono arricchiti di strumenti anche nei secoli successivi è un forte elemento di valorizzazione del ruolo che l'insegnamento delle scienze sperimentali ha avuto nello sviluppo della cultura scientifica bergamasca.

L'intento di evidenziare tale ruolo ha spinto il Museo Caffi a proporre un programma di valorizzazione degli strumenti al fine di rendere visibile al pubblico, in un'esposizione permanente, un patrimonio di così alto valore storico-scientifico.

Il progetto, formulato nel 2014, è curato dalla sottoscritta negli aspetti scientifici e coordinato negli aspetti tecnico espositivi dal personale del Museo di Scienze Naturali e si avvale della collaborazione di Giorgio Mirandola e di Paolo Brenni.

Le fasi in cui si articola il progetto prevedono:<sup>6</sup>

- la pulitura della maggior parte degli strumenti che risultano ancora oggi integri e in buono stato di conservazione;
- il restauro di alcuni strumenti particolarmente significativi;<sup>7</sup>
- la fotografia di tutti gli strumenti.

La collezione sarà esposta nel Museo Caffi secondo percorsi storico-didattici al fine di risvegliare, soprattutto nei giovani, l'interesse verso la scienza e i suoi procedimenti che sono alla base del progresso scientifico.<sup>8</sup>

### Bibliografia

- Brenni P. (1993). *Museo di Storia della Scienza. Catalogue of Mechanical Instruments*. Firenze: Giunti.
- Brenni P. (1995). *Fondazione Scienza e Tecnica. Gli strumenti di Fisica dell'Istituto Tecnico Toscano, Ottica*. Firenze: Giunti.
- Brenni P. (2000). *Fondazione Scienza e Tecnica Gli strumenti di Fisica dell'Istituto Tecnico Toscano, Eletticità e magnetismo*. Firenze: Le Lettere.
- Hackmann W. (1995). *Museo di Storia della Scienza. Catalogue of Pneumatical, Magnetical and Electrical Instruments*. Firenze: Giunti.
- Inventario delle proprietà mobili dello stato presenti nel Gabinetto di Fisica al 31 dicembre 1870 compilato a termine dell'articolo 17 e seg. del Regolamento Generale per l'amministrazione del patrimonio*. Regio decreto del 4 settembre 1870, Archivio storico Liceo Sarpi.
- Nollet J.A. (1751). *Lezioni di Fisica sperimentale*. Venezia: Pasquali, Tomi II-IV.
- Nollet J.A. (1783). *L'arte dell'esperienze del Signor Abate Nollet*. Venezia: Battaglia.
- Pouillet C.S. (1839). *Elementi di Fisica Sperimentale con note e giunte di L. Palmieri*. Napoli: Puzziello.
- Serra Perani L., Brenni P. (2012). *La Macchina Planetaria che rappresenta il Sistema solare del Mondo di Giovanni Albrici*, in Mantovani R. (a cura di), *Atti del XXX*

<sup>6</sup> Il progetto presentato nella comunicazione durante il Congresso SISFA 2014 a Firenze e che richiedeva, oltre all'impegno di tutti i protagonisti, il reperimento dei fondi necessari per la sua realizzazione, potrà essere portato a termine anche grazie al contributo della ditta bergamasca Lovato Electric S.p.A.

<sup>7</sup> Il restauro avverrà presso i laboratori della Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze, a cura di Paolo Brenni e Anna Giatti.

<sup>8</sup> In occasione della manifestazione Bergamoscienza 2015, il "Museo Caffi" ha colto l'occasione di presentare al pubblico il progetto di valorizzazione della didattica scientifica dell'Ottocento allestendo l'esposizione, visitabile anche dopo la conclusione della manifestazione, di alcuni strumenti appartenenti alla meccanica, all'ottica e all'elettromagnetismo.

*Congresso Nazionale della Società Italiana di Storici della Fisica e dell'Astronomia* (Urbino 30 giugno-3 luglio 2010). Urbino: Argalia Editore, pp. 355-365.

Serra Perani L. (2003). *Lorenzo Mascheroni e il Gabinetto di Fisica del Collegio Mariano*, in *Studi, Ateneo di Scienze Lettere e Arti di Bergamo, Bergamo*. Bergamo: Edizioni dell'Ateneo, pp. 65-73.

Serra Perani L. (2009). *Gli strumenti del Gabinetto di Fisica del Liceo Classico Paolo Sarpi di Bergamo*. Bergamo: Associazione ex alunni del Liceo Sarpi.





# Gabriele Bonomo nel contesto culturale palermitano del XVIII secolo

Maria Luisa Tuscano - Associata INAF - mltuscano@gmail.com

*Abstract:* Gabriele Bonomo (Nicosia 1694 - Palermo 1760), friar of the Order of the Minims, was a precise cultural reference in the city of Palermo during the first half of the eighteenth century, thanks to the study of mathematics and as founder of a scientific academy lively frequented by scholars of the time. Fond of time measurement, he entered into matter of *crepuscoli* in opposition to a statements of Cosimo Agnetta, royal architect. He was a designer of sundials and of an unusual clock with ancient hours, leaving publications about.

*Keywords:* Sicilia, Mathematicians, Clock, Gnomonique

## 1. Gabriele Bonomo, da Nicosia al Convento di S. Oliva a Palermo

Giovanni Battista Bonomo nasce nel 1694 a Nicosia, in prossimità di Enna, in una famiglia benestante, forse legata ai nobili Bonomo di origine triestina.<sup>1</sup> Interessata nel tempo da 24 baronie, la città mantiene un contesto architettonico pregevole. Tra le diverse strutture religiose è presente il convento dei Minimi intitolato a San Francesco di Paola in cui è ragionevole presumere che Giovanni Battista abbia maturato il suo percorso di fede. A quindici anni, infatti, egli chiede di entrare nel noviziato del Convento dei frati Minimi di S. Oliva a Palermo, un edificio imponente, corredato di una bella chiesa intitolata al fondatore dell'Ordine e di una ricca biblioteca.

Dopo la professione, assunto il nome Gabriele, Bonomo ricopre ancor giovane sia l'incarico di reggente degli studi sia quello di Provinciale per la Sicilia.<sup>2</sup> Insieme agli studi teologici egli coltiva quelli matematici e nel tempo anche quelli fisici. La sua biografia non è segnata da eventi speciali perché il frate trascorre i suoi giorni nel Convento di S. Oliva fino alla morte nel 1760. Tuttavia la sua figura e i suoi lavori sono segnalati in repertori autorevoli italiani e stranieri. (De Tiplido 1837; Poggendorff 1863; Riccardi 1870)

---

<sup>1</sup> Il territorio di Nicosia era stato luogo di passaggio e insediamento di coloni provenienti dalle regioni settentrionali. A conseguenza i nicosiani mantengono nella lingua peculiari inflessioni lombarde.

