

# IL NUOVO CIMENTO

GIORNALE FONDATA PER LA FISICA E LA CHIMICA

DA C. MATTEUCCI E R. PIRIA

CONTINUATO

PER LA FISICA ESPERIMENTALE E MATEMATICA

da E. BETTI e R. FELICI

---

Terza serie Tomo XV.

---



PISA

TIP. PIERACCINI DIR. DA P. SALVIONI

1884

IL CALORICO RAGGIANTE E IL SECONDO PRINCIPIO DI TERMODINAMICA;  
 NOTA DI ADOLFO BARTOLI.

Una recente pubblicazione del prof. H. T. Eddy dell'Università di Cincinnati, la quale porta il titolo attraente « *Radiant heat* » « *an exception to the second law of termodinamics* », stampata nel Luglio 1882 negli *Scientific Proceedings of the Ohio Mechanics' Institute* ( pag. 105 a pag. 114 ) ha ben presto richiamata sopra di sè l'attenzione del pubblico scientifico. Un lungo sunto fatto dal Boltzmann ne comparve nei *Beiblatter* del 1883, n.º 4, pag. 251 ed uno molto breve fatto dal prof. Bazzi comparve nel *Nuovo Cimento*, fascicolo di gennaio 1884; per tacere di tanti altri apparsi in altri giornali.

La Memoria dell'Eddy ha sollevate molte obiezioni, alle quali l'Eddy ha risposto, ed è probabile che molte altre pubblicazioni di valenti fisici del vecchio e del nuovo mondo siano per succedere alle prime, sopra un argomento che a molti pare tanto interessante.

In questo scritto mi permetto di riprodurre integralmente alcuni periodi di una mia memoria avente per titolo: *L'ipotesi dell'equilibrio mobile di temperatura ed il secondo principio termodinamico* (1), memoria di cui una parte, quella che riproduco ora qui, fu inserita in un'altra memoria, intitolata « *Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore e sopra il radiometro di Crookes* », la quale fu pubblicata a Firenze nel luglio 1876, coi tipi dei successori Le Monnier, dunque otto anni or sono (2).

(1) Il manoscritto di questo lavoro fu nel 1875 spedito per la stampa alla Direzione del *Nuovo Cimento* la quale gentilmente lo avrebbe subito pubblicato; ma io chiesi che se ne sospendesse la stampa, perchè corretto in alcuni punti potessi inviarlo in tempo per il concorso alla Cattedra di Fisica nella Università di Catania, se non sbaglio, che vacò poco tempo dopo (1875) nella quale occasione fu quella memoria registrata fra i titoli al concorso: il mio manoscritto però non fu mai per intero pubblicato, e solo una parte fu trasfusa nelle mie memorie stampate dal Le Monnier nel 1876.

(2) Detta mia memoria si trova registrata nel *Comptes Rendus* T. LXXXIII, n.º 9, pag. 518 anno (1876) nel *Bullettin Bibliographique des ouvrages reçus dans la séance du 21 Aout 1876*, e così pure nei bullettini bibliografici di quasi tutte le principali *Serie 3. Vol. XV.*

Riproduco qui integralmente i periodi che si leggono da pag. 22 (parte seconda) a pag. 27 di quella mia memoria senza levarci od aggiungerci sillaba.

« Esporrò qui brevemente (diceva allora) alcune delle ragioni che mi fecero determinare a intraprendere queste ricerche (1).

« Siano A e B due involucri sferici concentrici sottilissimi (2) e perfettamente riflettenti così all' esterno come all' interno, e di raggi  $R_A$ ,  $R_B$  rispettivamente, con  $R_B > R_A$ .

