



# **LA FISICA** **NELL' OTTOCENTO**

## **PARTE IV: I CONTRIBUTI SCIENTIFICI DI WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN)**

**Roberto Renzetti**

### **PREMESSA**

Dopo aver trattato l'opera di Helmholtz, occorre tornare agli anni Quaranta dell'Ottocento per seguire il cammino sulle problematiche del lavoro e calore (e non solo) attraverso l'opera di un altro gigante della fisica, William Thomson che, per i suoi meriti scientifici, diventerà Lord Kelvin. Si noterà che sullo stesso argomento si muovevano diversi scienziati di diversi Paesi, mostrando che quella tematica era matura per arrivare ad una qualche conclusione e che la conservazione dell'energia, come scrisse Kuhn, è un esempio, ma non il solo, di scoperta simultanea. Riguardo ai Paesi che incontriamo vi è un'osservazione da fare. Lasciamo i Paesi che facevano ricerca ancora in termini di prestigio come accadeva prima della Rivoluzione Francese ed emergono Paesi che entrano nella Rivoluzione Industriale, nei quali la borghesia si va sbarazzando poco a poco di nobiltà e clero. Abbiamo incontrato la Gran Bretagna che è il primo grande vivaio di scienziati, quindi la Francia che ha una fioritura impressionante intorno e dopo la Rivoluzione Francese, quindi la Germania che piano piano diventerà potenza scientifica incontrastata di pari passo con la sua acquisizione di potenza economica ed industriale (a lato di questi Paesi ve ne sono certamente altri che hanno comunque un peso specifico inferiore per numero di abitanti e per disponibilità economiche (Olanda, Belgio, Danimarca, Svezia). Tra i grandi Paesi occidentali mancano [Spagna](#) ed [Italia](#). La prima per il giogo secolare ad una monarchia e ad un clero in simbiosi (*Re Cattolici*, come titolo concesso dal Papa) che ha sempre impedito una qualunque evoluzione scientifica (... *non può avere storia scientifica un popolo che non ha avuto scienza perché in Spagna non c'è stato altro che frusta, catene, sangue, preghiere,*

*braceri e fumo, come amaramente diceva il matematico spagnolo Echegaray alla fine dell'Ottocento, al quale si sommava la denuncia impietosa in Parlamento di Castelar: Non abbiamo agricoltura, perché abbiamo cacciato i mori,. ... non abbiamo industria perché abbiamo cacciato gli ebrei ... Non abbiamo scienza, siamo un membro atrofizzato della scienza moderna ... Abbiamo acceso i roghi dell'Inquisizione, abbiamo gettato in essi i nostri pensatori, li abbiamo bruciati e da quel momento in Spagna non si è avuto altro che cenere ...).* Sull'assenza italiana ho già scritto molto ma il tutto si riassume, anche qui, in una Chiesa che ha il potere d'interdizione in ogni piccolo Stato in cui è suddivisa l'Italia. Non a caso, dal 1870 si getteranno le basi per la prima rinascita postgalileiana, quella di Enrico Fermi e della sua scuola, rinascita che, di nuovo, viene stroncata dal Fascismo ed ancora dalla Chiesa e mantenuta grazie all'impegno ed al lavoro di [Edoardo Amaldi](#) e dei pochi superstiti che poco hanno potuto comunque fare rispetto ad [attacchi a quella parte della scienza](#) che può diventare tecnica, da parte di multinazionali americane.

## BIOGRAFIA SCIENTIFICA DI WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN)

William Thomson, secondo di sette figli (quattro maschi e tre femmine), nacque a Belfast (Ulster) nel 1824. Discendeva da una umile famiglia di agricoltori scozzesi trapiantata a Belfast. Suo padre, James un bigotto presbiteriano, era riuscito a studiare ed arrivare ad essere professore di matematica. Con il suo lavoro ed anche per aver sposato un donna, Margaret Gardner, di famiglia ricca di Glasgow, riuscì a portare la sua famiglia ad un certo agio. James, rimasto vedovo nel 1830, fu chiamato ad una cattedra di matematica a Glasgow nel 1832. Fu alloggiato nel College annesso all'Università e lì, l'anno seguente, portò i suoi figli. William e suo fratello James, più grande di lui di due anni e che nel seguito diventerà ingegnere, non ricevettero un'istruzione regolare ma fu il padre che si occupò di loro sia discutendo con loro in lunghe passeggiate di matematica, di scienze naturali, di latino e di problemi della tecnica quindi portandoli extraufficialmente alla scuola dove insegnava, la Royal Belfast Academical Institution, per fargli seguire le sue lezioni e quelle di colleghi che erano disponibili. Ciò andò avanti fino al 1834 quando i due si iscrissero al Glasgow College, ai corsi elementari per giovani dotati organizzati dall'Università. Quel minimo di agiatezza economica servì a James padre per far loro studiare bene le lingue. Nell'estate del 1839 li portò a Londra per dar loro un'idea più cosmopolita del mondo e fece loro passare qualche mese a Parigi per studiare francese. L'anno seguente ripeté l'esperienza con il tedesco in Germania ed Olanda. William in quell'epoca aveva tra i 15 e 16 anni ed già aveva letto la *Mécanique Analytique* di Lagrange e la *Théorie analytique de la chaleur* di Fourier. Sulla formazione dei due svolse un ruolo importante l'ambiente culturale dell'Università di Glasgow. Alcuni insegnanti furono fondamentali per l'educazione dei due giovani: quello di chimica Thomas Thomson che già dal 1840 era un sostenitore delle teorie sul calore di [Rumford](#) e [Davy](#) (*il calore è originato dal movimento e il calore è una vibrazione dei corpuscoli costituenti il corpo*); quello di filosofia naturale William Meikleham che appassionò i suoi studenti alle opere dei grandi fisici matematici francesi come Legendre, Lagrange, Laplace, ... ma anche alle teorie di Huygens, di Fresnel, di Young sulla teoria ondulatoria della luce; e quando Meiklam si ammalò ebbe per sostituto l'astronomo John Pringle Nichol, altro personaggio che interessò gli studenti alla sua disciplina e che, in particolare, avviò William allo studio ed all'amore, che lo accompagnò per tutta la vita, di Fourier. Intanto il precoce William, nell'anno accademico 1839-1840, vinse il premio che la scuola aveva bandito per l'astronomia con un suo lavoro, *Essay on the figure of the Earth*, che lo fece notare per la sua grande abilità



matematica.

Arriviamo al 1840 e William si iscrisse all'Università di Cambridge entrando al prestigioso St. Peter's College (dove studierà Maxwell dal 1850 e dove avevano lasciato importanti tracce Babbage e Herschel), meta tradizionale degli scozzesi e costosissimo (tanto che papà James nel 1843 scriverà al figlio chiedendogli conto delle spese). Suo tutore ed *allenatore* per gli esami fu William Hopkins, lo stesso di molte glorie passate a Cambridge. In questo College William restò 4 anni come studente pubblicando molte memorie e distinguendosi tra gli studenti per la sua grande abilità matematica, le già avanzate conoscenze in fisica ma anche per essere un bravo rematore ed un virtuoso della musica. L'anno seguente, il 1841, William compiva 17 anni e pubblicava, sotto pseudonimo P.Q.R., il suo primo lavoro di carattere matematico su una rivista scientifica, *On Fourier's expansions of functions in trigonometric series*, *Cambridge Mathematical Journal* **2**, 1841, 258-259. Fatto di rilievo è la padronanza degli sviluppi delle funzioni in serie di Fourier che egli difendeva dagli attacchi che erano stati mossi da un matematico di Edimburgo, Kelland. Tra le memorie pubblicate negli anni d'Università, tutte di carattere fisico-matematico, c'è da evidenziare quella del 1842, *On the uniform motion of heat in homogeneous solid bodies, and its connection with the mathematical theory of electricity* (*Camb, Math, Jour.* Vol. III), ancora firmata P.Q.R.. In questa memoria William inaugurava il metodo delle analogie che gli sarà molto caro, molto utile e che sarà molto ammirato, tra gli altri, da J. Larmor. Il flusso di calore veniva trattato allo stesso modo delle forze elettriche e le superfici isoterme come quelle equipotenziali. Su tali argomenti vi era già stato un lavoro fondamentale di George Green (1793 - 1841), *An essay on the application of mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism* (pubblicata a proprie spese nel 1828) che riprendeva, estendendoli e generalizzandoli, i lavori di Siméon-Denis Poisson introducendo in Gran Bretagna la teoria del potenziale mediante il teorema che porta il suo nome. Questo lavoro era introvabile ma William riuscì a procurarsene addirittura due copie avute in regalo dal suo tutore Hopkins e per esse fu complimentato ed invidiato, ma queste copie le ebbe dopo aver scritto il suo lavoro ed egli aveva ritrovato teoremi e procedimenti già praticati da altri. In ogni caso, va osservato, il suo procedimento fu ritenuto molto più agile e comprensibile di quello di Green tanto che fu introdotto nei libri di testo.



**Thomson studente universitario**

Il calore cominciava ad interessare particolarmente William, tanto che, ancora in quell'anno, aveva iniziato a riflettere su una questione che affronterà in seguito. Il calore, nella trattazione di Fourier, ha un andamento lineare, una *marcia* ben descritta dalle sue equazioni. Ma se così è una determinata distribuzione di temperatura che osserviamo oggi non può discendere da situazioni che rimontino indefinitamente nel passato. Questa riflessione ne comportava un'altra: l'universo non poteva esistere da sempre ma doveva aver avuto un qualche inizio.