<sup>2</sup> Bonomo fu Provinciale per la Sicilia tre volte.



**Fig. 1.** Ritratto di Gabriele Bonomo. Cortesia della Biblioteca Comunale di Palermo

Nei suoi interessi scientifici Bonomo si distingue, infatti, per aperture di pensiero e di operatività culturale in una Sicilia di metà Settecento in cui i riflessi delle iniziative di Carlo III di Borbone stanno aprendo qualche esile breccia verso le riforme illuminate della fine del secolo, ma non riescono tuttavia ad essere determinanti se non per un proliferare di Accademie e circoli di conversazione. A tal proposito Domenico Scinà così scrive:

Gli ingegni all'entrar del 1750, scosso il giogo delle scuole, impresero nuovi studii, nuovi metodi, nuova maniera di filosofare. Fu segno di tal cambiamento la vaghezza, che mostrarono delle cose matematiche, dalle quali erano stati alieni nella prima metà del secolo, e verso le quali si volsero in quel punto con gran sollecitudine. Questa nuova ed utile direzione fu data ai loro studii dal seminario dei Teatini, dal gesuita p. Spedalieri, dal p. Bonomo de' Minimi, e da Niccolò Cento. Poiché insegnando questi assiduamente nella capitale le cose geometriche, ne dilatarono la conoscenza nelle altre città, e mettendone in tutti desiderio, ne resero volgare la cultura. [...] Per l'amor, che portava alle matematiche, (Bonomo) apri in Palermo nella casa della sua religione una accademia tutta diretta allo studio di queste scienze, era questa frequentata dal p. Castrone, dal cavaliere Abate, e dal gesuita Spedalieri [...]. (Scinà 1825, p. 9)

Questi primi riferimenti permettono di inquadrare Bonomo nel contesto palermitano sia per la stima che raccoglie come studioso aperto ai nuovi percorsi scientifici sia per il

dinamismo e la libertà nel fondare un'accademia in cui convergono matematici di riguardo indipendentemente dagli equilibri sociali del momento.<sup>3</sup>

D'altronde la prestigiosa tradizione scientifica dell'Ordine dei Minimi, che annovera scienziati di spicco operanti tra Parigi e Roma,<sup>4</sup> grazie all'impegno di Marin Mersenne, ha già avuto un precedente significativo, considerato propedeutico alla istituzione da parte di Colbert dell'"Académie des Sciences".<sup>5</sup>

Se il confronto e la diffusione delle idee rappresenta un fronte nella personalità del Nostro, su un altro versante troviamo un suo impegno di vita ancor più determinante, l'amore per la didattica. Per inciso si evidenzia che Bonomo è ricordato per il carattere socievole e disponibile all'ascolto, una peculiarità che emerge anche in questo secondo ruolo,<sup>6</sup> che egli esplica sostenendo il valore della formazione scientifica nei noviziati siciliani attraverso il metodo analitico.

Anzi presso de' Minimi si vide, non senza gran senno, rinnovata la legge, che avea tanto onorato la scuola di Platone; poichè fu stabilito, che niuno potea professar l'istituto, se prima inteso non fosse di geometria: fu disposto un tale statuto dal p. Bonomo si dica ad onore di lui, allorchè governava da provinciale il suo ordine in Sicilia; giacchè era così preso di tali studii, che, non pago d'istruirne i suoi confratelli, assiduo era ad insegnare a chicchessia le cose geometriche, e con tal pazienza, che tutti e di ogni maniera ne partiano istruiti e soddisfatti. (Scinà 1825, p. 11)

Cagionevole di salute, Bonomo dedica gli ultimi anni della sua vita alla composizione di lavori per trasmettere e divulgare il suo pensiero. A partire dal 1747 vengono alla luce tre pubblicazioni in latino, l'*Automatum inæquale* (Bonomo 1747a), la *Trigonometria* (Bonomo 1754) e l'*Horographia* (Bonomo 1758a); a due di esse egli allega due studi teorici (Bonomo 1747b) che restano tuttavia testimonianze isolate di un talento che ha dato priorità alla finalità educativa della matematica.

[...] Lo stesso p. Bonomo stando solo nella sua cella, senza incoraggiamento, passò la vita ad insegnare le prime istituzioni, e non potè alzarsi alla gloriosa altezza delle sublimi matematiche. Certamente non mancava in lui nè attitudine a tali studii, nè vigor di mente, nè pazienza della fatica; giacchè ne' due rami, a che per le circostanze venne a limitarsi, trigonometria cioè e gnomonica, fama sopra tutti acquistossi. Il trattate, ch'ei mandò fuori, di trigonometria piana e sferica è chiaro, conciso, fiancheggiato da forza di dimostrazione, opportuno ad imprimere nelle menti de' giovani gli utili ed ingegnosi ritrovati di questo ramo importantissimo delle cose geometriche. E se nella gnomonica procede coi modi facili e piani, sempre lo fa da scienziato, perchè sempre scorge il lettore sotto la guida della

<sup>3</sup> Benedetto Maria Castrone era un frate predicatore e dialogava con il gesuita Spedalieri malgrado l'antagonismo dei due Ordini per l'insegnamento superiore della Teologia nel contesto siciliano.

<sup>4</sup> Basti ricordare oltre a Mersenne anche Emmanuel Maignan per il Seicento e François Jacquier e Thomas Le Soeur per il Settecento.

<sup>5</sup> Marin Mersenne era stato promotore di incontri scientifici tra studiosi rinomati nel Convento dell'Annunziata a Parigi.