« Un corpo sferico C, di raggio  $r < R_A$  completamente nero (nel senso dato alla parola dal Kirchhoff, *Pogg. Ann.* Bd CIX, 1275) abbia pure il centro comune ai due involucri: all' esterno la superficie  $b$  completamente nera della sfera di raggio  $p > R_B$  concentrica con le precedenti, racchiuda dentro di sè il sistema formato dalla sfera C e dai due involucri perfettamente riflettenti. Il corpo C si trovi (in principio) in equilibrio calorifico: a un dato istante supponiamo distrutto il riflettore B; il corpo  $b$  raggerà calore in tutto lo spazio compreso fra la superficie  $b$  ed il riflettore A. Dipoi, quando il corpo  $b$  si è posto in equilibrio calorifico, supponiamo che a un dato istante si ricostituisca l' involucro B e venga a sparire l' involucro A. Poscia lasciamo diminuire il raggio dell' involucro B fino a che il suo raggio divenga uguale ad  $R_A$  (l' involucro stesso durante l'operazione rimanendo sempre sferico). Con questo ciclo di operazioni, ciclo che possiamo immaginare ripetuto un numero qualsivoglia di volte, si viene a prendere una certa quantità di calore dal corpo  $b$  ed a trasportarla sul corpo C. Sulla temperatura dei corpi  $b$  e C non abbia-

Accademie italiane ed estere. Un sunto di questa memoria comparve subito nei *Mondes* del Moigno, T. XL, pag. 685-686; e l'appendice che si trova in fine di questa memoria fu riprodotta per intero nella *Rivista scientifico-industriale di Firenze* del 1876. Un cenno della stessa memoria è pure fatto incidentalmente dal Lippmann, *Journal de Physique*, 1876, T. 5, pag. 371 (a piè della nota). Ed un sunto brevissimo (se pure si può dire sunto) estratto dai *Mondes* del Moigno, comparve nei *Fortschritte der Physik im Jahre 1876* (Berlin 1881) a pag. 888 e 1541 col nome e titolo seguente poco riconoscibile.

G. Bartoli. Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore e sopralti radiometri di Crookes, Firenze 1876. br. 8°. (sic).

(1) Ricerche si sottintende *Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore ec.* come dice il titolo della mia Memoria.

(2) Il lettore è pregato a fare la figura.

« fatto veruna ipotesi, possiamo quindi supporre la tempera-  
 « tura di C superiore a quella di b. Se si suppone che per una causa  
 « qualunque le temperature iniziali del corpo b e del corpo C ri-  
 « mangano costanti per quanto l'uno perda e l'altro acquisti ca-  
 « lore, si verrebbe così a far passare una quantità di calore grande  
 « quanto si vuole da un corpo più freddo ad uno più caldo.

« Il meccanismo dell'operazione descritta dipende propriamente  
 « da questo fatto: che se un corpo C di superficie s completamente  
 « nera si trova in un involucro perfettamente riflettente  $\Sigma$ , se si  
 « viene a restringere questo involucro sempre mantenendolo chiu-  
 « so, finchè venga ad aderire alla superficie del corpo C, il corpo  
 « C viene a guadagnare una quantità di calore

$$\Theta = \frac{2K}{v} \int_s ds \int_{\omega} t \cos \theta d\omega,$$

« dove

« K è la quantità di calore emessa in un secondo dalla uni-  
 « tà di superficie di s;

«  $\omega$  è la superficie della semisfera di raggio 1;

« t, il tempo che impiega un raggio calorifico che parte dal-  
 « l'elemento ds, a percorrere il suo cammino, dal punto di par-  
 « tenza fino a che, dopo un certo numero di riflessioni, viene ad  
 « incontrare di nuovo la superficie di C;

«  $\theta$  l'angolo che il raggio stesso che parte da ds fa con la  
 « normale all'elemento stesso.

« Se il corpo C è una sfera di raggio  $\nu$ , la superficie  $\Sigma$  è quella  
 « di una sfera concentrica alla prima e di raggio R grandissimo  
 « rispetto ad  $\nu$ , l'integrale precedente si riduce a

$$\Theta = \frac{2K}{v} R s;$$

« essendo  $s = 4\pi\nu^2$ , e v la velocità di propagazione di un raggio  
 « calorifico. Quindi il corpo C, dopo questa operazione, guadagna  
 « una quantità di calore  $\Theta$ .

« Può essere che qualcuno obietta ai ragionamenti preceden-  
 « ti l'impossibilità fisica di distruggere, o ricostituire in un tem-  
 « po sensibilmente nullo, quelli involucri, o l'altra di farne variare

« le dimensioni, mantenendolo sempre chiuso, ec., ec. Sceglierò un  
 « caso in cui queste obiezioni non possono più farsi.

