

S. D'Agostino, S. Leva, A.P. Morando, A. Rossi, *Adolfo Bartoli e la pressione di radiazione*, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C20.1-C20.4.

## ADOLFO BARTOLI E LA PRESSIONE DI RADIAZIONE

SALVO D'AGOSTINO<sup>(1)</sup>, SONIA LEVA<sup>(2)</sup>, ADRIANO PAOLO MORANDO<sup>(3)</sup>, ARCANGELO ROSSI<sup>(4)</sup>

(1) Accademia dei XL, Roma

(2) Dipartimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano

(3) Dipartimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano

(4) Dipartimento di Fisica, Università di Lecce

Delineate le ragioni che, con sempre maggiore evidenza, suggeriscono un'attenta rilettura filologica dei contributi di quella che – con Mossoti, Felici, Pacinotti, Codazza, Ferraris, Bartoli, Maggi, Giorgi, Righi – può a pieno titolo considerarsi la Scuola Italiana di Elettromagnetismo, si propongono in modo sommario alcune note biografiche di Adolfo Bartoli, ordinario di fisica a Pavia sulla cattedra che fu di Volta.

Richiamato schematicamente il percorso storico scientifico lungo il quale, in ottica, andò sviluppandosi il dualismo corpuscolare-ondulatorio, si ripropone, a valle dell'opera maxwelliana, la nozione di pressione di radiazione. In tale contesto, colta nella sua piena autonomia rispetto alla comunità scientifica internazionale, viene presentata la lettura termodinamica che di tale pressione venne proposta dal Bartoli.

Legata ad un approccio termico, la lettura di Bartoli riporta alla scuola pisana. In questo senso, più vicina a Fourier che non a Laplace, essa non fu in alcun modo "occasionale" e rientrò a pieno titolo nella scuola italiana di fisica.

### 1. UNA NECESSARIA RIFLESSIONE PRELIMINARE: LA SCUOLA ITALIANA DI ELETTROMAGNETISMO

Per cogliere il senso e l'importanza del contributo scientifico di Adolfo Bartoli occorre calare la sua opera nel clima culturale che fu proprio dell'Italia posttrisorgimentale. Tale operazione è meno immediata di quanto sembri. Per compierla, si deve infatti descrivere un percorso storico-scientifico che, scontato in prima lettura, cela in realtà, sotto forma di una serie di consapevolezze a tutt'oggi non sufficientemente chiarite e consolidate, non poche insidie. Non tanto relativamente ai limiti socio-culturali e scientifici di quell'epoca, oggi ormai ben noti e condivisi, quanto invece per ciò che riguarda quelli che, in seconda lettura, potrebbero oggi anche essere visti come degli "inaspettati pregi scientifici". Nel caso di Bartoli, non tenerne conto potrebbe indurre ad attribuire erroneamente al suo contributo un carattere di isolata occasionalità che, nella realtà, di fatto non ci fu.

In passato l'opera degli scienziati dell'Ottocento italiano è stata analizzata in modo del tutto sommario, con esiti quanto mai parziali e superficiali. Le cause oggettive di questa lacuna riportano alla pretesa crociana di attribuire alla scienza un ruolo secondario rispetto agli studi umanistici. Ciò ha fatto sì che, alla diffusa presenza di storici della letteratura e della filosofia, non sia sempre corrisposta, nella dovuta forma "equipollente", quella degli storici della scienza. Così, mentre i primi si sono occupati – a tempo pieno e soprattutto in forma professionale – della storia