<sup>6</sup> Una testimonianza in tal senso ci perviene anche da una lettera di Domenico Schiavo al Padre Mollet, incaricato di raccogliere notizie dell'Ordine dei Minimi.

trigonometria, e con l'ajuto di questa lo conduce a sciogliere i più curiosi e piacevoli problemi dell'orografia. Giunse, egli è vero, a levar su lo sguardo alla sublime matematica, al problema volgendosi delle due medie proporzionali; ma appena, che l'ebbe riguardato, ricadde subito nella gnomonica, per la quale era presso i nostri in gran pregio, e di cui per la lunga consuetudine pigliar soleva diletto. [...]. (Scinà 1725, tomo II, p. 14)

Bonomo costituisce un personaggio interessante che richiede una rivisitazione. Per questo motivo è nata un'iniziativa da parte di studiosi per ripubblicare i suoi libri tradotti in italiano i cui risultati sono in itinere.<sup>7</sup>

## 2. L'impegno didattico e il metodo innovativo

Un aspetto che emerge dalla lettura dei testi di Bonomo è che il suo pensiero abbia una certa "modernità" malgrado la sua vita riservata in Convento. Vero è che nelle notizie biografiche lasciate dal Beritelli (1819) si apprende che i confratelli di Parigi lo richiedono in Francia, il che conferma indirettamente che egli mantiene con loro dei contatti epistolari. D'altronde l'apertura di Bonomo alla fisica e a Newton non può che avere ricevuto supporto dai commenti dei confratelli François Jacquier e Thomas Le Seur.<sup>8</sup>

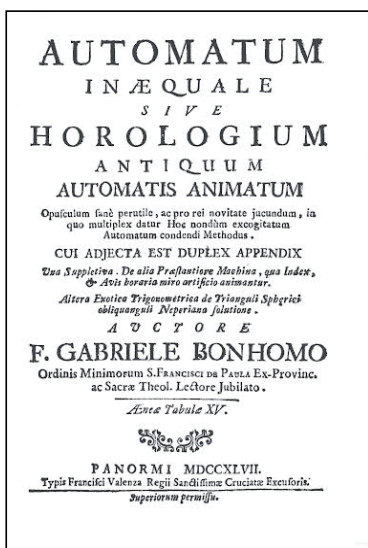


Fig. 2. Frontespizio dell'Automatum Inaequale

<sup>7</sup> Durante la preparazione di questi atti è stato pubblicato l'Automatum Inaequale, tradotto in italiano da Michela Goretta. (Lo Pinzino et al. 2015)

<sup>8</sup> François Jacquier scrisse l'elogio funebre di Gabriele Bonomo. (Roberti 1922)

Questo spirito innovativo affiora già nel suo primo libro *l'Automatum Inaequale*, non tanto per l'inventiva e la perizia di progettare un peculiare orologio che adotta le ore antiche, quindi disuguali per durata,<sup>9</sup> ma soprattutto per l'attenzione che egli pone negli esercizi sulle conversioni da un sistema orario all'altro,<sup>10</sup> circostanza questa che costituisce una premessa educativa al concetto di misura del tempo nei vari sistemi di riferimento.

Il suo interesse per gli strumenti, costruisce per sé telescopi e microscopi, è poi legato al valore che egli riconosce all'indagine ed alla verifica sperimentale. Bonomo sostiene la necessità per il loro uso che a monte si adotti il metodo trigonometrico ed il calcolo neperiano per evitare le incertezze e le approssimazioni del metodo geometrico, pur riconoscendo che questo è quello più facilmente percorribile da chi non possiede un bagaglio di studi adeguato. Nel terzo enunciato del I capitolo Bonomo scrive:

Le operazioni geometriche, gli errori delle quali derivando o da una mano esitante, o da uno strumento grossolano, o non possono essere evitati o vengono corretti con difficoltà, se non con un lavoro e solerzia eccessiva, possono essere ridotte ad una prassi esatta. Per questi motivi le operazioni trigonometriche sono da preferire a quelle geometriche; infatti il calcolo trigonometrico dei triangoli risolto con l'analisi è più esatto, più facile e più divertente di quello geometrico, come i professori di Trigonometria vedono più chiaramente con evidenza, e riconoscono. (Bonomo 1747a, pp. 7-8)

La 'difesa' della Trigonometria da parte di Bonomo si concretizza in un trattato sulla materia che è pubblicato sette anni più tardi e che è elogiato dallo stesso Scinà. (Scinà 1825, tomo II, p. 14) Insieme a questo testo Bonomo sta già lavorando sulla sua *Horographia* (1758a) che esita, però, a pubblicare fino al 1758 grazie alle esortazioni ricevute da parte dei suoi estimatori. Quali i motivi di tale incertezza? Al *Lettore benevolo* Bonomo scrive:

Avevo deciso di mantenere per me questo mio opuscolo di Gnomonica, e di non mostrarlo mai a nessuno; ciò perché lo ritenevo di importanza trascurabile, e lo valutavo ben poco, specialmente perché si riferiva a pochi elementi fra gli innumerevoli e molto puntuali introdotti dai matematici in merito.

Ma poiché la maggior parte delle persone con cui avevo rapporti si esprimevano per una non disprezzabile utilità dell'uso delle mie proposizioni, in quanto fornivano molte facilitazioni nella soluzione dei problemi, su loro consiglio mi sono risolto a sottoporlo al pubblico giudizio.

---

<sup>9</sup> Nel sistema antico o temporario i periodi diurno e notturno sono suddivisi ciascuno in dodici ore, che pertanto nel corso dell'anno sono di diversa ampiezza tranne che negli equinozi. Pur essendo un sistema obsoleto Bonomo lo sostiene per una comunità conclusa per il più alto grado di informazione astronomica.

<sup>10</sup> I sistemi ad ore uguali sono il babilonese, l'italico e l'astronomico che computano le 24 ore rispettivamente dall'alba, dal tramonto e dal passaggio al meridiano.

Ho esitato spesso, e non avrei cessato di esitare se non si fosse aggiunto il comando di altri, che non potrei deludere senza arrossire. Superata la ritrosia, offro il libro ai principianti, che desiderano cimentarsi in un tanto dilettevole esercizio di costruire orologi solari. Ma prego che non presumano di affrontare questo libro con audacia, se non hanno sufficienti conoscenze nelle altre nozioni da cui esso assolutamente dipende. Quindi li prego, prima di iniziare questo libro, di prepararsi con cura in Geometria, Sferologia, e Trigonometria. [...]. (Bonomo 1758a, prima della Prefazione)

Il confronto con i trattati simili scritti da matematici autorevoli a cui lui stesso fa riferimento nella trattazione, soprattutto Castrone e Maignan (1748), certamente crea questa esitazione e non senza motivo. Giuseppe Piazzi nel suo scritto *Sulle Vicende dell'Astronomia in Sicilia* (Piazzi 1990), pur considerando Bonomo con riguardo, giudica la sua *Horographia* (Bonomo 1758a) un compendio di quella del Castrone. Non si può negare la più ampia e articolata trattazione di Castrone, tuttavia si osserva che Bonomo ha già anticipato nella *Trigonometria* (1754) alcuni argomenti, quali la dimostrazione dei triangoli sferici e la sfera armillare, a cui rimanda egli stesso il lettore. Ciò per sottolineare che la formazione preliminare di carattere generale è necessaria prima di affrontare gli aspetti applicativi.