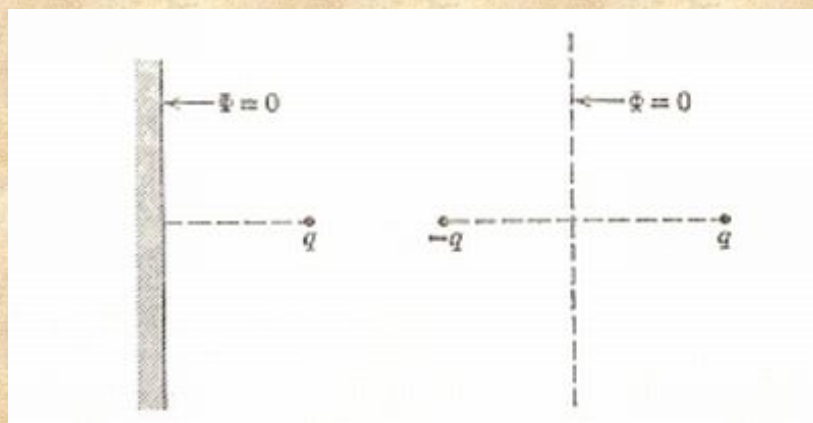
Nonostante queste sue notevoli e riconosciute abilità, nel 1845 alla fine del corso di laurea a Cambridge, riuscì solo secondo (*second wrangler*) ai Mathematical Tripos, una gara matematica che si svolgeva ogni anno, che dava notorietà e permetteva l'accesso ai college più prestigiosi. Tutti si aspettavano che risultasse primo (*senior wrangler*) ma non ci fu nulla da fare, William (e da ora Thomson) si classificò come più tardi farà Maxwell e vi fu grandissima delusione, soprattutto da parte del padre. In compenso vinse il Premio Smith's Prizeman che gli permise di diventare membro (*fellow*) del St. Peter's College e, qualche tempo dopo, di essere chiamato come professore di filosofia naturale a Glasgow, al posto che il padre ambiva, in sostituzione dell'ancora malato professor Meikleham. Ma il padre conosceva l'ambiente di Glasgow sapeva che in quel posto sarebbe servita pratica di laboratorio che Thomson non aveva. Fu così che lo inviò a Parigi dove, alla Sorbona, seguì alcune lezioni del chimico J.B.A. Dumas e, al Collège de France, quelle del fisico Henri Victor Regnault. Si offrì a quest'ultimo come volontario ed entrò a lavorare nel suo prestigioso laboratorio in cui, per conto del governo, si realizzavano misure di grandissima precisione sulle proprietà fisiche e chimiche dei gas e dei vapori che sarebbero poi servite per una migliore progettazione delle macchine a vapore. I risultati di tali misure, le *Tavole* di Regnault (1810 - 1878), sulla determinazione dei calori specifici, dei calori latenti, delle densità, dei coefficienti di dilatazione, ... di tutti gli elementi allora noti e di molti composti solidi, liquidi e gassosi furono pubblicati nel 1847 sulle *Mémoires de l'Académie des Sciences* sotto il titolo *Relation des expériences entreprises par ordre du Ministre des Travaux publics et sur la proposition de la Commission centrale des machines à vapeur, etc.*, ed ebbero un grande impatto sul mondo scientifico, particolarmente su quello



impegnato in termodinamica. A Parigi, il giovane Thomson, ebbe modo di conoscere i massimi fisico-matematici francesi, Biot, Sturm, Cauchy e Joseph Liouville. A quest'ultimo, emozionatissimo, Thomson regalò la copia del lavoro di Green che possedeva in duplice esemplare e che Liouville cercava ma che crearono profonda eccitazione in tutto l'ambiente dei matematici. Analoghe ricerche che Thomson fece a Parigi per trovare l'opera di [Sadi Carnot](#), *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* del 1824 (quest'ultima opera sarà trovata e letta da Thomson solo nel 1848) della quale era venuto a conoscenza tramite la *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur* (1837) di [Clapeyron](#).

## PRIMI CONTRIBUTI ALLA SCIENZA ELETTRICA

A Parigi Thomson, servendosi dei metodi di Liouville ed ancora delle analogie, questa volta tra elettricità ed ottica geometrica, pubblicò tre lavori, nell'ultimo dei quali, *Extrait d'une lettre sur l'application du principe des images à la solution de quelques problèmes relatifs à la distribution d'électricité* (Liouville Mathematical Journal, Vol. X. 1845) inventò il *metodo delle immagini*: uno specchio piano perfettamente riflettente era assimilato ad un piano perfettamente conduttore a potenziale nullo. Con tale posizione riuscì a risolvere il problema dell'interazione tra cariche elettriche disponendo la carica immagine della carica presa in considerazione al di là dello *specchio* in posizione simmetrica. Se si vuole, come esempio più semplice, calcolare l'induzione elettrostatica che una carica elettrica, ad esempio  $+q$ , esercita su quella superficie conduttrice a potenziale zero ci troviamo di fronte ad un problema che presenta complicazioni. Tali complicazioni si possono eliminare semplificando la geometria senza cambiare i dati del problema. Se si dispone, nell'esempio fatto, di una carica immaginaria  $-q$  al di là della superficie in posizione simmetrica, tale da dare come risultato stesso potenziale zero per la superficie conduttrice, il problema diventa facilmente risolvibile.



**A sinistra abbiamo la situazione iniziale da studiare: una carica puntiforme situata. A destra è la stessa situazione facilitata dall'introduzione della carica immagine che è sistemata specularmente rispetto alla carica data e tale da non modificare la situazione del potenziale del piano indefinito.**

Questa memoria, insieme alla precedente che si occupava di questioni di elettrostatica, mostra quali erano i due filoni di indagine sui quali andava puntando le sue ricerche Thomson: da un parte le vicende del calore e dall'altro quelle dell'elettricità.



Nel 1845 tornò a Cambridge dove partecipò alla riunione della British Association nella quale conobbe Faraday (ma non Joule che pure era presente). Nella riunione Thomson aveva presentato una comunicazione in cui discuteva delle leggi dell'elettrostatica introducendo la matematizzazione delle linee di forza di Michael Faraday<sup>(1)</sup>. Fu alla fine della lettura della sua comunicazione che conobbe Faraday con il quale conversò a lungo. Più tardi Faraday fece avere a Thomson una memoria di Amedeo Avogadro chiedendogli cosa ne pensasse. La risposta di Thomson era un ribadire quanto aveva sostenuto alla British Association affermando inoltre che *se le mie idee sono corrette, è possibile enunciare facilmente la definizione matematica e le condizioni per determinare le linee curve di induzione per qualunque combinazione possibile di corpi elettrizzati* (ed a questo risultato Thomson arriverà il 28 novembre del 1846, un intero anno dopo, come annoterà suo suo diario). Aggiungeva poi che in tutte le ricerche bibliografiche che aveva fatto non era ancora riuscito a trovare una qualche esperienza che evidenziasse l'esistenza di un effetto di polarizzazione di un raggio luminoso che attraversa una lamina di vetro con le due facce caricate di segno opposto. E quindi suggeriva una tale esperienza che avrebbe aiutato l'affermarsi delle idee di Faraday sull'azione a contatto. Faraday rispose subito che egli aveva provato più volte a mostrare l'effetto esercitato sulla luce polarizzata da un dielettrico sotto tensione elettrica, ma non vi era riuscito. Comunque aveva ferma intenzione di continuare. I rapporti tra i due non continuarono e questa fu una sicura perdita per ciò che avrebbero potuto realizzare insieme. Da una parte vi era Faraday che non fu mai capace di lavorare in equipe e che aveva problemi con la matematica. Dall'altra il giovane Thomson che se sapeva ben cogliere spunti da letture incomplete, faceva torto a Faraday di non avere letto la mole dei suoi lavori (il non leggere compiutamente la letteratura esistente era costume di Thomson che spesso riscoprì cose già fatte). La breve collaborazione fu però sufficiente ad eccitare la fantasia di Maxwell. Ma la difficoltà di rapporti di Faraday vi fu anche con Maxwell e, da una lettera di Faraday al ventiseienne Maxwell del 1857 possiamo ben capire l'origine di ogni difficoltà:

*«Ma non è proprio possibile che quando un matematico impegnato nello studio delle azioni e degli effetti fisici è giunto a delle conclusioni, queste ultime siano esprimibili in linguaggio comune, con completezza, chiarezza e rigore, così come si ha nelle formule matematiche? Se lo si potesse fare, non si tratterebbe allora di concedere un regalo enorme per quelli come me? Di tradurre cioè quelle conclusioni dal linguaggio di geroglifici in cui sono date, in modo che si possa lavorare su di esse con degli esperimenti. Credo che debba davvero essere così».* [Citato da Bellone]

Intanto Thomson, nel novembre 1845, aveva riordinato il suo scritto sul metodo delle immagini elaborato a Parigi per farne una pubblicazione in Gran Bretagna. A questo punto però non fu una mera riscrittura perché questo lavoro, *Note on induced magnetism in a plate* (*Cambridge and Dublin Mathematical Journal*, I, pp. 34-37, Nov. 1845) introdusse gli elementi nuovi discussi alla British Association e con Faraday. Riprese ancora il metodo delle analogie per trattare con l'analisi le concezioni di Faraday dell'induzione elettrica mediante polarizzazione delle particelle contigue del dielettrico in analogia, appunto, con il meccanismo della conduzione calorifica, arrivando alla nozione di capacità conduttrice di un mezzo attraverso le linee di forza cinque anni prima dello stesso Faraday. Sempre nel 1845 Thomson fu nominato direttore del *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* e, nella primavera dell'anno successivo, lo raggiunse la notizia della morte del professor Meikleham.





**Thomson all'età di 22 anni. La foto compare nel volume commemorativo del giubileo di Thomson**

Thomson, che aveva solo 22 anni, aveva delle referenze eccellenti, aveva moltissime pubblicazioni su riviste di prestigio con contributi originali, inoltre raccoglieva la stima di personalità del calibro di Rowan Hamilton, George Boole, Joseph Liouville, Victor Regnault, George Gabriel Stokes oltre alle entrate del padre nell'Università. E finalmente, nel 1846, riuscì ad avere l'incarico di storia naturale a Glasgow, incarico che mantenne per 53 anni. C'è da aggiungere che l'Università di Glasgow aveva una importante tradizione nel laboratorio di fisica e disponeva di una vasta raccolta di strumenti, anche molto grandi, come una macchina di Newcomen. Come realizzatori di strumenti di laboratorio vi erano stati nientemeno che James Watt (il realizzatore di macchine a vapore) e Joseph Black (lo scopritore del calore latente). Thomson iniziò le sue lezioni il 1° novembre del 1846 e si organizzò un laboratorio con l'importante caratteristica, vera novità forse a livello mondiale, di far fare esperienze agli studenti. A tal proposito c'è da osservare che questa grande novità didattica sorse quasi per caso. Facendo Thomson alcune sue esperienze ebbe bisogno di aiuto materiale e chiese ad alcuni suoi studenti se fossero disponibili. Essi accettarono ma si sparse la voce ed altri studenti chiesero di poter fare esperienze. Thomson chiese i finanziamenti, che ottenne, per poterli accontentare. Era comunque molto apprezzato dagli studenti ma per la sua personalità. Infatti le sue lezioni erano molto complesse, anche perché egli non seguiva una traccia ma andava dietro le idee che gli passavano per la mente saltando spesso da un argomento ad un altro, e difficilmente si riuscivano a seguire. Coloro che riuscivano a seguirlo ebbero delle carriere brillanti, e c'è da sottolineare che molti pionieri dell'elettronica britannica si erano formati con le sue lezioni.