della letteratura e della filosofia, alla storia della scienza è stata troppo spesso riservata, da parte di “non professionisti del settore”, un’attenzione episodica e puramente rievocativa, del tutto estranea al necessario rigore filologico e troppo spesso prossima invece all’aneddotta da intrattenimento. In altri termini, con grave danno, un Francesco De Sanctis della scienza non c’è mai stato... Occorre poi tenere ben presente che, in altri periodi storico-politici, sono state privilegiate urgenze di tipo agiografico finalizzate a enfatizzare l’“ineluttabile primato del genio italico”. In tal modo, piuttosto riflettere sull’inadeguatezza dell’orizzonte culturale, scientifico e imprenditoriale di quel tempo, è stata data ampia attenzione all’eccezionalità del genio del momento e soprattutto alle immancabili “trame di stranieri pronti a carpire genio e buona fede italici”. Nessuna attenta rilettura fisico-matematica è stata invece compiuta sull’opera di questi scienziati al fine di evidenziare il rigore e l’importanza dei loro contributi. Così, esaurita l’effimera esigenza agiografica del momento, il loro autentico valore, che pure ci fu e che solo un’adeguata filologia fisico-matematica avrebbe potuto evidenziare, è rimasto del tutto in ombra. Nel caso di Galileo Ferraris, ad esempio, essa avrebbe evidenziato, con la forte valenza maxwelliana del suo approccio, il profondo e innovativo senso scientifico della sua lettura ingegneristica. Per la stessa ragione, per molti scienziati sono state sbrigativamente e riduttivamente classificate come “scoperte” quelle che, meta voluta al termine di un preciso e coerente percorso concettuale, furono invece delle ben consapevoli e volute invenzioni. Restando ancora nel caso di Ferraris, ad esempio, ciò è accaduto per la sua teoria maxwelliana del trasformatore e del campo rotante. In tal modo, l’*humus* culturale nel quale, con ben precise implicazioni scientifiche, tutte queste idee sono germogliate e si sono evolute è stato del tutto negato. Più volte, in modo compiaciuto, è stato sottolineato come Maxwell abbia deciso di imparare l’italiano per venire a parlare di elettromagnetismo con i Normalisti. E almeno altrettante volte è stato ricordato come, prima di rendere pubblica la sua legge sull’induzione magnetoelettrica, Faraday si sia consultato con Felici. Ma, per anni, nessun passo ulteriore è stato compiuto. Occorre invece indagare su questi aspetti: sul fatto non occasionale che esiste una Scuola di Pensiero Elettromagnetico che, attraverso Mossotti, il quale influenzò Faraday, passa per il Codazza fino a giungere a Ferraris. E rispetto alla quale non sono immuni né Giorgi né Righi. E, per quanto riguarda le presenti note, il Bartoli stesso. Figlio di una scuola più vicina a Fourier che a Laplace, è in questa precisa ottica che va indagata la sua opera.

## 2. NOTE BIOGRAFICHE

Noto ormai ai soli specialisti<sup>1</sup>, Adolfo Bartoli fu in realtà uno dei più produttivi fisici italiani della seconda metà del secolo diciannovesimo<sup>2</sup>.

Nato a Firenze nel 1851, studiò fisica matematica a Pisa e, in quell’Università, si laureò nel 1874. Dopo una breve attività presso l’Università di Bologna, l’Istituto Tecnico di Arezzo e l’Università di Sassari, nel 1879 divenne assistente a Firenze. Nel 1886 fu nominato professore di fisica, nonché direttore del locale Osservatorio, presso l’Università di Catania. Nel 1893, infine, fu chiamato, quale ordinario di fisica, a Pavia, nella più prestigiosa delle posizioni: sulla cattedra



Adolfo Bartoli

<sup>1</sup> Inspiegabilmente, oggi il nome di Bartoli, che pure diede contributi cruciali sia alle “scienze galvaniche” che alla radiazione, non compare più nei più recenti trattati di fisica. Per trovarne traccia occorre tornare, forse non casualmente, alla *Introduzione alla Fisica Matematica* di Enrico Persico e certo all’*Aether and Electricity* di Whittaker.

<sup>2</sup> Carazza, B.; Kragh, Helghe (1989). “Adolfo Bartoli and the Problem of Radiant Heat”, *Annals of Science*, 1989, 46: 183-194.

che fu di Alessandro Volta. Scomparve nel 1896, a soli 45 anni.

Bartoli fu essenzialmente un fisico sperimentale. Anche se poi di fatto, nella sua breve vita, non si limitò solo a tale ambito: una parte anche significativa delle sue oltre 150 pubblicazioni si colloca infatti in una posizione che può dirsi intermedia tra fisica e chimica. In Italia fu senz'altro un pioniere della chimica fisica ed in tale ambito si specializzò in elettrochimica. Recando contributi alcuni dei quali segnarono, a livello internazionale, un significativo progresso rispetto alle conoscenze del tempo.