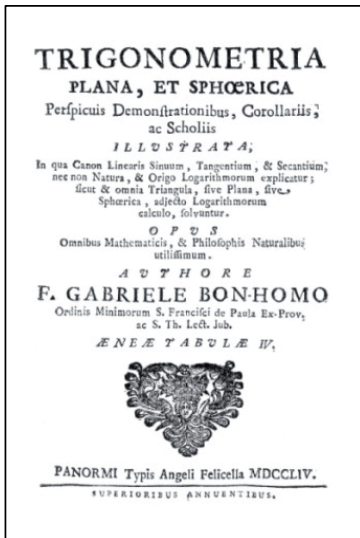


Fig. 3. Frontespizio della *Trigonometria Plana, et Sphaerica*

Esiste, poi, un'altra circostanza che può creare in Bonomo esitazione a pubblicare. Il libro si sviluppa su argomenti tradizionali della Gnomonica, dedicando anche un capitolo agli orologi solari portatili ed un altro agli orologi a riflessione e rifrazione. Egli conclude, però, con un ampio capitolo che intitola *In digressione de Crepuscolis* (Bonomo 1754a, pp. 192-215) in cui affronta non solo il problema concettuale ma

anche le posizioni assunte nel merito da Cosimo Agnetta (Agnetta 1753) e finalizzate al calcolo della mezzanotte per il digiuno eucaristico. Lo Scinà ancora scrive:

[Bonomo] è da lodarsi per la teorica, che ci recò del crepuscolo, allorchè ne venne impugnando la tavola pubblicata in Palermo nel 1753 da Cosimo Agnetta. Chiara e precisa è l'esposizione, che ci fa di tutte le difficoltà, che seco naturalmente porta un sì fatto genere di osservazioni, massime in Palermo città attorniata in gran parte di monti: difficoltà, alle quali non pose l'Agnetta come dovea, la mente, avendo nelle sue osservazioni scelto una torre situata nel punto più basso, e niente aperto della città. Nitide poi e brevi sono le regole, che porge a calcolare con quella esattezza, che maggiore si può, la durata del Crepuscolo. E se scredita quella tavola, o motteggia l'Agnetta, lo fa sempre non senza modestia, e con qualche piacevolezza. Ma egli è certo, ed è questo il suo posto, che il Bonomo valoroso essendo in trigonometria e gnomonica, non si fece più addentro nelle matematiche, e sopra di ogni altro merita la nostra gratitudine, perché trasse i suoi giorni leggendo, scrivendo, insegnando, e divulgando in Palermo le cose geometriche. (Scinà 1825, pp. 16-17)

Per delineare la situazione occorre ricordare che Cosimo Agnetta, architetto regio, appartiene come Castrone al Convento di San Domenico. I dati delle sue tavole sono in contrasto con quelli forniti dal confratello nella sua *Horographia Universalis* (Castrone 1728), ma come evidenzia Bonomo, anche con quelli del Dechaies (Deschaies 1674) e del Maignan. (Maignan 1748)

Il nostro prende occasione per delineare una traccia di protocollo sperimentale tenendo conto del parere di Dechaies (1674), Castrone (1728) e Clavio (1696):

[...] per avere accurate osservazioni per trovare le durate crepuscolari, gli Astronomi richiedono più cautele:  
 che il cielo sia sereno, senza nuvole, e che l'orizzonte non sia occupato da nebbie più spesse [...].  
 orizzonte libero da impedimenti, monti, torri edifici o altro [...]  
 una specola, o una torre alta, da cui si possa vedere l'orizzonte, almeno nelle parti relative alle amplitudini ortiva e occidua.  
 si scelgano gli osservatori, non vecchi, presbiteri, deboli di vista, e neppure adolescenti o miopi, ma che abbiano buona vista, perché i primi hanno necessità di maggior luce, i secondi di poca luce, mentre si devono scegliere persone intermedie, che distinguano gli oggetti, come la maggior parte della gente.  
 ed ultimo. Le osservazioni devono essere ripetute per alcuni anni, per verificare che si siano mantenute costanti. (Bonomo 1758a, p. 195)

Per l'ultimo punto si evidenzia che la norma di ripetere le osservazioni può considerarsi innovativa per i tempi e sul finire del secolo fu determinante per la precisione dei cataloghi stellari compilati da Giuseppe Piazzi. Così inoltre Bonomo scrive dell'Agnetta:

Affermo che questo autore poteva fare a meno di tanta fatica, e senza ansietà adeguare a quello che pensava le tabelle degli altri. Difatti la Chiesa non considera

l'inizio del digiuno dall'osservanza del punto di mezzanotte conteggiato matematicamente; non si può presumere, dalla pietà della S. Madre Chiesa, che essa esiga dai fedeli l'osservanza dell'ora matematica, affliggendoli con innumerevoli scrupoli; la Chiesa esige un'osservanza morale, e pratica, nel limite delle azioni umane che umanamente e comunemente possono essere praticate, secondo la morale comune. (Bonomo 1758a, pp. 196-197)

Una conferma questa della personalità di Gabriele Bonomo che, pur cercando sempre il confronto con le idee e con gli uomini, riesce comunque a mantenere la libertà di pensiero e la schiettezza del dialogo.

Si ringrazia il Direttore della Biblioteca Comunale di Palermo per avere gentilmente concesso la foto del ritratto di Gabriele Bonomo.

### Bibliografia

- Agnetta C. (1753). *Tabula novissima perpetua aurorae, ortus solis, meridia et mediae noctis*. Palermo: Valenza.
- Beritelli, G. (1819). *Gabriele Bonomo*, in Ortolani G.E. (a cura di), *Biografia degli Uomini Illustri della Sicilia*. Tomo III. Gerasi, Napoli. pp. 56-60.
- Bonomo G. (1747a). *Automatum Inaequale sive horologium antiquum automatismatum*. Palermo: Valenza.
- Bonomo G. (1747b). *Appendix exotica Trigonometrica de Triangoli Sphaerici obliquiangoli Neperiana Soluzione*. Allegata a (Bonomo 1747, pp. 98-119).
- Bonomo G. (1754). *Trigonometria plana, et sphaerica Perscipis Demonstrationibus, et Corollaris ac Schoolis*. Palermo: Felicella.
- Bonomo G. (1758a). *Horographia trigonometricae pertractata sive sciatericorum omnium planorum tum horizontalium, tum verticalium, tum etiam inclinatum, ac portatilium*. Palermo: Ferrer.
- Bonomo G. (1758b). *Appendix exotica Trigonometrica de Triangoli Sphaerici obliquiangoli Neperiana Soluzione allegata all'Automatum inaequale e Appendix de quadam Curva Semicirculo inscripta, cujus ope inveniuntur duae Mediae continue proportionales inter quasquaque datas extremas*, in (Bonomo 1758a, pp. 216-218).
- Castrone B.M. (1728). *Horographia Universalis seu sciatericorum omnium planorum*. Palermo: Aicardo.
- Clavio C. (1596). *In Sphaeram Ioannis de Sacro Bosco Commentarius*. Venetiis, Fasum B.
- Dechales M. (1674). *Cursus seu mundus mathematicus. tomo III*. Lugduni: Ex Officina anissoniana.
- De Tipaldo E. (1837). *Biografia degli Uomini Illustri nelle Scienze, Lettere ed Arti*. Venezia: Tip. Alvisapoli.