Un mese dopo, come già accennato, Thomson riuscì a trovare l'espressione matematico-cinematica della forza elettrica, magnetica, galvanica, a matematizzare quindi le linee di forza di Faraday. Scrisse una memoria di 4 paginette, *On a mechanical representation of electric, magnetic, and galvanic forces* (Cambridge and Dublin Mathematical Journal, Vol. II. 1847), nella quale dimostrò che le forze elettriche e magnetiche potevano essere rappresentate mediante la distorsione di un solido elastico utilizzato in ulteriore analogia. Secondo Faraday le azioni si propagavano per linee di forza curve originate dallo stato di tensione dello spazio che sottoponeva a sforzo le molecole interposte. E' quindi un effetto di volume sulle molecole che ne provocava la disposizione su linee curve lungo, appunto, le linee di forza e Thomson aveva reso conto proprio di questo con il suo modello meccanico del solido elastico in torsione e con una trattazione mediante le equazioni di Stokes). Come osserva Bellone, Thomson non sta costruendo una teoria fisica ma sta mettendo su un costruito matematico utile a rappresentare i fatti sperimentali e questa operazione sarà da lui fatta spesso. E' una sorta di separazione tra la fisica e gli strumenti per studiarla. Anche se



la matematica introdotta non è indifferente ad una teoria o ad un'altra, tant'è vero che questa nota farà da ponte tra Faraday e Maxwell e Maxwell costruirà una fisica possente ma tradirà alcuni dei presupposti di Faraday come, ad esempio, il rifiuto dell'etere che è proprio dentro le equazioni di quel solido elastico di cui parlava Thomson. La memoria inizia proprio con riferimento alla *scoperta di Faraday dell'effetto prodotto da forze magnetiche o elettromagnetiche sulla luce polarizzata nei mezzi trasparenti*. E, nelle formule utilizzate per il calcolo delle forze magnetiche elastiche, era implicito che le prime implicavano la rotazione differenziale della seconda. Andare un poco più a fondo, avrebbe permesso a Thomson di trovare i risultati sul mezzo che trasmetterebbe le vibrazioni, l'etere, che saranno di Maxwell. Thomson ne sembrava però cosciente perché chiudeva la memoria affermando:

*Supererei certamente i limiti che mi sono attualmente imposto qualora entrassi nel merito di un'analisi speciale di quegli stati di un solido che rappresentano vari aspetti problematici in elettricità, magnetismo e galvanismo: analisi questa che deve essere pertanto essere lasciata ad un futuro lavoro.*

Purtroppo questa seconda memoria fu scritta quando era già superata dagli eventi nel 1890 ma bastò questa del 1847 per mettere Maxwell sulla buona strada.

## I CONTRIBUTI ALLA TERMODINAMICA

Thomson continuava comunque a lavorare ed a pubblicare incessantemente (nella sua vita scrisse 661 memorie ed un trattato di fisica - con Tait - interrottosi al 2° volume). In occasione della riunione annuale della British Association, che nel 1847 si tenne ad Oxford, Thomson ebbe modo di conoscere Joule come ho già detto nel lavoro su [Joule](#). Fu qui che il giovane Thomson pose delle domande a Joule che ridestarono l'attenzione degli uditori alla comunicazione di Joule ma anche sulla questione più generale che si dibatteva: i rapporti esistenti tra calore e lavoro meccanico. La conversazione che a fine comunicazione mantenne con Joule lo appassionò di più ed anche se non era convinto di molte cose che Joule sosteneva, coglieva l'importanza fondamentale del nocciolo del problema sul quale iniziò ad impegnarsi (ricordo che da quel momento iniziò una collaborazione di sette anni tra i due). Fino a quel momento, a parte la sua seconda memoria, *On the uniform motion of heat in homogeneous solid bodies, etc* del 1842, il periodo di lavoro con Regnault e la lettura di Clapeyron, si era principalmente occupato di matematica e di elettromagnetismo. Il suo interesse per la termodinamica, che lo spinse ad ascoltare la comunicazione di Joule, era iniziato proprio dalla lettura del lavoro di [Clapeyron](#) e le differenze tra quelle costanti dimensionali che comparivano in varie relazioni, costanti sulle quali aveva lavorato anche lui nel laboratorio di Regnault. Tutto ciò lo aveva interessato profondamente e gli aveva suggerito l'idea di stabilire una scala assoluta di temperature che in somma sintesi vuol dire: un termometro indipendente dalla sostanza termometrica. Il problema era in sostanza il seguente: occorreva disporre di un termometro che a parità di calore fornitogli indichi corrispondenti ed eguali aumenti di temperatura. Ma i termometri utilizzano sostanze termometriche ed essendo stato scoperto in dettaglio che le diverse sostanze hanno differenti calori specifici (e quindi assorbono diversamente il calore a differenti temperature) l'impresa risultava impossibile. Restava impellente il problema di avere un qualche sistema termometrico arbitrario che permettesse a diversi sperimentatori, in diverse parti del mondo ed in diverse condizioni, di riuscire ad avere un valore oggettivo di temperatura da poter comunicare ad altro sperimentatore. La lettura di Carnot attraverso



Clapeyron (l'opera di Carnot riuscì ad averla e leggerla solo l'anno successivo) aveva convinto Thomson della realizzabilità dell'impresa a partire dalla considerazione che il lavoro meccanico prodotto dall'espansione di un gas, quando gli si fornisce calore, dipendeva solo dalle differenze di temperatura tra sorgente e condensatore ed era indipendente dal fluido operativo. Thomson nella memoria che scrisse su questo problema, *On an Absolute Thermometric Scale, founded on Carnot's Theory of the Motive Power of Heat, and calculated from Regnault's Observations* (Cambridge Philosophical Society Proceedings for June, 1848; and *Phil. Mag.* Oct. 1848), iniziava con il descrivere il miglior termometro disponibile, quello ad aria. In condizioni differenti dava valori vicinissimi l'uno all'altro, tanto da poter essere trascurate le differenze. Ma è comunque da scartare perché vincola una misura ad una sostanza determinata. Ma allora, si chiedeva Thomson, *esiste un principio su cui possa fondarsi una scala termometrica assoluta ?* E si rispondeva:

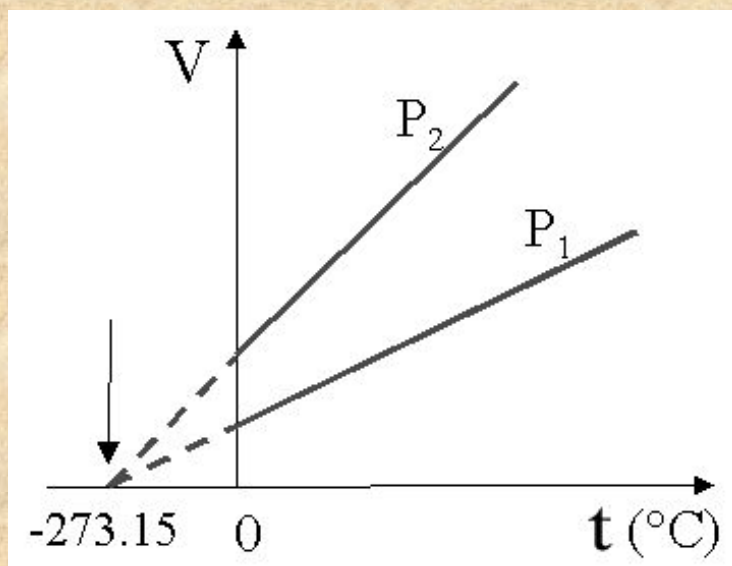
*La relazione esistente tra potenza motrice e calore, così come viene stabilita da Carnot, afferma che le **quantità di calore** e gli **intervalli di temperatura** sono i soli elementi implicati dall'espressione relativa all'ammontare dell'effetto meccanico ottenibile mediante l'azione del calore*

In linea, ancora di principio, Thomson propose una scala termometrica *nella quale tutti i gradi debbono avere lo stesso valore e cioè che una unità di calore che scende da un corpo A con una temperatura  $T^\circ$  di questa scala ad un corpo B con una temperatura  $(T - 1)^\circ$  deve fornire, qualunque sia il numero T, lo stesso effetto meccanico. Questa scala può a buon diritto essere definita come assoluta, poiché le sue caratteristiche sono completamente indipendenti dalle proprietà fisiche di ogni sostanza particolare.* E riguardo all'affermazione che tutti i gradi devono avere lo stesso valore, con le usuali sostanze termometriche non è così perché la dilatazione corrispondente al *valore di un grado* alle alte temperature è inferiore a quello che si ha per basse temperature. Ho detto *ancora in linea di principio* perché nel 1848 Thomson aderiva ancora alla teoria del calorico, e quindi a quanto aveva elaborato Carnot, ma pur dubitando era restato colpito dai risultati di equivalenza lavoro e calore di Joule. Eppure, sia Carnot che Joule avevano fatto esperienze credibili, come era possibile che arrivassero ambedue a dei risultati apparentemente corretti a partire da ipotesi diverse ed addirittura in contrasto ? Il problema sarà risolto in memorie successive ma qui abbiamo già una indicazione di quanto Thomson sta pensando in una nota al testo della memoria. Quando Thomson parla di dilatazioni diverse della sostanza termometrica a temperature diverse e quindi del valore di un grado differente, in nota dice:

*Questo è quanto ci si può aspettare qualora si pensi che un freddo infinito deve corrispondere ad un numero finito di gradi sotto lo zero del termometro ad aria; se infatti ci spingiamo sufficientemente lontano a proposito del principio rigoroso di graduazione di cui si è appena parlato, dobbiamo arrivare ad un punto che corrisponde ad un volume d'aria ridotto a zero, e questo punto sarà segnato con  $-273^\circ$  sulla scala ( $-100/0,366$ , se  $0,366$  è il coefficiente di espansione); ed allora il punto che sul termometro ad aria è contrassegnato con  $-273^\circ$  è un punto che non può esser raggiunto da una temperatura finita, comunque bassa.*

Questo ragionamento di Thomson era basato sulla legge di Gay-Lussac (1802) che si rifaceva ad un lavoro di Charles del 1787 (motivo per il quale la legge è anche nota come legge di Charles), secondo la quale, a pressione costante, il volume di un gas varia linearmente con la temperatura. Rappresentando graficamente la legge, si trova:





**La legge di Charles in un piano  $(V,t)$  per due valori di pressione  $P_1$  e  $P_2$  (ma stessa cosa avverrebbe per altri valori di  $P$ ). Si può osservare che in corrispondenza dello zero centigrado il gas mantiene un suo volume (diverso a seconda del valore della pressione). Se però si estrapolano le due rette, si vede che esse vanno a confluire in un punto dell'asse delle ascisse che corrisponderebbe a  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (non è pensabile andare oltre nell'estrapolazione perché avremmo volumi negativi che ancora non sappiamo cosa sono). Nel calcoletto che fa Thomson c'è da notare che il valore  $-273$  era derivato dal valore sperimentale  $0.366$  che è il coefficiente di espansione del gas per ogni grado centigrado. Di grande importanza quindi è avere delle misure sperimentali sempre più precise e stabilire con altrettanta precisione dove si trova quello zero centigrado per una data pressione.**