« Sia  $F$  un cilindro circolare perfettamente riflettente; (1) ed  
 «  $A$  e  $B$  siano due stantuffi mobili entro il cilindro e terminati da  
 « una superficie completamente nera. Sopra alla superficie  $A$  e  $B$   
 « vi sono due diaframmi  $a, b$  perfettamente riflettenti e mobili per-  
 « pendicolarmente all'asse del cilindro (per mezzo di un'apertura  
 « praticata nella parete esterna del cilindro). In questo caso la pos-  
 « sibilità fisica di eseguire le operazioni descritte in principio di  
 « questa seconda parte, non potrà venir contrastata da alcuno; so-  
 « lamente per poter far passare dal corpo  $A$  sul corpo  $B$  una quan-  
 « tità di calore sensibile agli strumenti di Fisica i più delicati, bi-  
 « sognerebbe impiegare un cilindro di una lunghezza grandissima.

« Ritorniamo ora al caso dell'involucro sferico perfettamente  
 « riflettente concentrico ad un corpo sferico perfettamente nero e  
 « di raggio  $r$  piccolissimo di fronte al raggio  $R$  dell'involucro: si  
 « è trovato che se l'involucro, rimanendo sempre chiuso, venisse  
 « ad aderire alla superficie del corpo, questo guadagnerebbe una  
 « quantità di calore

$$q = \frac{2K}{v} R s,$$

« ritenendo le stesse notazioni della pagina precedente: se invece  
 « l'involucro, rimanendo pur sempre sferico, il suo raggio varia da  
 «  $R$  ad  $R'$  (con  $R > R'$ ), il corpo nero guadagna una quantità di  
 « calore  $q$ ,

$$q = \frac{2K}{v} (R - R') s. \quad (2)$$

(1) Il lettore è pregato a fare la figura.

(2) Si noti l'analogia di questa formula con l'altra

$$Q'' = \frac{L''}{2} (R'' - R''')$$

che esprime il lavoro eseguito contro la pressione elettrostatica, occorrente a contrarre un involucro sferico conduttore, facendone scendere il raggio da  $R''$  fino ad  $R''' < R''$ , e mantenendo costante il livello potenziale  $L''$  col sottrargli gradatamente dell'elettricità nella quantità necessaria.

Quest'ultima formula è stata stabilita dall'illustre prof. Beltrami, nella sua memoria  
*Sulla teoria dei sistemi conduttori elettrizzati* — Rendiconti dell'Istituto Lombardo,  
 serie 2, vol. XV, fascicolo XII-XIII — *Nuovo Cimento*, 3. s. T. XII, pag. 5.

« Le considerazioni precedenti e il secondo principio di termo-  
 « dinamica esigono che in questo caso per deformare l'involucro  
 « sia necessario spendere una quantità di lavoro =  $Eg$ , essendo  $E$   
 « l'equivalente meccanico del calore; in tal caso per ispiegare la  
 « spesa di un tal lavoro l'ipotesi più semplice è che, anche quando  
 « l'involucro non si deforma, ciascun elemento di superficie provi  
 « una pressione, una repulsione per effetto dei raggi calorifici emessi  
 « dal corpo nero che si trova al centro dell'involucro (1). In que-  
 « sta ipotesi è facile vedere che se s'indica con  $Q$  la quantità di  
 « calore che un metro quadro della superficie dell'involucro riceve  
 « in un secondo, quando il raggio dell'involucro è  $R$ , e con  $p$  la  
 « forza ripulsiva esercitata dal fascio calorifico sopra lo stesso me-  
 « tro quadro di superficie, si avrà per una diminuzione  $\delta R$  picco-  
 « lissima, del raggio  $R$ ,

$$p\delta R = \frac{2Q}{v} E\delta R$$

« onde

$$(1) \quad p = E \frac{2Q}{v}$$

« Calcoliamo dietro questa formula la ripulsione che un fascio  
 « solare eserciterebbe sopra un metro quadro di superficie piana  
 « perfettamente riflettente e normale alla direzione del fascio, si-  
 « tuata alla superficie della terra (astrazione fatta s'intende dallo  
 « assorbimento del fascio calorifico dovuto all'atmosfera). Per le  
 « esperienze di Pouillet:

$$Q = 0,293 \ 833 \text{ calorie.}$$

« Per le esperienze di Joule:

$$E = 428 \text{ chilogrammetri,}$$

« e accettando

$$v = 298 \ 000 \ 000 \text{ metri,}$$

(1) Ben presto in un'altra Memoria discuterò le varie ipotesi che si possono fare, e dimostrerò come con altri meccanismi differenti da quello già indicato si riuscirebbe ad ottenere lo stesso risultato (Nota della memoria del 1876).