- Lo Pinzino S., Tuscano M.L. (a cura di) (2015). Bonomo G. (2015). *Automatum inaequale ovvero Orologio antico animato automaticamente*. Traduzione Goretti M., Assoro: Novagraf.
- Maignan E. (1648). *Perspectiva Horaria sive De Horographia Gnomonica tum Theoretica*. Roma: Rubel.
- Piazzì G. (1990). *Sulle vicende dell'Astronomia in Sicilia*. Palermo: Sellerio. A cura di Giorgia Foderà Serio.
- Poggendorff J.C. (1863). *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Naturwissenschaften*. Leipzig: Barth, Volume I, p. 235.
- Riccardi P. (1870). *Biblioteca matematica italiana: dalla origine della stampa ai primi anni del XIX secolo*. Modena: Tipografia dell'erede Soliani, p.155.
- Roberti G.M. (1922). *Disegno storico dell'Ordine dei Minimi: dalla morte del Santo istitutore fino ai nostri tempi*. Roma: Soc. tip. Editrice Romana, Volume III, pp. 599-602.
- Schiavo D. (1756). *Memorie per servire alla Storia letteraria di Sicilia*. Palermo: Bentivegna.
- Scinà D. (1824). *Prospetto della Storia letteraria di Sicilia nel secolo decimottavo. Volume I*. Palermo: Presso Lorenzo Dato.
- Scinà D. (1825). *Prospetto della Storia letteraria di Sicilia nel secolo decimottavo. Volume II*. Palermo: Presso Lorenzo Dato.
- Tuscano M.L. (2010). "L'orario Italicò civile a Palermo". *Gnomonica Italiana* 22, pp. 39-43.



# Giuseppe Lorenzoni: uomo, astronomo e maestro

Valeria Zanini - INAF Osservatorio Astronomico di Padova  
valeria.zanini@oapd.inaf.it

*Abstract:* The year 2014 marked the 100th anniversary of the death of Giuseppe Lorenzoni, fourth director of the Astronomical Observatory of Padova. At the present day, he is remembered because he was one of the best Italian geodesist of the late nineteenth century, but his scientific activity ranged from classical astronomy to spectroscopy and geodesy. He introduced solar physics research at the Observatory of Padova, and in 1871 he was one of the promoters of the “Società degli Spettroscopisti Italiani”, the first “astrophysical” society, which created a network among astronomers working in solar physics in Italy and abroad. He was also promoter, with Pietro Tacchini, of the Italian expedition in India to observe the transit of Venus across the Sun’s disk in 1874; for this expedition the Italian astronomers developed an innovative and specific methodology of spectroscopic observations, which achieved great international consensus. In 1878 he became member of the “Commissione Geodetica italiana per la misura dei gradi”, and then he focused his scientific interests mainly in the geodetic field.

But Giuseppe Lorenzoni was, above all, an excellent teacher for the whole new generation of astronomers at the end of the nineteenth century; under his leadership, the Paduan school of astronomy became point of excellence for the astronomical education in Italy.

*Keywords:* Lorenzoni, astronomy, astrophysics, geodesy

## 1. Introduzione

### 1.1. La formazione culturale e la carriera accademica

Giuseppe, figlio di Giovanni Lorenzoni, maestro elementare, e Giovanna Dalla Mura, nacque a Rolle di Cison di Valmarino (TV) il 10 luglio 1843. Primo di molti fratelli, egli restò sempre profondamente legato alla famiglia e soprattutto al padre, punto di riferimento della sua formazione culturale e umana.

Diplomatosi presso l’I.R. Scuola Reale Superiore di Venezia, nel 1860 s’iscrisse all’Università di Padova, dove frequentò i corsi d’ingegneria civile. Terminato il quadriennio di studi ma non ancora laureato, ricevette dalla Direzione degli Studi Filosofici la nomina temporanea ad assistente alla cattedra di Astronomia, di cui era titolare Giovanni Santini (1787-1877), direttore del locale Osservatorio. Conseguì quindi la laurea in Ingegneria Civile e Architettura il 26 aprile 1864 e l’anno successivo

chiese ed ottenne di poter anche essere ammesso agli esami di maturità presso l'I. R. Ginnasio Liceale di Padova, esami che sostenne positivamente il 28 agosto 1865. Dal 1867, confermato assistente, gli fu affidato il regolare incarico delle lezioni di astronomia. Nel 1872 fu poi promosso astronomo aggiunto mentre l'anno seguente ottenne la nomina a professore straordinario. Con l'anno accademico 1877-1878, in seguito alla morte di Santini, divenne professore ordinario e ottenne la direzione dell'Osservatorio, incarico che mantenne fino al 1913, anno in cui si ritirò in quiescenza. Dal 1869 all'85 fu anche incaricato della cattedra di geodesia. Nel triennio 1891-1894 fu Preside della Facoltà di Scienze dell'Università di Padova, ma "rifiutò la carica di rettore dell'Università malgrado i voti unanimi e le unanimi insistenze del collegio accademico".<sup>1</sup>

## **1.2. Il contesto storico**

Nel 1863, anno d'ingresso del Lorenzoni alla Specola, l'Osservatorio padovano stava attraversando un periodo d'incertezza sia politica che scientifica, dovuta soprattutto alle vicende risorgimentali. Nel 1861, infatti, anno di proclamazione del nuovo Regno d'Italia, il Veneto era rimasto sotto il dominio Austro-Ungarico e Santini, all'epoca quasi ottantenne, aveva a disposizione come collaboratori scientifici solo il promettente astronomo aggiunto Virgilio Trettenero (1822-1863), che di lì a pochi mesi morirà per grave malattia, e l'alunno Enrico Nestore Legnazzi (1826-1901), fervente patriota, già attivo partecipante dei moti del '48, ma che proprio nel 1863 fu arrestato dalla polizia austriaca per sospetto tradimento. (Zanini 2014) L'anziano direttore si era ritrovato quindi sostanzialmente solo a sostenere le varie incombenze d'ufficio e per questo gli fu necessario richiedere un nuovo assistente. Lorenzoni, giovane serio e promettente, accettò ben volentieri la carica che, in quell'incerto momento storico, gli dava l'opportunità di una sistemazione dignitosa e di una discreta sicurezza economica.