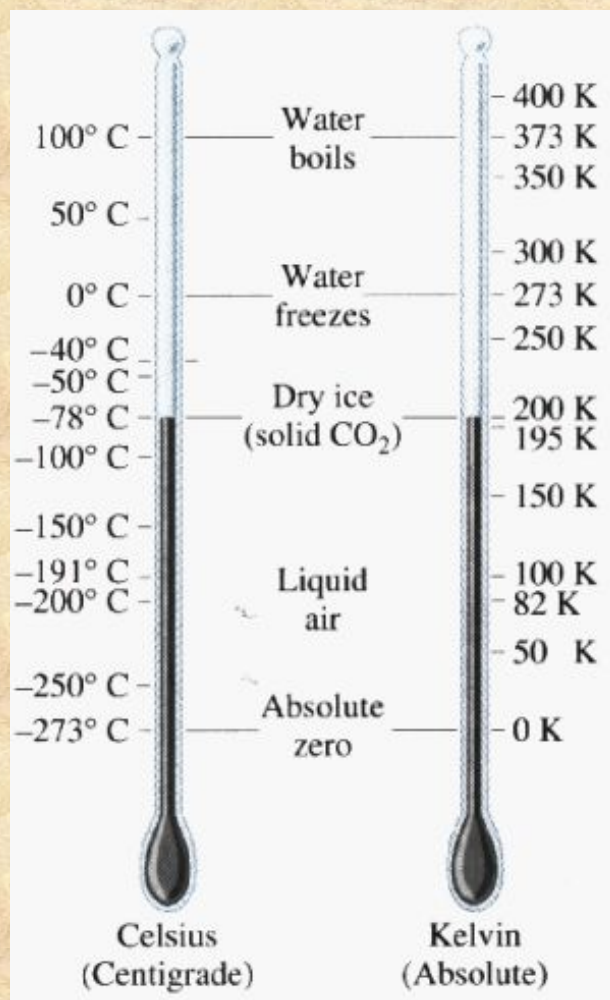
In questa memoria, quindi, Thomson aveva posto il problema ed indicato una strada che doveva essere completamente tracciata. Ma le basi del suo ragionamento, nonostante vi fossero già i lavori di Joule, erano errate perché il calore ceduto da A non è uguale a quello ricevuto da B e lo stesso Thomson fa riferimento a Joule che avrebbe provato questo fenomeno in un'altra nota.

*Sembra che quest'opinione [il fatto cioè che il calore si conservi, ndr] sia quasi universalmente sostenuta da parte di tutti coloro che ne hanno scritto.*

*Un'opinione contraria è stata tuttavia sostenuta da Mr. Joule di Manchester; egli ha fatto delle scoperte notevolissime concernenti la generazione del calore per mezzo dell'attrito dei fluidi in moto, che, insieme ad alcune note esperienze sulle macchine magneto-elettriche, sembrano indicare una conversione effettiva di effetto meccanico in calorico. Non viene riportato, però, alcun esperimento durante il quale venga mostrata l'operazione inversa; ma bisogna confessare che ancor oggi c'è molto di misterioso per quanto riguarda questi problemi fondamentali della filosofia naturale.*

Serviranno comunque tre anni perché Thomson si convincesse della teoria del calore non indistruttibile che può diventare lavoro meccanico (teoria meccanica del calore). Ma intanto quella sua nota sull'individuazione dello zero assoluto della sua scala a  $-273^{\circ}\text{C}$  aveva stabilito un principio fondamentale che aveva solo bisogno di una qualche specificazione (ciò fu fatto nel 1954 dalla Conferenza dei Pesi e Misure che assegnò al punto triplo dell'acqua il valore di  $+273,15^{\circ}\text{C}$ ).





Confronto tra scala centigrada e scala Kelvin

Thomson era quindi cosciente della provvisorietà delle sue conoscenze e delle sue speculazioni e si mise a lavorare alla questione con informazioni nuove perché poco dopo la pubblicazione dell'appena discussa memoria riuscì a leggere il lavoro di Carnot (ma non conosceva [il lavoro di Helmholtz](#) del 1847 sulla conservazione dell'energia che leggerà solo il 20 gennaio del 1852), a disporre degli ultimi risultati delle misure sperimentali di Regnault (*Relation des Expériences, ecc. in Mémoires de l'Institut*, Vol. XXI, 1847) e a convincersi quasi completamente dei risultati sperimentali di Joule. Egli non riusciva ancora a sbarazzarsi dell'idea del calore come un *qualcosa* che avesse una sua materialità ed anche nel linguaggio usava termini come *trasporto*, *passaggio*, *discesa* del calore e non di *trasformazione* o addirittura di *moto molecolare*. Inoltre, con Bellone, "come conciliare le tesi di Joule sulla conservazione dell'energia con la *scomparsa* della capacità a produrre effetti meccanici che caratterizzava il *passaggio* del calore da zone ad una certa temperatura ad altre a temperature inferiori, qualora un tale passaggio avvenisse senza l'intervento di una macchina termo-dinamica ?" Ed il 2 gennaio del 1849 Thomson pubblicò una nuova, lunga ed articolata memoria: *An Account of Carnot's Theory of the Motive Power of Heat - with Numerical Results Deduced from Regnault's Experiments on Steam* (*Transactions of the Edinburg Royal Society*, XVI. January 2 1849; *Annal de Chimie*, XXXV. 1852). In essa veniva rielaborato in forma analitica tutto ciò che aveva trovato Carnot con quanto elaborato da Clapeyron e, contemporaneamente, venivano per la prima volta riconosciute *le scoperte estremamente importanti fatte recentemente da Mr. Joule di Manchester [...]* sembrano rovesciare l'opinione comunemente sostenuta per cui il calore non può essere **generato**, ma può solo essere prodotto da una sorgente in cui esso già esisteva in forma sensibile oppure latente.

Sembra straordinario ma Thomson ancora ruota intorno al suo pregiudizio che sente



rafforzato dopo la lettura di Carnot e la correttezza delle sue conclusioni a partire da un postulato diverso da quello di Joule. Continua infatti Thomson affermando che

*Allo stato attuale della scienza, però, non si conosce alcuna operazione per mezzo della quale del calore possa venir assorbito entro un corpo senza o elevarne la temperatura, o diventare latente, e produrre qualche variazione nelle sue condizioni fisiche; e l'assioma fondamentale adottato da Carnot può esser ancora ritenuto come la base più probabile per uno studio della potenza motrice del fuoco, anche se esso, e con esso ogni altro ramo della teoria del calore, potrà in ultima istanza dover essere ricostruito su un'altra fondazione, quando i nostri dati sperimentali siano più completi. A queste condizioni, e per evitare una ripetizione di dubbi, io mi riferirò in quanto segue al principio fondamentale di Carnot come se la sua verità fosse pienamente stabilita.*

Più oltre vi è una domanda di grande interesse che Thomson si faceva in connessione alla definizione di macchina perfetta. Egli forniva questa definizione: *Una macchina termodinamica perfetta di tipo qualsiasi è una macchina per mezzo della quale si riesce ad ottenere la maggior quantità possibile di effetto meccanico da una data azione termica.* Seguiva poi che tale macchina avrebbe funzionato trasportando una determinata quantità di calore da una sorgente calda ad una fredda producendo un dato lavoro meccanico. E qui sorgeva il problema di Thomson che era relativo al trasporto di calore da una sorgente calda ad una fredda attraverso un conduttore solido senza che ciò originasse lavoro meccanico; se ciò si fosse realizzato sarebbe stato possibile costruire macchine con il solo scopo di dissipare l'azione termica. Ed è qui che, in nota, Thomson si poneva il quesito cui accennavo: *Quando l'«azione termica» viene così consumata nella conduzione di calore attraverso un solido, che succede dell'effetto meccanico che essa dovrebbe produrre? Nulla può esser perduto durante le operazioni della natura; nessuna energia può essere distrutta. Ma allora qual è l'effetto prodotto in luogo dell'effetto meccanico che è andato perduto? Una perfetta teoria del calore richiede imperativamente una risposta a questa domanda; eppure nessuna risposta può esser data nell'attuale stato della scienza.* Oltre a ciò, nessun passo avanti.

Riguardo invece all'altro grande dubbio di Thomson, sulla *materialità* del calore, nel 1850 vi fu un intervento di enorme importanza e chiarificatore del fisico tedesco Rudolf Clausius, *Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärme selbst ableiten lassen* ovvero: "Sulla forza motrice del calore e le leggi sulla natura del calore che possono essere dedotte da essa"; (*Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie*, **79**, Apr. 1850, 368–397, 500–524). Su questa memoria tornerò diffusamente quando mi occuperò di Clausius, per ora è sufficiente ricavare da essa alcune cose che sono utili al nostro discorso., chiarendo e sviluppando le ricerche di Joule ed il lavoro di Carnot. Nonostante ciò, diceva Clausius, *non dobbiamo demoralizzarci per queste difficoltà ma, al contrario, dobbiamo insistere fermamente nella teoria che il calore è un movimento, perché solo così potremo avere gli strumenti per accettarla o rifiutarla definitivamente.* Inoltre, proseguiva Clausius, *non credo che le difficoltà siano così grandi come le considera Thomson, perché anche se è necessario cambiare qualcosa nel nostro modo di affrontare il tema, penso che esso non sia in contraddizione con fatti sperimentali. E neppure credo che occorra sbarazzarsi della teoria di Carnot, cosa che sarebbe difficile riuscire a fare, poiché i fatti sperimentali sono in accordo, dentro certi limiti, in modo notevole con essa. Considerando più attentamente la questione osserviamo che la nuova teoria [la conservazione dell'energia, ndr] non è in contraddizione con il vero principio fondamentale di Carnot ma solo con il concetto accessorio "non si perde calore", poiché è molto probabile che durante la produzione di lavoro accada simultaneamente che sia consumata una certa quantità di calore ed altra trasmessa da un corpo caldo ad un corpo freddo,*



*esistendo tra le due quantità e la quantità di lavoro prodotto una certa relazione definita.* In definitiva Clausius affermava la necessità di sbarazzarsi della materialità del calore e dei suoi trasferimenti per sostenere invece la sua natura dinamica, il suo essere movimento, la *vis viva* del moto molecolare.