« si ottiene

$$p = 0,84 \text{ milligrammi,}$$

« per metro quadro: ossia

$$p = 0,0084 \text{ milligrammi,}$$

« per decimetro quadro ».

Gli altri meccanismi a cui io accennava a pag. 25 della memoria ora citata, per far passare calore in quantità indefinita da un corpo più caldo ad uno più freddo erano quattro ed io li aveva esposti nella memoria manoscritta ricordata in principio di questo lavoro: credo inutile di descriverli almeno per ora: quivi esaminava anche il caso di riflettori imperfetti i quali avrebbero necessariamente assorbito un tanto per cento delle radiazioni incidenti, e provavo che anche in questo caso è sempre possibile far passare calore dal corpo più freddo a quello più caldo senza che questo passaggio venga compensato da un equivalente passaggio calorifico inverso (equivalente s'intende nel senso del principio termodinamico della equivalenza delle trasformazioni).

Per mettere poi in armonia i risultati precedenti col secondo principio di termodinamica, faceva allora diverse ipotesi di cui una sola è pubblicata nella mia memoria d'allora; quella cioè della pressione esercitata dalle radiazioni sui corpi riflettenti (Vedasi per le altre ipotesi la nota A a fine di questo scritto).

Questa ipotesi di una pressione dovuta alle radiazioni fu allora da me posta a seria prova con molte esperienze che eseguii nel Gabinetto di Fisica dell'Università di Bologna nel 1874, esperienze che si trovano stampate da pagina 49 a pagina 53 della mia memoria edita da Le Monnier: riferirò qui una di quelle esperienze, perchè si connette un poco coll'argomento di questa nota: servendomi nel riferirla delle stesse parole che io impiegava allora:

« Se fosse vero che la luce e il calore potessero direttamente  
 « produrre un movimento sia attrattivo sia repulsivo, è chiaro che  
 « questo movimento sarebbe ancor sensibile non solamente per l'in-  
 « cidenza normale ma anche per angoli d'incidenza sensibilmente  
 « differenti.

« Perciò: nel solito pallone (1) ho fissato all'estremità di una  
 « leva formata da una sottile lastrina d'alluminio lunga circa sei  
 « millimetri e che terminava a un'estremità con un cerchio di cir-  
 « ca 6 centimetri di diametro. La leva era bilanciata dall'altra  
 « parte da un grosso pallino da caccia; era tenuta esattamente o-  
 « rizzontale per mezzo di quattro fili che la sostenevano alla ma-  
 « niera stessa del piatto di una stadera, i quattro fili poi erano te-  
 « nuti da un sottilissimo filo di argento. Un'altra volta in un pal-  
 « lone di uguali dimensioni ho introdotto, sospeso sopra ago di ac-  
 « ciaio, un apparecchio formato da una lastrina orizzontale d'allu-  
 « minio che terminava con due dischi orizzontali pure d'allumi-  
 « nio. La lastrina era lunga 7 centimetri; ed i dischetti avevano  
 « 3 centimetri di diametro. Infine in un terzo pallone un po' più  
 « piccolo del precedente ho sospeso nel suo centro sopra un ago di  
 « acciaio, un disco di alluminio orizzontale di 10 centimetri di dia-  
 « metro: sopra il disco erano tracciati con una punta due diametri  
 « perpendicolari, e perfettamente visibili.

« Nei palloni poi veniva fatto il vuoto più completo possibile.

« Un fascio solare diretto o concentrato per mezzo di una  
 « lente sopra la lastrina o sopra i dischi, e facente un angolo di  
 « 30 o 40° con la normale al disco non produceva sensibile devia-  
 « zione nel sistema mobile.

« Ho sperimentato anche con un fascio di luce solare po-  
 « larizzata sia con uno specchio nero sia con un grosso prisma di  
 « Nicol (prisma dell'apparecchio di Ruhmkorff per l'azione del  
 « magnetismo sopra i corpi trasparenti) in questo caso però il fa-  
 « scio che si otteneva era necessariamente molto indebolito.