## **2. La 'nuova astronomia'**

### **2.1. Un nuovo corso per l'astronomia padovana**

L'arrivo di Lorenzoni alla Specola segnò l'inizio di un rinnovamento per l'astronomia padovana. Santini, infatti, aveva sempre operato nell'ambito della meccanica celeste, focalizzandosi in particolare sull'esatta determinazione delle posizioni stellari.<sup>2</sup> In realtà, dalla metà dell'Ottocento si stava sviluppando un nuovo campo d'indagine, la spettroscopia astronomica, disciplina alla quale l'ambiente accademico padovano non

---

<sup>1</sup> Archivio dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (AOA), Fondo Antonio Abetti, Cartella D, n. 4, *Stesura in italiano del necrologio in tedesco: Giuseppe Lorenzoni, von A. Abetti, "Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft", 49. Jahrgang, Volume 3 e 4, 1914*; cortesia di Simone Bianchi.

<sup>2</sup> Il suo principale risultato scientifico in questo campo è costituito dai cinque *Cataloghi padovani*, tra i più precisi dell'epoca, comprendenti un totale di quasi 10.000 stelle osservate nel corso di circa trent'anni.

aveva prestato interesse. Tuttavia nel 1870 ebbe luogo un evento molto importante, che obbligò il giovane Lorenzoni ad accostarsi, suo malgrado, alla “nuova astronomia”: quell’anno, infatti, si verificò un’eclisse di Sole, la cui fascia di totalità interessò anche la parte sud-orientale della Sicilia. In tale occasione, il giovane Regno italiano organizzò la prima spedizione scientifica della sua storia e la comunità degli astronomi si recò unita, in loco, ad osservare il raro fenomeno celeste. (Cacciatore 1872, Pigatto 1998, Chinnici 2008) A Lorenzoni, che partecipò alla spedizione come incaricato per Padova, fu inizialmente chiesto di eseguire osservazioni di tipo classico, registrando figura e posizione delle protuberanze. Pochi mesi prima della partenza, tuttavia, gli fu affidato l’incarico di svolgere anche osservazioni spettroscopiche, settore nel quale non aveva alcuna esperienza. Per formarsi adeguatamente, contattò direttamente padre Angelo Secchi (1818-1878), autorità indiscussa nel campo a livello mondiale. A lui chiese consigli sia riguardo lo strumento da acquistare, sia sulle pratiche osservative da attuare. Incoraggiato dalla fiducia e dai consigli che ricevette in risposta, si applicò con zelo a questa nuova pratica, acquisendo ben presto importanti competenze. I risultati ottenuti in Sicilia lo stimolarono poi a proseguire le ricerche di spettroscopia solare anche a Padova dove, introdotto lo spettroscopio, approfondì gli studi teorici sul suo funzionamento. (Zanini 2010) In breve tempo egli fece sua la nuova disciplina e divenne uno dei principali studiosi italiani di questa scienza, allora totalmente ai primordi.

## **2.2. La Società degli Spettroscopisti italiani**

Proprio a quest’avventura in terra siciliana risale l’inizio della pluriennale amicizia di Lorenzoni con Pietro Tacchini (1838-1905), che all’epoca era astronomo aggiunto presso l’Osservatorio di Palermo e che era stato il vero braccio operativo di tutta la missione. Dallo stretto legame che si consolidò tra i due, e grazie all’influente autorità scientifica di Secchi, fiorì l’idea, ben presto concretizzata dal dinamico Tacchini, di riunire tutti i cultori italiani della nascente astrofisica in una società scientifica, finalizzata a coordinare un programma di osservazioni spettroscopiche solari. Lo scopo primario di quest’associazione era monitorare l’attività solare di macchie, facole e protuberanze, attraverso l’osservazione contemporanea su tutto il territorio italiano.

La “Società degli Spettroscopisti Italiani” nacque dunque nell’ottobre del 1871 e con essa nacquero anche le *Memorie della Società degli Spettroscopisti italiani*, l’organo di stampa ufficiale della Società, oggi considerate la prima rivista di astrofisica al mondo. (Chinnici 1997) Le *Memorie* ospitavano anche articoli, redatti in lingua madre, di corrispondenti stranieri, tra cui i più importanti studiosi di astrofisica dell’epoca (Janssen, Rayet, Lockyer o Young, solo per citarne alcuni). È significativo osservare che i due articoli di apertura, pubblicati nel primo numero delle *Memorie* subito dopo la nota introduttiva del curatore Tacchini, portano la firma proprio di Giuseppe Lorenzoni. Nel primo dei due, Lorenzoni confermava quanto aveva già osservato in precedenza, nel mese di aprile del 1871, e cioè l’esistenza nello spettro solare di una riga, da lui denominata *f*, collocata tra la *F* e la *G* dello spettro di

Fraunhofer, a 4471,61 Å, monitorata con lunghe e ripetute osservazioni. Era questa la riga dell'elio neutro, già osservata indipendentemente in precedenza da John Herschel (1792-1871) in pieno Sole e da Charles Augustus Young (1834-1908) nel corso di un'eclisse. Pur non potendo vantare il merito della scoperta, Lorenzoni fu però il primo ad averla osservata con costanza e ad aver messo a punto una procedura osservativa che gli consentì di "studiarla con facilità e sicurezza." (Lorenzoni 1872, p. 8)