Thomson conobbe questo lavoro di Clausius nel 1850, quando egli stesso, per altre vie che non ci ha fatto conoscere, si era convinto della natura dinamica del calore. E nel marzo del 1851 uscì la prima memoria di una serie in cui abbracciò definitivamente la teoria dinamica del calore, *On the Dynamical Theory of Heat, with numerical results deduced from Mr Joule's equivalent of a Thermal Unit, and M. Regnault's Observations on Steam* (*Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, March, 1851). In tale memoria Thomson iniziava con il dare le referenze sperimentali della teoria dinamica del calore, a partire da Davy<sup>(2)</sup>:

*Sir Humphry Davy, grazie alla sua esperienza basata sulla fusione per strofinio di due pezzi di ghiaccio, ha stabilito la seguente proposizione: «I fenomeni di repulsione non dipendono, per quanto concerne la loro stessa esistenza, da un peculiare fluido elastico, ovvero, il calorico non esiste». E conclude che il calore consiste di un moto eccitato fra le particelle dei corpi.*

Estendeva la concezione di teoria dinamica anche al calore radiante consistente *di onde di vibrazione trasversale entro un mezzo che è presente ovunque in ogni cosa*. Passava poi a citare [il lavoro di Mayer](#) del 1842 e [le esperienze di Joule](#) del 1843, che avevano stabilito l'equivalente meccanico del calore, come *sufficienti per dimostrare l'immaterialità del calore*. Faceva infine riferimento al lavoro di Clausius che ho appena discusso ed a dei lavori del 1850 di William Rankine<sup>(3)</sup> in cui, all'interno di un modello articolato di materia, i gas venivano concepiti in modo dinamico (*ipotesi di vortici molecolari*) e tale da permettere la trattazione della teoria dinamica del calore attraverso i principi della meccanica (*la quantità di calore è la forza viva delle rivoluzioni o oscillazioni molecolari*). Ed a parte alcune correzioni che occorreavano al lavoro di Mayer, egli accettava i risultati che attribuiva a Joule da un lato e a Carnot-Clausius dall'altro, come assiomi per la costruzione della scienza termodinamica, parola quest'ultima coniata da Rankine. Tali assiomi erano riassunti in due proposizioni che sono i primi enunciati dei principi della termodinamica. Naturalmente, va ricordato che manca la conoscenza da parte di Thomson del lavoro di Helmholtz del 1847 che, a pieno diritto, è il padre del *Primo Principio della termodinamica*. Sciveva Thomson:

*L'intera teoria della potenza motrice del calore si fonda sulle due proposizioni seguenti, rispettivamente dovute a Joule ed a Carnot e Clausius.*

**PROPOSIZIONE I. (Joule).** - *Quando quantità eguali di effetto meccanico vengono prodotte, con qualsiasi mezzo, a partire da sorgenti puramente termiche, oppure vanno perdute in effetti puramente termici, vengono distrutte o generate quantità eguali di calore.*

**PROPOSIZIONE II. (Carnot e Clausius).** - *Se una macchina è tale che, quando vien fatta lavorare alla rovescia, le operazioni di tipo fisico e meccanico in tutte le parti dei suoi movimenti sono rovesciate, allora essa produce tanto effetto meccanico quanto quello che può esser prodotto, da una data quantità di calore, con una macchina termo-dinamica qualsiasi che lavori fra le stesse temperature di sorgente e di refrigeratore.*

Come accennato, la Proposizione 1 non è il Primo Principio della termodinamica ma solo



l'equivalenza tra lavoro e calore che, in futuro, potrà anche essere letto come Primo Principio a patto di considerare un ciclo chiuso in cui la variazione dell'energia interna del sistema è uguale a zero. D'altra canto in nessuna parte di questa sua memoria Thomson parla di *conservazione dell'energia*. Riguardo alla Proposizione 2 Thomson credeva che fosse una conseguenza di un assioma che egli enunciava così: *E' impossibile, ricorrendo ad operazioni materiali inanimate, derivare effetto meccanico da una qualsiasi porzione di materia raffreddandola al di sotto del più freddo dei corpi circostanti*. Ed in nota spiegava: *Se si negasse la validità di questo assioma per tutte le temperature, si dovrebbe allora ammettere che una macchina capace di agire da sola possa lavorare e produrre un effetto meccanico raffreddando il mare oppure la terra, senza avere alcun limite che non sia costituito dalla perdita totale del calore della terra e del mare, ovvero, in realtà, di tutto il mondo materiale*. E tale assioma, aggiungeva Thomson, deriva dalla definizione di una macchina termica perfetta che aveva fornito Carnot. Il quale ultimo, sbagliava nell'assegnare materialità al calore, anche se la proposizione conclusiva è corretta. All'assioma suddetto era arrivato anche Clausius, ammetteva Thomson, che lo enunciava nel modo seguente: *E' impossibile per una macchina in grado di agire da sola, trasportare, senza l'ausilio di una qualche azione esterna, del calore da un corpo ad un altro che sia ad una temperatura superiore*. E, osservo io, sarebbe stato più corretto nei due enunciati dell'assioma dire: *il cui risultato finale*, ma a questa altezza del dibattito è poco proficuo sottilizzare. I due enunciati sono del tutto equivalenti e discendono ambedue dalla definizione di macchina termodinamica perfetta di Carnot. A questo punto Thomson chiudeva il paragrafo in cui trattava la questione della macchina termo-dinamica perfetta con queste parole che introducono una teminologia che sarà approfondita in seguito dallo stesso Thomson ed avrà conseguenze rilevanti:

*Vediamo inoltre che l'espressione di Carnot, relativa all'effetto meccanico derivabile da una certa quantità di calore mediante una macchina perfetta operante in un intervallo di temperatura infinitamente piccolo, esprime veramente il maggior effetto possibile che si riesce ad ottenere in questo caso; e questo anche se, in realtà, si tratta soltanto di una parte infinitamente piccola dell'intero equivalente meccanico del calore fornito, essendo la rimanente parte irrimediabilmente perduta per l'uomo, e cioè «**dissipata**», anche se non **annichilata**.*

Si tratta, come si può facilmente arguire, della dissipazione dell'energia nell'ambito della conservazione, del fatto cioè che l'energia si conserva ma perde qualità rispetto alla sua capacità di produrre lavoro meccanico. Ma su questo aspetto discuterò più oltre la memoria di Thomson.

Da notare che nella parte V, pubblicata nel dicembre 1851, Thomson studiava l'energia meccanica associata ad un fluido invitando a farne un soggetto di ricerca in quanto lo considerava un fattore fondamentale nello studio delle proprietà fisiche di tutte le sostanze. Da notare ancora che, alla fine della parte VI, in cui studiava le correnti termo-elettriche e forniva spiegazioni termodinamiche degli effetti Seebeck e Peltier prevedendo l'esistenza di una relazione tra diffusione termica e correnti elettriche (*effetto Thomson*), egli presentava delle espressioni matematiche che traducevano gli enunciati delle sue due Proposizioni che diventano ora Leggi. Così egli introduceva le sue espressioni:

*Un corollario che deriva dalla seconda legge generale della teoria dinamica [...], e che equivale in generalità alla legge stessa, è il seguente: se un sistema materiale è soggetto ad un'azione continua, oppure ad un ciclo completo di operazioni, aventi un carattere di perfetta reversibilità, le quantità di calore che esso assorbe a temperature diverse sono condizionate da una equazione*



lineare i cui coefficienti sono i valori corrispondenti di una funzione assoluta della temperatura. L'assunzione termometrica che è stata adottata equivale ad assumere che questa funzione assoluta sia il reciproco della temperatura; per cui l'equazione prende la forma seguente:

$$\frac{H_t}{t} + \frac{H_{t'}}{t'} + \frac{H_{t''}}{t''} + ecc. = 0$$

se  $t, t', ecc.$  indicano le temperature delle diverse zone dove si ha emissione oppure assorbimento di calore, e  $\pm H_t, \pm H_{t'}, \pm H_{t''}, ecc.$  indicano le quantità di calore immesse o cedute rispettivamente in quelle stesse zone.

E questo per ciò che riguarda la Seconda Legge, mentre per la Prima Legge, Thomson presenta quest'altra espressione (con il medesimo significato della precedente espressione per  $t$  ed  $H$ ):

L'espressione corrispondente per la prima legge è la seguente:

$$W + J \cdot (H_t + H_{t'} + \dots + H_{t^{n-1}} + H_{t^n}) = 0$$

dove  $W$  indica l'ammontare complessivo del lavoro consumato nel produrre le operazioni richieste, e  $J$  indica l'equivalente meccanico dell'unità termica.

Per concludere con questa memoria di Thomson, resta solo da dire che, come accennato, essa fu arricchita da altre successivamente pubblicate ed alla fine tutte raccolte sotto lo stesso titolo, *On the Dynamical Theory of Heat*. Il tutto ha le dimensioni di una monografia e come tale è stata pubblicata pubblicata negli *Scritti Matematici e Fisici* di Thomson.

A questo punto Thomson aveva a disposizione le due Leggi e gli strumenti matematici adeguati per spingere le sue ricerche termodinamiche nei più diversi fenomeni. Inoltre nel gennaio 1852 aveva letto il lavoro di Helmholtz e già nel mese di febbraio pubblicava una sua memoria di grande interesse, *On the Mechanical Action of Radiant Heat or Light. On the Power of Animated Creatures over Matter. On the Sources available to Man for the Production of Mechanical Effect* (*Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Feb. 1852), in cui, nel fare una rassegna delle varie fonti di energia offerte dalla natura ed utilizzabili a fini pratici, per la prima volta, citava Helmholtz. Due mesi dopo veniva pubblicata un'altra sua breve e fondamentale memoria, *On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy* (*Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* for April 19, 1852), nella quale ritornava a quella questione che aveva lasciato in sospeso nella memoria sulla teoria dinamica del calore, la *dissipazione dell'energia*. Thomson iniziava con il reinserire in una memoria scientifica un qualcosa che era sparita da tempo, il riferimento a Dio *Potenza Creatrice*, e proseguiva fornendo un nuovo enunciato del Secondo Principio nella forma seguente:

*Quando del calore viene creato mediante un processo irreversibile (quale ad esempio l'attrito), si ha una **dissipazione** di energia meccanica, ed è impossibile **reintegrarla** completamente nelle sue condizioni primitive e poiché tutti i processi naturali prevedono fenomeni irreversibili vi è una continua dissipazione dell'energia che non potrà essere reintegrata.*

Alla fine di questo breve scritto vi è l'estensione di tale Principio agli animali ed ai vegetali, con queste parole:



*In base alle espressioni precedentemente date ed a fatti ben noti relativi alla meccanica dei corpi animali e vegetali si traggono le seguenti conclusioni generali:*

*I. Esiste oggi nel mondo materiale una tendenza universale verso la dissipazione dell'energia meccanica.*

*II. Nei processi materiali ed inanimati è impossibile la reintegrazione di energia meccanica senza la dissipazione di una quantità d'energia maggiore all'equivalente di quella reintegrata, ed è probabile che la reintegrazione non sia mai sviluppata da parte della materia organizzata, sia che si tratti di materia dotata di forme vegetali di vita, sia che si tratti di materia soggetta alla volontà di una creatura animata.*

*III. In un passato distante da noi per un periodo finito di tempo la terra deve essere stata non adatta alla vita degli uomini così come è oggi costituita, e parimenti non adatta dovrà essere in un futuro distante da noi per un periodo finito di tempo, a meno che non siano state fatte, o si facciano nel futuro, delle operazioni che sono impossibili secondo le leggi cui sono soggette le operazioni note che si stanno oggi svolgendo nel mondo materiale.*

In definitiva, a metà degli anni Cinquanta, con questi lavori di Thomson e con altri lavori di Clausius, che vedremo in un prossimo articolo, si era introdotta da una parte la dissipazione dell'energia e dall'altra, come vedremo, l'entropia concetti che sono tra loro raccordabili con qualche specificazione che vedremo. Il fatto interessante è che quella tendenza naturale descrive il fatto che si può individuare un prima ed un dopo, il passato ed il presente. E' cioè possibile pensare al tempo non più come ad una convenzione, addirittura invertibile come le relazioni matematiche che descrivono le leggi della meccanica non vietano perché in esse il cambiamento del  $t$  in  $-t$  non provoca alcun paradosso, ma come un dato naturale connesso allo stato di un sistema relativamente alle condizioni in cui si trova. Insomma il secondo principio, anche se ancora non completamente capito, aveva dentro di sé molto di più di quanto appariva ad una vista superficiale.