« Ho spinto, concentrandolo con una grande lente di Fresnel,  
 « l'intensità del calore a tal punto da storcere uno dei dischi, in  
 « questo caso solamente sono avvenute delle oscillazioni del disco  
 « ma non un movimento proprio di rotazione.

« In queste esperienze il sistema di sospensione era così de-  
 « licato, (un sottilissimo filo d'argento o un piano di vetro sopra  
 « una punta di acciaio, il fascio calorifico così concentrato, che se  
 « veramente l'impulsione diretta della luce fosse quella che nel ra-  
 « diometro di Crookes produce il movimento del mulinello; la le-

(1) Pallone di vetro di tre decimetri di diametro dove era fatto il vuoto a provino  
 barometrico livellato.

« va, in queste due ultime esperienze, avrebbe dovuto nell'istante  
 « in cui veniva a percuoterci il fascio solare, ricevere un urto così  
 « forte da farle fare centinaia di giri avanti che si fermasse.

« Mi sembra quindi vittoriosamente dimostrato che non si  
 « può attribuire alla luce ordinaria come alla luce polarizzata nes-  
 « sun sensibile potere impulsivo sopra i corpi su cui cade (1) ».

E più sotto, a pag. 54, della stessa memoria aggiungeva:

« Questi risultati però non implicano che una debolissima  
 « azione impulsiva (così piccola da non poter essere avvertita coi  
 « mezzi da me impiegati) non possa essere esercitata dalla luce o  
 « dal calore incidente ».

Firenze, 1. Luglio 1876.

La conclusione delle mie esperienze era dunque netta e si  
 poteva esprimere così « anche concesso che le radiazioni produ-  
 cano una pressione sulle superficie, questa essere così piccola  
 e di tal senso da non potere spiegare i fenomeni osservati prima  
 dal Fresnel (2) e poi dal Crookes e da me.

Termino qui questa breve nota rivendicativa, il mio scopo es-  
 sendo principalmente quello di stabilire la mia priorità (di otto  
 anni) sull'Eddy: riserbandomi a ritornare fra non molto sopra  
 il soggetto che forma il titolo di questo scritto.

Firenze 1. Maggio 1884.

NOTA ALLA MEMORIA PRECEDENTE. — DI VARIE IPOTESI PER METTERE  
 D'ACCORDO I RESULTATI DELLA TEORIA DEL RAGGIAMENTO COL  
 SECONDO PRINCIPIO DI TERMODINAMICA.

In quel primo lavoro che aveva il titolo stesso della prece-  
 dente nota, esponeva a tale scopo varie ipotesi, che voglio accen-  
 nare qui; quantunque alcune di queste non offrano grande pro-  
 babilità ed un interesse più che altro relativo alla storia dei ten-

(1) Non so perchè, nei sunti che furono fatti di questa mia memoria si taccia  
 di questa esperienza, di esito sicuro, e che è la più importante di quante vi sono da me  
 descritte; e forse mi sembra una delle più decisive anche fra le mille altre esperienze ra-  
 diometriche che sono state pubblicate.

(2) Fresnel, *Ann. de Ch. et de Physique* 2. S. T. XXIX. pag. 57 e pag. 107: ed  
 anche *Oeuvres complètes de A. Fresnel* (pubblicate da De Senarmont, Verdet ec.) Paris  
 1868, T. 2. pag. 567-672.

tativi fatti per scuoprire la verità, nel campo delle scienze sperimentali.

**1.<sup>a</sup> Ipotesi.** — Di una pressione esercitata dalle radiazioni sulle superficie sulle quali percuotono. È l'ipotesi le cui conseguenze studiai sperimentalmente nella mia Memoria sopra i Movimenti ec. sopracitata.