### 3. Il transito di Venere del 1874

Il rarissimo fenomeno del passaggio di Venere sul disco solare, avvenuto nel dicembre 1874, fu un'ulteriore occasione, per Lorenzoni, per approfondire gli aspetti teorici della spettroscopia solare. Anche in questo caso il governo italiano supportò una spedizione astronomica, questa volta fino in India. (Tacchini 1875; Pigatto, Zanini 2001; Chinnici 2003) Lorenzoni non vi partecipò in prima persona, ma istruì all'uso dello spettroscopio Antonio Abetti (1846-1928), membro designato per Padova. Tutti gli sforzi organizzativi della missione, infatti, si erano concentrati sulla pianificazione di osservazioni spettroscopiche del fenomeno, secondo una metodologia innovativa elaborata proprio dagli astronomi italiani che, in quell'occasione, la testarono in previsione di farne largo impiego nel successivo transito del 1882. Il procedimento osservativo consisteva nell'evidenziare spettroscopicamente le righe di emissione della cromosfera solare, altrimenti invisibile, così da cogliere il passaggio del disco oscuro del pianeta su di essa prima ancora che questo toccasse il bordo del Sole. Tuttavia non fu semplice definire la giusta configurazione da dare allo spettroscopio, tanto che Lorenzoni e Secchi si confrontarono a più riprese sull'argomento, tramite diversi articoli apparsi sulle *Memorie*. Le innovative osservazioni italiane riscossero un unanime consenso internazionale ma, ciò nonostante, nel successivo passaggio del 1882 non fu possibile organizzare un'altra spedizione (Pigatto, Zanini 2004), sia a causa delle difficoltà finanziarie in cui versava il nuovo Governo, sia per colpa della miopia scientifica del preposto Ministro dell'Istruzione, che ne sottovalutò l'importanza. In questo modo gli astronomi italiani persero l'opportunità di essere coinvolti nel più ampio dibattito scientifico che si sviluppò in seguito, con la grave conseguenza di un progressivo arresto, in Italia, dello sviluppo della moderna astrofisica. Anche la strumentazione a disposizione di Lorenzoni era ormai obsoleta per poter tenere il passo dei colleghi d'oltre Manica o d'oltre oceano, e certamente anche questo è uno dei motivi per cui egli, suo malgrado, dovette ben presto dirigere le sue attività di ricerca verso un altro campo, quello geodetico.

### 4. Geodesia e astronomia classica

Sin dal 1873 Lorenzoni aveva preso parte alle riunioni della "Commissione Permanente italiana per la misura del Grado europeo", in qualità di supplente del Santini. Divenuto membro effettivo nel 1878, da allora egli focalizzò i suoi interessi scientifici soprattutto

in questo settore, impegnandosi nella determinazione astronomica delle coordinate terrestri e in misure di allineamenti azimutali e di differenze di longitudine in tutta Italia. I lavori osservativi eseguiti sul campo portarono Lorenzoni a concentrarsi sul problema della determinazione dell'intensità della gravità locale, fondamentale per determinare la figura del geoide. Attrezzato quindi l'Osservatorio con la necessaria strumentazione, egli determinò con estrema accuratezza la lunghezza del pendolo che batte i secondi a Padova. I risultati della sua ricerca, accompagnati dalla precisa descrizione della metodologia usata, furono presentati in una poderosa memoria di ben 240 pagine (Lorenzoni 1888), che lo consacrò definitivamente come massima autorità italiana nel campo.

Pur avendo di fatto condotto l'Osservatorio verso nuovi temi d'indagine rispetto al suo predecessore, Lorenzoni non aveva tuttavia abbandonato l'astronomia classica. Uno dei più importanti contributi che egli fornì ai colleghi in questo settore, fu il reticolato per il tracciamento delle scie meteoriche. (Lorenzoni 1876) Coinvolto sin dal 1871 in un programma transnazionale italo-francese d'osservazioni simultanee di stelle cadenti, egli si era scontrato con la difficoltà oggettiva di registrarne con precisione le traiettorie. Lo studio delle stelle cadenti, infatti, implicava la determinazione dei *punti radianti*, ossia dei luoghi della sfera celeste dai quali sembravano provenire tutte le traiettorie delle meteore di una medesima pioggia, e per questo era necessario tracciare graficamente tali traiettorie su di un'apposita griglia, rappresentante la volta celeste, per determinare ove esse tendessero a convergere. Lorenzoni ideò quindi questo nuovo reticolato, poi adottato internazionalmente.

## 5. Il Maestro Lorenzoni

Il principale merito che va riconosciuto a Lorenzoni è probabilmente quello di aver ricoperto un ruolo fondamentale nella formazione di tanti giovani astronomi, in oltre quarant'anni d'insegnamento. Molti dei suoi discepoli andarono, infatti, a ricoprire incarichi di primo rilievo nel panorama astronomico italiano. Tra questi, meritano di essere citati: Giuseppe Ciscato (1859-1908), che fondò e diresse la stazione di Carloforte in Sardegna; Emilio Bianchi (1875-1942), divenuto direttore dell'Osservatorio di Brera; Antonio Maria Antoniazzi (1872-1925) e Giovanni Silva (1882-1957), che gli succedettero a Padova nella direzione; e ancora Antonio e Giorgio Abetti (1882-1982), padre e figlio, che divennero entrambi direttori dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Antonio, prima di accettare la direzione di Arcetri, aveva rifiutato le analoghe posizioni di Torino e Palermo, proprio per continuare a lavorare sotto la guida del 'Maestro',<sup>3</sup> giacché reputava che "il lasciarlo [anticipatamente fosse] un suicidio astronomico almeno fino al punto di una preparazione compiuta".<sup>4</sup> Per precisa volontà del padre, anche Giorgio studiò a Padova con Lorenzoni, il quale

<sup>3</sup> Questo era l'appellativo con cui gli allievi chiamavano il Lorenzoni: "l'appellativo di Maestro passò in antonomasia tra noi, né ci venne fatto di ricordarlo, quando che fosse, altrimenti" (AOA, Fondo Antonio Abetti, Cartella D, n. 4, *Stesura in italiano*, cit.).

<sup>4</sup> AOA, Fondo Antonio Abetti, Cartella D, n. 4, *Ricordi di Padova dal 1863 al 1894*.

successivamente sostenne con entusiasmo la sua scelta di approfondire la propria formazione astrofisica prima in Germania e poi negli Stati Uniti, dove tali ricerche erano particolarmente fiorenti.

D'altronde Lorenzoni aveva sempre considerato prioritaria la sua attività didattica, e anzi riteneva indispensabile che si creasse una specifica scuola per preparare alla carriera astronomica dato che, all'epoca, le giovani leve giungevano da studi di carattere matematico oppure ingegneristico, senza avere avuto la possibilità di formarsi attraverso un apposito percorso. (Lorenzoni 1882, pp. 1597-1598) Tuttavia egli non riuscì mai ad ottenere l'istituzione di un corso di studi interamente dedicato all'astronomia, cosa che gli sarebbe premuta particolarmente. Questo obiettivo fu raggiunto solamente un centinaio di anni dopo, dal suo successore Leonida Rosino (1915-1997), il quale nel 1968 istituì il primo corso di laurea in Astronomia in Italia.