Le conclusioni di questa ultima memoria porteranno Thomson a fare certi calcoli sull'età della Terra basati sul calore proveniente dal Sole. In un primo tempo seguì una teoria suggerita da Mayer secondo cui il Sole produce calore perché è colpito continuamente da meteore (1854). Successivamente (*On the age of the Sun's heat*, 1862) propose una teoria secondo cui il Sole si scalda a seguito di contrazione gravitazionale della massa che lo costituisce. Secondo questa ultima teoria il diametro del Sole dovrebbe ridursi di un millimetro ogni 20 mila anni per fornire tutta l'energia che irradia attualmente. Combinando questo risultato con il calore specifico del materiale che costituisce il Sole, si arrivava alla conclusione che la temperatura di questa stella doveva diminuire di  $100^\circ$  in un tempo maggiore o uguale a 700 mila anni, deducendo come conseguenza da ciò che il Sole ha illuminato la Terra per un tempo di circa 100 milioni di anni. Queste sue conclusioni, troppo arrischiate per la verità perché troppo dipendenti da diversi parametri incontrollabili, gli fecero attaccare con durezza i geologi per le età che assegnavano a determinate erosioni sulla Terra (300 milioni di anni) e per questioni analoghe relative alla perdita di calore da parte della Terra. Per essere chiaro dico che ogni teoria è sostenibile. Se si tratta di teoria fondata su troppe ipotesi resti una teoria che attende una qualche verifica. Ciò che non può accadere è che tale teoria sia brandita come una mazza contro gli avversari. Inoltre, dopo la pubblicazione del 1859 dell'*Origine della Specie* di Darwin, Thomson passò ad attaccarlo perché quel libro assegnava ai processi evolutivi tempi troppo lunghi rispetto alle età della Terra da lui calcolate (la polemica di Thomson investì anche John Tyndall e Thomas



Huxley). Gli argomenti di Darwin, secondo Thomson, violavano le leggi della fisica ed il nostro era maggiormente adirato perché altre scienze che non usavano i metodi della fisica potessero avanzare teorie e costruire ipotesi. E chi era oggetto dei suoi attacchi non poteva difendersi entrando nella sua matematica e così risultava perdente. In ogni caso il dibattito prendeva aspetti ed assumeva toni non sempre confacenti al supposto grado di civiltà dei contendenti. Thomson era un credente (Chiesa Libera Scozzese poi cambiata nella Chiesa Episcopale Scozzese) e non riusciva a separare completamente la sua fede con la ricerca scientifica. Ma qui non fu tanto una questione di fede poiché egli non faceva riferimento all'interpretazione letterale della Bibbia, tanto è vero che sosteneva l'idea della vita venuta sulla Terra attraverso una qualche meteora. Piuttosto Thomson, che non si preoccupava di capire i metodi in altri settori della scienza, si indignava, come accennato, per tutto ciò che non fosse elaborato con la matematica e con il ricorso ad ipotesi di tipo meccanico. A questo proposito è necessario osservare che, come accennato, i dati di Thomson dipendevano da ipotesi e variabili non controllabili. Alla fine le teorie geologiche ed evoluzioniste, di geologi e biologi, discendevano da altre ipotesi e da nessuna parte è scritto che le ipotesi di un fisico hanno maggior valore di quelle di altri scienziati. Una lezione a Thomson venne dallo stesso Darwin che nella sesta edizione dell'*Origine della specie* (1872) ammetterà che: «E' probabile, come fa rilevare William Thomson che il mondo, nelle epoche molto antiche, andasse soggetto a cambiamenti delle condizioni fisiche molto più rapidi e violenti di quelli che avvengono attualmente». Ma Darwin non poteva immaginare che anche Thomson sarebbe stato smentito proprio perché non sapeva nulla di reazioni nucleari sul Sole e calore prodotto dalla radioattività di vari materiali presenti sulla Terra.

Ma già siamo su questioni che interessano poco mentre interessa invece sapere che Thomson abbandonava come settore di ricerca la termodinamica che si avviava invece su una strada estremamente proficua che affrontava il problema della natura del calore e passava quindi da una visione macroscopica dei fenomeni ad una microscopica come sviluppo dell'originaria teoria cinetica dei gas.

## THOMSON TORNA A QUESTIONI ELETTRICHE

Tra la fine degli anni Quaranta ed i primi anni Cinquanta dell'Ottocento Thomson non si era solo occupato di termodinamica ma anche di argomenti elettromagnetici. Dico questo perché i suoi interessi elettrici erano molteplici (elettrostatica, correnti indotte, elettromagnetismo in genere, strumenti, ...) e tutti con un grado di competenza elevatissimo. Seguiva il succedersi delle memorie di coloro che operavano nel campo e non aveva perso il contatto con la frontiera della ricerca. Ed ogni tanto, anche quando lavorava intensamente in termodinamica, aveva pubblicato delle memorie riguardanti l'elettromagnetismo tra cui la brevissima *On the theory of electromagnetic induction* (*British Association Report*, 1848) nella quale riprendeva la scoperta dell'induzione elettromagnetica di Faraday, la correzione energetica di Heinrich Friedric Emil Lenz (1804-1865) insieme alla forma matematica che a tale legge aveva dato Ernst Franz von Neumann (1798-1895), per proporre un modo diverso ed elegante di ricavare tale legge. Egli partiva, anche qui, da un *assioma* che gli discendeva dal principio di conservazione dell'energia *per cui il lavoro che si spende per produrre il moto relativo da cui dipende l'induzione elettro-magnetica deve essere equivalente all'effetto meccanico perduto dalla corrente indotta nel circuito*.

Nel gennaio del 1853 Pubblicò sui *Proceedings della Glasgow Philosophical Society* la memoria *On the Mechanical values of distributions of Electricity, Magnetism, and*



*Galvanism*. In essa Thomson, dopo aver dato una nuova forma all'espressione che forniva l'energia di un sistema di magneti (permanenti o temporanei), si occupò dell'energia che si deve associare ad un circuito percorso da una data corrente dopo l'eliminazione della forza elettromotrice. Thomson stava qui parlando delle correnti in regime transitorio ma il suo intervento è solo discorsivo. Come già in altre memorie l'idea che ha avuto l'annuncia per poi, come vedremo, passare ad approfondirla analiticamente in una memoria successiva. Egli, introduceva la discussione sulle correnti transitorie, che chiama *elettricità in movimento*, dicendo:

*Quando in un conduttore si eccita una corrente elettrica e poi si elimina la forza elettro-motrice, la corrente mantiene energia sufficiente a produrre calore, luce ed altri tipi di effetto meccanico, e continua a circolare per un certo tempo con intensità decrescente, oppure, a volte con intensità alternativamente decrescente e crescente, prima di cessare e prima che si raggiunga un equilibrio elettrico finale: tutto ciò è stato ampiamente dimostrato dagli esperimenti di Faraday ed Henry sulle scintille che si verificano quando si apre in un punto qualsiasi un circuito galvanico, e da quelli di Weber, Hellmholtz ed altri sugli effetti elettro-magnetici delle correnti variabili.*

La parte fenomenologica è questa ed egli si proponeva di sottoporla ad indagine, tenendo sempre presente il problema di ricondurre ogni fenomeno alla conservazione dell'energia attraverso i suoi effetti meccanici:

*Lo scopo della presente comunicazione è quello di dimostrare come il valore meccanico di tutti gli effetti che possono essere prodotti in un circuito chiuso da una corrente dopo l'eliminazione della forza elettro-motrice possa essere ottenuto mediante una determinazione (fondata sulle note leggi dell'induzione elettro-dinamica) del valore meccanico dell'energia di una corrente di intensità data, circolante in un conduttore lineare di forma qualsiasi (ad esempio, in un conduttore costituito da un filo ripiegato).*

Dopo alcune brevi considerazioni, concludeva che

*il valore meccanico di una corrente di forza data entro un conduttore lineare di forma qualsiasi si determina calcolando la quantità di lavoro contro le forze elettro-dinamiche che è necessaria per ripiegare il conduttore in questione su se stesso mentre si mantiene la circolazione di una corrente di forza costante. Il problema di carattere matematico che si presenta ci porta ad un'espressione del valore meccanico richiesto la quale consiste di due fattori, uno dei quali si determina in funzione della forma e delle dimensioni del circuito percorso caso per caso dal conduttore, indipendentemente dalla sua sezione, mentre l'altro è pari al quadrato della forza della corrente. Se fosse necessario tenere conto dell'inerzia, sarebbe allora necessario aggiungere a questa espressione un termine consistente di due fattori, uno dei quali sarebbe direttamente proporzionale alla lunghezza del conduttore ed inversamente proporzionale all'area della sua sezione, mentre l'altro sarebbe eguale al quadrato della forza della corrente: si otterrebbe in tal modo il valore meccanico completo del moto dell' elettricità.*

Ciò che Thomson aveva trovato e per ora espresso solo a parole era che il lavoro che egli si era proposto di trovare è dato da  $\frac{1}{2}Li^2$  dove  $i$  è l'intensità della corrente, che Thomson chiama la forza della corrente, ed  $L$  è un coefficiente chiamato di auto-induzione



dipendente solo dalla forma del circuito.