Nel 1878 approfondì l'elettrolisi dell'acqua; nel 1882 ricondusse i fenomeni elettrolitici alla teoria ionica. In questo senso si può dunque considerare come l'iniziatore della moderna elettrochimica. Purtroppo la gran parte dei suoi lavori, ad eccezione di uno scritto in francese e di uno redatto in inglese, fu pubblicata in italiano su riviste nazionali. A nulla valsero le non poche recensioni che, per i suoi lavori, pure ebbe su riviste internazionali: l'impatto sulla comunità scientifica internazionale fu inevitabilmente circoscritto. Al punto tale che oggi, malgrado l'importanza dei suoi contributi, egli è praticamente dimenticato.

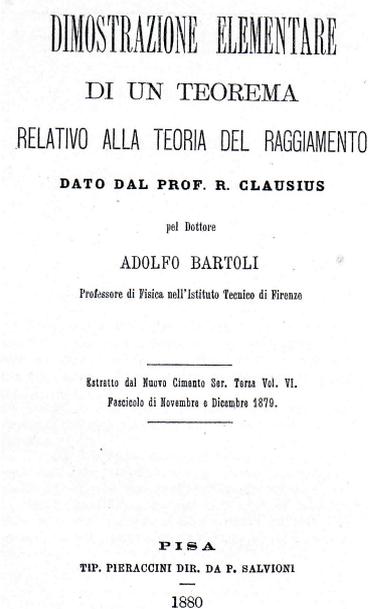
Nel periodo della sua permanenza a Catania e a Pavia Bartoli si occupò di calorimetria e di esperimenti termici. Indagò anche, a Catania, la radiazione solare e la correlò all'estensione e al numero delle macchie solari.

Il suo contributo più importante resta legato allo studio della pressione di radiazione. Già nel 1874 egli maturò la convinzione, basata su una serie di esperimenti preliminari da lui condotti, che la radiazione dovesse di necessità esercitare una pressione. Assistente a Bologna, iniziò in modo ravvicinato e continuativo le sperimentazioni su tale tema, fino a raggiungere gli stessi risultati conseguiti da Crookes in Inghilterra. Con il corredo di tali esiti, nel 1875 spedì, sotto forma di articolo scientifico, le sue indagini al *Nuovo Cimento*. Il lavoro non fu però accettato ed egli allora, nel 1876, presso le Monnier di Firenze, lo pubblicò sotto forma di una monografia dal titolo "Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore sopra il radiometro di Crookes".

### 3. LA PRESSIONE DI RADIAZIONE: DALLA DYNAMICAL THEORY ALL'APPROCCIO TERMODINAMICO DI BARTOLI

Le due teorie della luce, la corpuscolare di Newton e l'ondulatoria di Huyghens, furono condotte ad uno stato evoluto già nel 1700. Nel primo caso l'ottica diventava una parte della Meccanica Razionale. In particolare, le particelle, venendo a contatto con una superficie, scambiavano quantità di moto ed esercitavano in modo conseguente una pressione. Nel secondo la luce era vista come un fenomeno vibratorio: onde longitudinali di pressione si propagavano in un etere perfettamente elastico e illimitatamente sottile.

Inizialmente, ad affermarsi fu la teoria newtoniana. Innanzitutto perché essa rientrava nella fisica corpuscolare; poi perché, in prima lettura, sembrava spiegare un maggior numero di fenomeni. Nell'800, con la scoperta dell'interferenza, la grossa e insuperata difficoltà incontrata nel ricondurre tale fenomeno alla preesistente teoria corpuscolare determinò invece un'inversione di tendenza. Accettato il modello ondulatorio, restava allora da spiegare con tale approccio il fenomeno della polarizzazione. Per ottenere tale risultato occorreva però ammettere che le onde fossero trasversali. Fu merito di Fresnel il poter dimo-



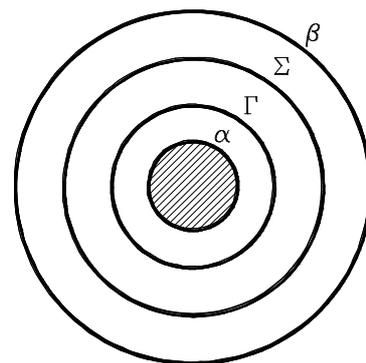
*Note di Adolfo Bartoli sull'irraggiamento.*

strare la piena coerenza di una teoria ondulatoria che, riferendosi ad onde trasversali, risultava in grado di spiegare tutti i fenomeni ottici conosciuti.