## 6. Conclusioni<sup>5</sup>

Alla scomparsa di Giuseppe Lorenzoni, i suoi discepoli, per commemorarne la memoria, diedero mandato al professor Crescini<sup>6</sup> di comporre la seguente epigrafe, che ben sintetizza le qualità dell'uomo, dell'astronomo e del Maestro Lorenzoni, che "volle essere sepolto nel Campo comune e che non rimanesse traccia alcuna della sua tomba":

Astronomo e Geodeta insigne, non allievo d'alcuno e di tanti Maestro, rinnovellò virtù e fama dell'Osservatorio Padovano, proseguì le tradizioni dello Studio glorificato da Galileo e vasta orma in ogni parte impresse delle discipline che la Terra misurano e speculano le stelle, dai cieli attingendo lume di scienza e di coscienza, pieno l'anima dell'Infinito che sgomenta ed esalta, ma senza irridere dalle immensità sideree a' simili suoi piccioletti nell'aiuola feroce. Alacre, sereno, immacolato, buono. Al Maestro, al Padre, con il cuore che trema di ricordi e di rimpianto. La fedele famiglia dell'Osservatorio Astronomico. (Cattane 1943, p. 30)

## Bibliografia

- Cacciatore G. (1872). (a cura di). *Rapporti sulle osservazioni dell'eclisse totale di Sole del 22 dicembre 1870 eseguite in Sicilia dalla Commissione italiana*. Palermo: Stab. Tip. Lao.
- Cattane P. (1943). "Giuseppe Lorenzoni". *Libri e autori. Bollettino bibliografico mensile* III (1-2), pp. 30-31.
- Chinnici I. (1997). "La Società degli spettroscopisti italiani e la fondazione dell'"Astrophysical Journal" nelle lettere di G. E. Hale a P. Tacchini", in Tucci P. (a cura di), *Atti del XVI Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia* (Como 24-25 maggio 1996), pp. 299-321.

<sup>5</sup> Una versione più ampia della presente memoria è pubblicata in Zanini (2015).

<sup>6</sup> Vincenzo Crescini (1857-1932) era professore di filologia romanza presso l'Università di Padova.



- Chinnici I. (2003). “Transito di Venere 1874: una spedizione italiana in Bengala”. *Giornale di Astronomia*, 4, pp. 45-53.
- Chinnici I. (2008). *L’eclisse totale di sole del 1870 in Sicilia. Lettere di Pietro Tacchini a Gaetano Cacciatore*. Palermo: INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo.
- Lorenzoni G. (1872). “Osservazioni spettroscopiche del bordo solare fatte nel R. Osservatorio di Padova durante l’anno 1871”. *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, I, pp. 7-16.
- Lorenzoni G. (1876). “Reticolato in proiezione gnomonica per lo studio delle radiazioni meteoriche”. *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, V, appendice, pp. 18-21.
- Lorenzoni G. (1882). “L’astronomia in questi ultimi tempi: discorso, letto nella solenne adunanza del R. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed arti il 15 agosto 1882”. *Atti del R. Istituto veneto di scienze, lettere ed arti*, s. V, v. VIII, pp. 1575-1612.
- Lorenzoni G. (1888). “Relazione sulle esperienze istituite nel R. Osservatorio Astronomico di Padova in agosto 1885 e febbraio 1886 per determinare la lunghezza del pendolo semplice a secondi, premessa la esposizione dei principii del metodo e la descrizione dello strumento di Repsold”. *Atti della R. Accademia dei Lincei*, s. IV, v. V, pp. 41-284.
- Pigatto L. (1998). “L’eclisse totale di sole del 22 dicembre 1870: la prima spedizione scientifica del nuovo Regno d’Italia”. *Coelum*, 10 e 11, pp. 32-36 e pp. 32-34.
- Pigatto L., Zanini V. (2001). “Spectroscopic observations of the 1874 transit of Venus: the Italian party at Muddapur, east India. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 2001, 4, pp. 43-58.
- Pigatto L., Zanini V. (2004). “The 1882 transit of Venus observed in Italian observatories”. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 7, pp. 18-24.
- Tacchini P. (1875). *Il passaggio di Venere sul Sole dell’8-9 dicembre 1874 osservato a Muddapur nel Bengala*. Palermo: Stabilimento Tipografico Lao.
- Zanini V. (2010). “Lo spettroscopio a visione diretta e le ricerche astrofisiche sul finire dell’800 all’Osservatorio Astronomico di Padova”. *Giornale di Astronomia*, 1, pp. 13-20.
- Zanini V. (2014). “L’Osservatorio Astronomico di Padova e l’Unità d’Italia”. *Giornale di Astronomia*, 4, pp. 2-6.
- Zanini V. (2015). “Giuseppe Lorenzoni: l’uomo, l’astronomo e il maestro”. *Atti e Memorie dell’Accademia Galileiana di Scienze Lettere ed Arti già dei Ricovrati e Patavina Parte II: Memorie della Classe di Scienze Matematiche, fisiche e naturali*. CXXXVII, pp. 73-103.



**SISFA – Società Italiana degli Storici della Fisica e dell’Astronomia**  
**Proceedings of the 34<sup>th</sup> Annual Conference – Firenze 2014**

*Edited by Pasquale Tucci*

**Abstract**

The XXXIV Annual Conference of SISFA was divided into various sections that have touched issues concerning essentially the History of modern and contemporary Physics and Astronomy, although there have been communications concerning previous epochs. The contributions dealt, as usual, with very different historiographical areas: review reports on some important aspects of the history of science, insights on some historiographical aspects of particular interest discussed in the literature, communications on original little explored themes, communications on reconstruction and the use of historical experiments in teaching, communications on collections and scientific museums.

The “Gabinetto Vieusseux”, in “Palazzo Strozzi”, hosted the inaugural session of the Conference that, for the rest, was held at the Museo Galileo. A session was dedicated to Galilei, in homage to the place that housed the Conference, and there have been references to the great scientist in other communications. Other sessions focused on “Different perspectives in the science of the 19<sup>th</sup> century”, “The role of the instruments in the scientific culture”, “Teaching with the History of Physics”, “Critical reflections on classical physics.”

A workshop on “Conservation and restoration of historical instruments: protective coatings for brass” was held at the “Fondazione Scienza e Tecnica”.

***Pasquale Tucci**, now retired, was a full professor of History of Physics at the University of Milan and Director of the Brera Astronomical Museum. His publications concern the History of Physics and Astronomy in the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century.*

E-mail: [pasquale.tucci@unimi.it](mailto:pasquale.tucci@unimi.it)