Qualche giorno dopo e sempre sui *Proceedings* della *Glasgow Philosophical Society*, pubblicò un'altra memoria, *On transient electric currents*, che è di estremo interesse sia per i suoi contenuti che per gli sviluppi che da essa derivarono. E' la memoria in cui Thomson andava a studiare con dettagli analitici le cose che aveva solo annunciato discorsivamente alla fine della precedente memoria. In linea di principio la memoria si propone di studiare la scarica di un condensatore, che a quest'epoca è una [bottiglia di Leida](#), attraverso un conduttore. Già nel 1801 il chimico e fisico inglese William Hyde Wollaston (1766-1828), nel corso di suoi esperimenti sulla decomposizione dell'acqua fatti con un generatore elettrostatico in luogo della pila di Volta, aveva osservato che quando la dissociazione avviene mediante tale generatore elettrostatico, l'idrogeno e l'ossigeno non si ritrovavano separati sui due differenti elettrodi ma si ritrovavano mescolati su ambedue gli elettrodi come se la corrente fosse passata nell'acqua in ambedue le direzioni. Medesime osservazioni vennero fatte da Faraday. Altre indagini le aveva realizzate Félix Savary (1797-1841), astronomo ed assistente di Ampère all'École Polytechnique, nel 1827. Egli osservò che la scarica di una bottiglia di Leida magnetizzava piccoli aghi di acciaio con polarità alternativamente opposte ed ipotizzò che durante la scarica il moto dell'elettricità avvenisse mediante una serie di oscillazioni. Un tale fenomeno fu successivamente osservato anche da Peter Theofil Riess (1804 – 1883) e Berend Wilhelm Feddersen (1832 - 1918). Su simili questioni disse cose analoghe anche il fisico americano Joseph Henry (1797-1878) nel 1842 che scriveva: *I fenomeni richiedono l'ammissione dell'esistenza di una scarica principale in una direzione, e quindi alcune azioni riflesse avanti ed indietro, ciascuna più debole della precedente, finché non si ristabilisce l'equilibrio*. Anche Helmholtz aveva osservato le stese cose e ne aveva discusso nella sua memoria *Sulla conservazione della forza* (1847).

Thomson in questa memoria del 1853 formulò la teoria matematica della scarica di una bottiglia di Leida ricavandone moltissime conseguenze di grande rilievo. Seguiamola:

*Lo scopo di questa comunicazione è quello di determinare il moto dell'elettricità in un istante qualsiasi successivo all'aver collegato a terra, mediante un filo o un qualche altro conduttore lineare di forma e resistenza date, un conduttore elettrizzato avente una capacità data e caricato inizialmente con una data quantità di elettricità. Questo conduttore lineare - che, per distinguerlo dall'altro conduttore, o conduttore principale, chiameremo «scaricatore» [la Terra, ndr]- avrà per ipotesi una capacità elettrica così piccola che l'intera quantità di elettricità libera che si trova in esso ad ogni istante della scarica è straordinariamente piccola in confronto alla carica originale del conduttore principale.*

Fissate altre condizioni del sistema (resistenza del conduttore lineare trascurabile, intensità di corrente attraverso il conduttore sempre la stessa, uniformità del potenziale attraverso il conduttore principale), egli richiamò la conclusione della sua precedente memoria da cui ripartì e mostrò che, alle condizioni fissate, il problema dipende da una sola variabile che può essere calcolata attraverso l'energia messa in gioco nel sistema. E l'equazione che ci fornisce tale variabile è la stessa che descrive il moto di un pendolo per piccole oscillazioni in un liquido viscoso con una resistenza proporzionale alla velocità della massa che si muove in esso (ma si può anche pensare alle oscillazioni di una mola alla cui estremità sia stata sistemata una massa). L'analisi matematica del problema portò ad una soluzione la cui interpretazione mostrò l'esistenza di due tipi diversi di scarica con peculiari caratteristiche distintive: una scarica continua ed una oscillante (o oscillatoria) che si realizzano a seconda le condizioni fisiche dei componenti il sistema. Nella scarica continua



la quantità di elettricità del conduttore principale diminuisce continuamente e la corrente di scarica passa per un massimo per poi diminuire con continuità tendendo all'equilibrio al tendere del tempo all'infinito. Nella scarica oscillante il conduttore principale perde la sua carica iniziale per riacquistarla successivamente in quantità minore e di segno opposto, si scarica nuovamente e di nuovo si carica di una quantità minore con lo stesso segno che avevamo all'inizio e così via un numero infinito di volte fino ad arrivare all'equilibrio. Dipenderà dalla capacità della bottiglia, dalla resistenza del conduttore principale e dalla forma del circuito [che sarà poi chiamato coefficiente di autoinduzione o induttanza], se siamo nella condizione di una scarica o dell'altra.

Sia  $C$  la capacità della bottiglia cioè la misura della carica quando la differenza di potenziale  $V$  tra le armature è unitaria; sia  $R$  la resistenza ohmica del circuito di scarica ed  $L$  il coefficiente di autoinduzione. Se ad un dato istante  $t$  la carica del condensatore è  $Q$  e la corrente nel conduttore lineare è  $i$ , risulterà:

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

Nel circuito saranno presenti due forze elettromotrici, la  $V$  del condensatore e la  $E$  dovuta alla corrente di autoinduzione date rispettivamente da:

$$V = \frac{Q}{C} \quad E = -L \frac{di}{dt}$$

Per la legge di Ohm risulterà:

$$V + E = Ri$$

da cui:

$$Ri + L \frac{di}{dt} = -\frac{Q}{C}$$

e, sostituendo ad  $i$  il suo valore, troviamo:

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{1}{C} Q = 0$$

Si tratta di un'equazione differenziale del secondo ordine<sup>(4)</sup> che ha una soluzione che mostra, per la scarica del condensatore, che l'andamento di  $Q$  a zero avviene con oscillazioni aventi un periodo:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

Da questa espressione si vede subito che essa è reale se:

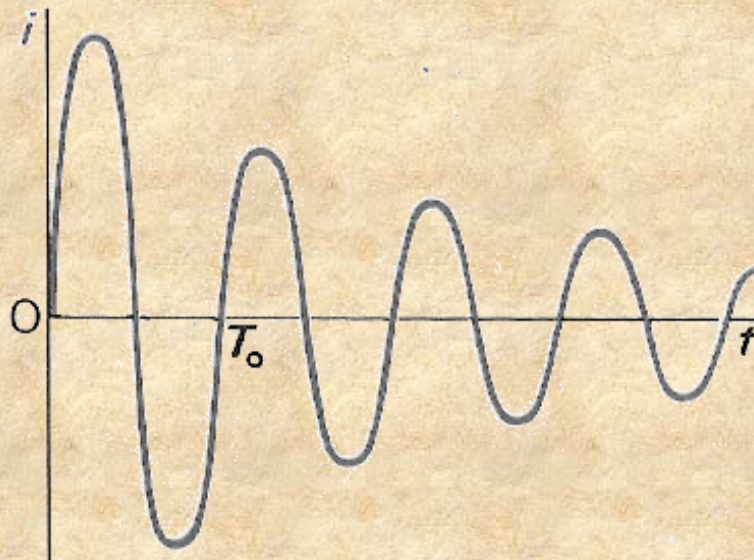
$$R^2 C < 4L$$

che si può anche scrivere:



$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

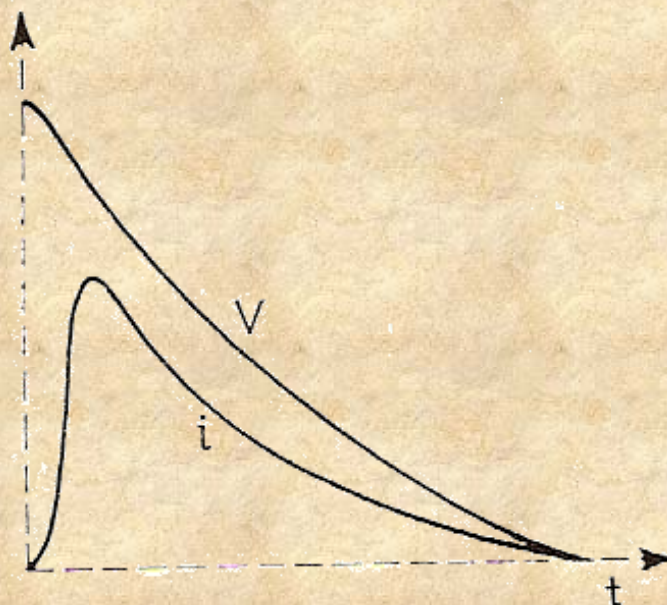
Si tratta della ben nota *condizione di Thomson* per avere una scarica oscillatoria della bottiglia di Leida (di un condensatore), scarica rappresentata nella figura seguente:



Naturalmente, se avviene che:

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

siamo in condizione di scarica continua (non oscillatoria) i cui grafici per potenziale e corrente in funzione del tempo sono riportati in figura:





In quest'ultimo caso di scarica continua la soluzione dell'equazione che ci fornisce la corrente in dipendenza del tempo diventa:

$$i = \frac{V}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

e questa relazione, diceva Thomson, concorda con i risultati trovati da Helmholtz. Ed aggiungeva:

*Questo risultato mostra che quando un conduttore, inizialmente in stato di equilibrio elettrico, diventa soggetto ad una forza elettromotrice costante  $V$  applicata ai suoi estremi, una corrente comincia a fluire in esso crescendo gradualmente di intensità sino al limite  $V/R$ . Questo limite non può esser raggiunto in un qualsiasi intervallo finito di tempo, anche se, in realtà, passano ben pochi minuti prima che la corrente raggiunga, nei casi ordinari, un'intensità così prossima a  $V/R$  ogni suo ulteriore aumento diventa impercettibile.*

*Le equazioni [...] che esprimono una scarica continua, assumono, quando  $L$  è infinitamente piccolo, la forma seguente:*

$$i = \frac{Q}{CR} e^{-\frac{1}{RC}t} \qquad q = Q \cdot e^{-\frac{1}{RC}t}$$

*la quale mostra che, quando non è sensibile quel qualcosa che indichiamo con l'inerzia elettrica [l'induttanza, ndr], la corrente inizia istantaneamente con la sua intensità massima per poi diminuire gradualmente così come la carica, gradualmente e con continuità, lascia il conduttore principale.*

Con questa teoria, concludeva Thomson, è possibile spiegare tutti i fenomeni osservati ed ai quali ho fatto riferimento qualche riga più su.

Questa memoria di Thomson segnò l'inizio dello studio delle oscillazioni elettriche ed è cosa di fondamentale importanza se solo si pensa che Maxwell fu colpito da tale memoria tanto che nel 1855, un anno dopo la sua laurea, scrisse allo stesso Thomson le cose seguenti:

*Non conosco le regole di caccia e le leggi sulla proprietà nel campo della scienza [...] ma tenga per certo che ho intenzione di fare delle incursioni nelle sue teorie elettriche, così come ho intenzione di utilizzare tutte le indicazioni che lei possa aver seminato nei suoi studi delle forme più alte dell'elettricità.*

Thomson permise a Maxwell le incursioni che desiderava e Maxwell dimostrò teoricamente la possibile esistenza di oscillazioni (onde) elettromagnetiche, anche se Thomson impiegò molto ad accettare i lavori di Maxwell, tanto che, alla morte prematura di quest'ultimo nel 1879, ancora dubitava. Ma le scoperte si accavallavano e passavano da paese in paese e l'esattezza delle elaborazioni di Maxwell passò in Germania ad Hertz, un allievo di Helmholtz, che nei suoi studi partì proprio dai circuiti oscillanti del lavoro di Thomson del 1853.