**2.<sup>a</sup> Ipotesi.** — Considerando bene i meccanismi delle operazioni con le quali si ottiene di far passare calore da un corpo più freddo ad uno più caldo, si vede che in tutti occorre che una superficie si venga a muovere perpendicolarmente alle radiazioni: così l'involucro sferico che si distrugge: o lo specchio sferico di gran diametro che viene gradatamente a restringersi: o lo stanufo speculare che scorre entro un cilindro indefinito, ce ne offrono tanti esempj: basterebbe supporre *in tutti questi casi che occorresse un lavoro per muovere una superficie speculare perpendicolarmente alle radiazioni alle quali è esposta, lavoro il cui minimum sarà facile determinare in armonia col secondo principio.*

Dei tentativi sperimentali in questo senso furono da me fatti a Bologna nell'estate 1874 coi mezzi che aveva messi a mia disposizione il mio maestro ed amico prof. Emilio Villari, io faceva oscillare nel vuoto una lunghissima leva orizzontale portante ad uno estremo un leggero specchio verticale di 40 centimetri quadri di superficie fissato perpendicolarmente alla leva: si faceva lungamente oscillare il sistema prima nell'oscurità poscia con un fascio solare mantenuto con un eliostata perpendicolare allo specchio. Il decremento logaritmico delle ampiezze (calcolato dietro centinaia di oscillazioni) che era nel primo caso 0,35 984 si ridusse a 0,34 439 nel secondo caso (la prima e l'ultima ampiezza di oscillazione essendo nei due casi sensibilmente uguale): ma rimasi incerto se questa diminuzione fosse da attribuire alla perturbazione che il fascio solare introdotto nell'apparecchio produceva sul sistema mobile: perturbazione che mi fu impossibile evitare. Ho ripreso poi l'esperienza sotto forma diversa e assai più atta a condurre a qualche risultato decisivo, e i risultati quantunque per ora incompleti li ho consegnati a un plico suggellato, che fu affidato nel marzo 1882 ad una illustre Accademia.

**3.<sup>a</sup> Ipotesi.** — Che il potere emissivo di un corpo, il quale come ha dimostrato il Clausius, deve dipendere (in coerenza col

2° principio di termodinamica) anche dalla qualità del mezzo che circonda i corpi, debba dipendere anche dalle condizioni e circostanze dei corpi ai quali esso invia o coi quali esso scambia radiazioni (1): per modo che esso potere divenga nullo nel caso di un corpo circondato da un involucro perfettamente riflettente e così piccolo nel caso di un involucro che non riflette completamente, che in questo ultimo caso la *trasformazione calorifica diretta*, passaggio cioè di calore allo specchio equivalga a quella inversa che si effettua con una delle operazioni da me indicate: e questa ipotesi tornerebbe a rigettare l'altra dell'equilibrio mobile o del raggiamento ora da tutti ammessa. Ma questa ipotesi poco probabile in sè si presta poco bene a un tentativo che permetta di giudicarne.

**4.ª Ipotesi.** — A considerare l'etere o *il quid* che trasmette le radiazioni nel vuoto di materia ponderabile come un mezzo materiale (quantunque leggerissimo) e capace in certo modo di aver gradi di temperatura diversi; e che le radiazioni che vi sono trasmesse provino nel propagarsi una specie di attrito il quale ne assorbirebbe una parte: e questa parte dovrebbe esser tale da compensare la trasformazione calorifica inversa che si fa nelle operazioni da me immaginate per far passare calore dal corpo più caldo a quello più freddo. Sarebbe questa ipotesi non discorde dalle conseguenze a cui è giunto il Muller (2) in una sua rimarchevole memoria nella quale con mezzi delicatissimi misura le variazioni di velocità che provano le radiazioni col variare della intensità della radiazione e del numero delle vibrazioni corrispondenti.

Queste erano le ipotesi che io discuteva allora: le ho trascritte qui, quasi con le stesse parole. A. BARTOLI.

P. S. Mentre spediva per la stampa questo manoscritto mi è giunto il n.º 5 degli *Annalen der Physik* del Wiedemann. Quivi a pag. 31 è una memoria del Boltzmann avente per titolo: « *Ueber eine von Hrn. Bartoli entdeckte Beziehung der Wärmestrahlung zum zweiten Hauptsatze* » che non ho ancora avuto il tempo di esaminare attentamente, ma dove la mia priorità sull'Eddy è indubbiamente riconosciuta.

(1) Clausius, *Pogg. Ann.* Bd. CXXI. s. 1. anno 1864 e Vülner, *Physik*, Leipzig 1876 Bd III. s. 216-217.

(2) *Pogg. Ann.* CXV, 86; anno 1872.