A questo punto restava il non facile problema della pressione esercitata da tali onde. I primi tentativi di dare un risposta a tale quesito – e tra questi vanno citati quelli dello stesso Fresnel – non diedero però risultati probanti. In quegli stessi anni l'Elettromagnetismo stava compiendo i primi passi di un percorso che, da Ørsted (1820), lo avrebbe condotto, con Maxwell, al *Treatise* (1873). Grazie alla *Dynamical Theory*, l'ottica diveniva un semplice capitolo dell'Elettromagnetismo: le onde elettromagnetiche, di tipo trasversale, viaggiano alla velocità della luce portando con sé un'energia elettromagnetica che, con Maxwell, è di tipo meccanico.

Anche la luce trasmette pertanto energia meccanica. Essa deve dunque trasmettere, attraverso una successione di impulsi, una pressione. È ancora Maxwell a mostrare, nella sua teoria, come, associata alle onde elettromagnetiche, si propaghi una pressione in direzione normale alle onde stesse e di ampiezza pari alla densità volumetrica di energia.

Formatosi presso una scuola pisana dichiaratamente ostile a tutto ciò che non sia immediatamente sensibile, il fisico italiano Bartoli è all'oscuro dei lavori di Maxwell. Ciò nondimeno, per tutt'altra via, egli arriva al suo stesso risultato. Per giungervi, si avvale del II Principio della Termodinamica e dunque del fatto che il calore passa spontaneamente solo dai corpi caldi a quelli freddi. Per pervenire a tale conclusione il fisico italiano ricorre a un esperimento concettuale ideale. Si avvale per questo di un corpo nero sferico  $\alpha$  racchiuso nella superficie sferica concentrica  $\beta$ , anch'essa nera. Tra  $\alpha$  e  $\beta$  sono racchiuse le superfici sferiche concentriche  $\Gamma$  e  $\Sigma$ , entrambe indefinitamente sottili e perfettamente riflettenti sia all'esterno che all'interno. Il corpo nero  $\alpha$  è inizialmente in condizioni di equilibrio termico. Rimuovendo il riflettore  $\Sigma$ , allora la superficie  $\beta$  irraggerà il calore in tutto lo spazio compreso tra le frontiere  $\beta$  e  $\Gamma$ . Non appena  $\beta$  ha raggiunto lo stato di equilibrio termico, si riponga  $\Sigma$  e si rimuova  $\Gamma$ . Dopodiché si faccia decrescere il raggio di  $\Sigma$  fino a farlo coincidere con quello originario di  $\Gamma$ . Con tale procedura, il calore viene prelevato dal corpo  $\beta$  e viene trasferito al corpo  $\alpha$ . Se, a questo punto, si aggiunge l'ipotesi che la temperatura di  $\beta$  sia inferiore a quella di  $\alpha$ , si giunge alla conclusione che del calore è stato fatto passare da un corpo freddo a uno più caldo. Un simile risultato sarebbe però in netto contrasto con il II principio della Termodinamica qualora non si ammettesse nel contempo che, in tal caso, risulta necessario compiere del lavoro per deformare  $\Sigma$  così da renderlo indistinguibile da  $\alpha$ . Ma compiere lavoro vuol dire in tal caso vincere una forza antagonista. Per salvare il II principio della Termodinamica non si può allora che riconoscere che tale forza è l'integrale di superficie della pressione di radiazione emessa dal corpo centrale  $\alpha$ .



Lo schema concettuale, basato sul II Principio della Termodinamica adottato da Bartoli per mostrare la pressione di radiazione.

## CONCLUSIONI

L'autonomia del pensiero di Bartoli vale a confermare una volta in più l'esistenza di una scuola di pensiero italiana. In quegli anni essa fu espressa in modo prevalente dalla Scuola Normale. Fu del tutto naturale che esse prendesse le distanze dalla "astratta *Dynamical Theory*" e si mantenesse nel solco di una più intuitiva Teoria del Calore.