Thomson stava già pensando ad altro, al fatto cioè che, dopo la teoria dinamica del



calore, occorre avanzare una teoria dinamica dell'elettricità, sempre nella visione di ricondurre tutto alla scienza ritenuta regina, la meccanica. E' del 1856 una sua memoria sull'argomento: *Dynamical illustrations of the magnetic and the helicoidal rotatory effects of transparent bodies on polarized light*, *Proc. Royal Soc.* 8, 1856, 150-158. Come dirà più tardi, egli pensava l'elettricità non come un accidente ma come intrinseca alla materia. Ed aggiungeva che l'elettricità è un'essenza della materia e, come ormai sembra certo, l'elettricità in moto è calore, ed in questo moto un certo allineamento degli assi di rivoluzione è il magnetismo. Si trattava di ridiscutere la teoria di campo di Faraday in modo da fornirgli di un apparato matematico che descrivesse ogni fenomeno. In una lettera a Faraday del 1849 aveva continuato a porsi il problema che era sorto nel 1845, come già discusso, fornendo un abbozzo di rappresentazione delle linee di forza del campo magnetico, campo che egli chiamava *campo di forza*. Questo primo approccio gli servì per spiegare la conduttività delle sostanze nei confronti delle linee di forza magnetiche. Tale concetto fu ripreso in una sua memoria del 1851, *A Mathematical Theory of Magnetism* (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 141, pp. 269-285) dove il campo magnetico fu rappresentato come *una materia magnetica immaginaria*. Thomson non suppose qui modelli fisici di sorta per la trasmissione delle azioni ed affermò solo che le forze in questo campo si esercitavano tra pezzi di materia magnetica. Quest'ultima poi non era da considerarsi come una sostanza materiale ma piuttosto come il mezzo che si prestava all'analisi matematica dentro cui fossero alloggiate le linee di forza. Vi è qui un altro esempio di calcolo matematico svolto in analogia e non come modello rappresentativo di una data realtà fisica (in questo caso la costituzione fisica del campo magnetico). La matematica va intesa come strumento e non identificata con i fatti fisici. Arriviamo a questo punto alla citata memoria del 1856. Come accennato, in questa memoria egli riprese la teoria dei moti molecolari che aveva sviluppato nella teoria dinamica del calore e la teoria dei moti vorticosi sviluppata da Rankine (come già detto, non in senso stretto). Thomson aveva già dimostrato nel 1847, nella già citata *On a mechanical representation of electric, magnetic, and galvanic forces*, che le forze elettriche e magnetiche potevano essere rappresentate mediante la distorsione di un solido elastico, utilizzato in ulteriore analogia, ora, in questa memoria, con l'apparato della materia magnetica e delle azioni che si hanno in essa mediante le linee di forza e sempre sostenuto dall'analogia del solido elastico, per introdurre la matematica di Fourier, andò a spiegare il fenomeno di rotazione del piano di polarizzazione della luce scoperto da Faraday e cioè *l'effetto prodotto da forze magnetiche o elettromagnetiche sulla luce polarizzata nei mezzi trasparenti*. Thomson ipotizzò che l'effetto fosse dovuto al moto vorticoso dell'etere che interviene in questa memoria a sostituire la materia magnetica e i vortici molecolari della precedente. E qui richiamava esplicitamente il calore, quando diceva che *la spiegazione di tutti i fenomeni d'attrazione o repulsione elettromagnetica e di induzione elettromagnetica deve essere cercata soltanto nell'inerzia e nella pressione della materia, i cui moti costituiscono il calore*. Con questa premessa il campo poteva essere trattato in analogia a patto che potesse pensarsi all'interno dell'etere. Thomson aveva ipotizzato che la polarizzazione lineare (vibrazione su un piano) può essere trattata matematicamente come la combinazione di due rotazioni circolari in direzioni opposte. Se uno dei due movimenti è più rapido dell'altro la direzione della vibrazione lineare risultante gira progressivamente come un mulinello che si crea dentro la materia e che fa sì che una delle componenti circolari si muova con maggiore velocità dell'altra. Dell'etere comunque Thomson non forniva qui la struttura fisica. Egli affermò che l'etere poteva essere un fluido continuo che permeava tutto lo spazio fin dentro gli interstizi tra le molecole dei corpi ma poteva anche essere costituito da molecole, oppure le cose potevano stare in altro modo: una materia continua che ci dava la sensazione di discontinuità a seguito di moti vorticosi nell'etere. Solo qualche anno dopo la sua propensione virò verso il fluido rimettendo in gioco i vortici. Ma qui siamo ad un'altra fase dei lavori di Thomson della quale parlerò più oltre, quando tratterò del suo *atomo vortice* del 1867. Questa memoria rappresenta un salto fondamentale

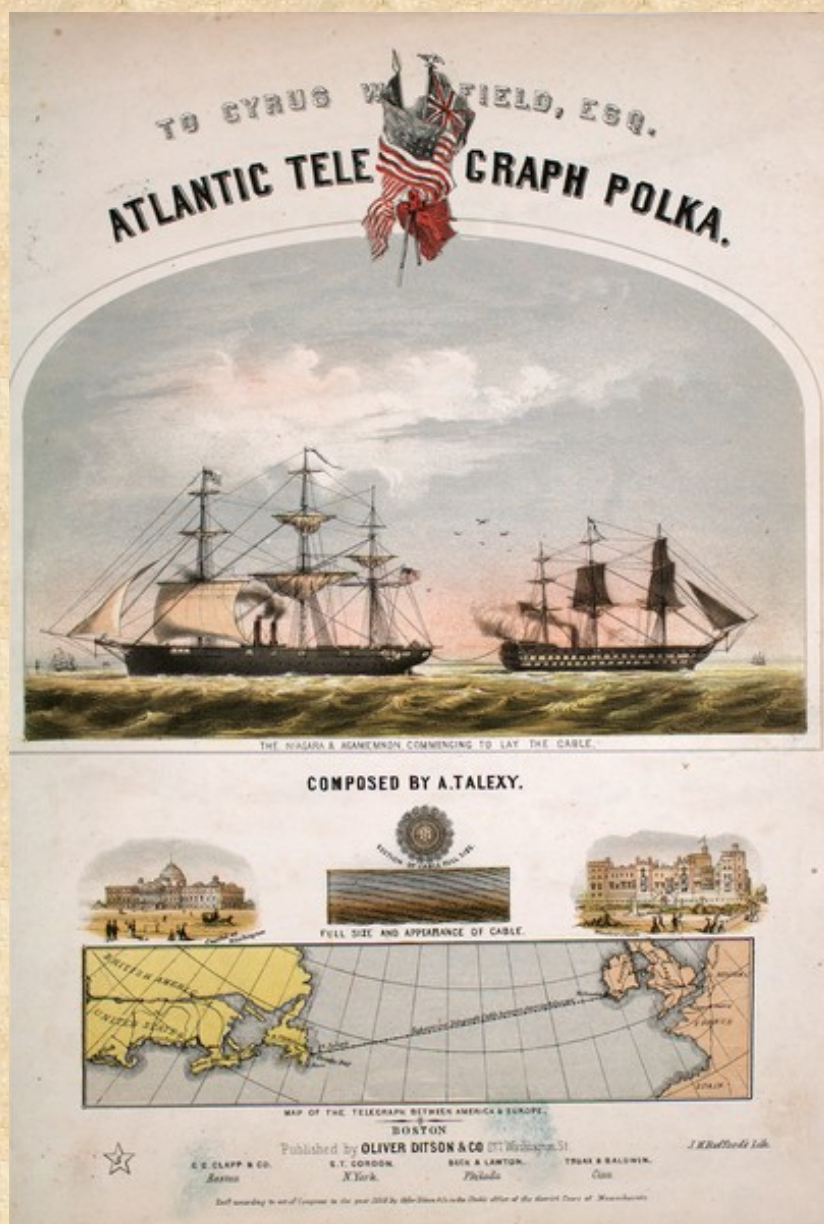


rispetto a tutte le trattazioni del campo fatte in precedenza e, non a caso, Maxwell ne citerà dei passi e la riterrà *straordinariamente importante*. In definitiva, nella trattazione del campo fatta da Thomson che finalmente recuperava la teoria di Ampère sulla natura del magnetismo inteso riduzionisticamente come correnti che marciano in circolo, un etere meccanico, dentro cui agiscono moti vorticosi (un etere quindi dinamico), diventava indispensabile. Ed era qui delineata una struttura con la quale per cinquant'anni molti eminenti fisici si scontreranno con quella ingombrante invenzione che era l'etere (finché non intervenne Einstein). Ma anche utile perché le equazioni del campo furono ricavate mediante esso. Occorre che io ripeta che le idee di Thomson sulla realtà fisica erano divergenti da quelle di Faraday. Quest'ultimo, ad esempio, rifiutava ipotesi ad hoc e particolarmente l'etere. Ma l'opera di Thomson fu estremamente importante perché attraverso di lui la comunità scientifica conobbe i lavori di Faraday.

## THOMSON INGEGNERE E TECNICO

Prima di andare oltre fornisco alcuni dati biografici del nostro. Si era sposato nel 1853 con Margaret Cum, donna colta e raffinata ma di salute estremamente cagionevole, tanto che cominciò a star male nel viaggio di nozze in Sicilia. Fino alla sua morte nel 1870, fu invalida e per tutto questo tempo Thomson fu compagno impeccabile che curò ed assistette la sua sposa. Helmholtz, conosciuto da Thomson nel 1855 e diventato suo amico, racconta che Thomson era inconsolabile per la perdita di Margaret. Anch'egli ebbe un incidente, nel 1860 cadde e si ruppe una gamba mentre praticava pattinaggio su ghiaccio. La frattura non fu messa bene a posto e da allora Thomson poté camminare solo con l'aiuto di un bastone. Nel 1856 vi fu una brusca interruzione nella ricerca teorica di Thomson. La sua fama, la sua conoscenza approfondita della fisica e della matematica, la pubblicazione dei lavori in cui la teoria si coniugava con problemi di carattere pratico quando non addirittura ingegneristico, la pubblicazione della *On transient electric currents* e, soprattutto delle sue successive memorie *On the theory of the electric telegraph* (1854), *On the peristaltic induction of electric currents in submarine telegraph wires* (1855), *Letters on telegraph to America* (1855), dove poneva le basi per la teoria matematica della trasmissione di segnali elettrici via cavo, nel limite in cui gli effetti induttivi fossero trascurabili, ed anche un [brevetto](#) realizzato con Joule e Rankine per un cavo telegrafico sottomarino, suscitarono l'interesse di una compagnia telegrafica che progettava una gigantesca impresa: la posa di un cavo telegrafico sottomarino tra la Gran Bretagna e l'America del Nord (l'isola di Terra Nova). Thomson fu contrattato dalla Atlantic Telegraph Company come consulente scientifico e come supervisore della posa del cavo viaggiando sulle navi responsabili di tale attività le britanniche HMS Agamemnon e SS Great Eastern (nave da trasporto merci troppo grande per lo scopo e trasformata in nave posacavi in sostituzione dell'Agamemnon nella missione del 1866) e l'americana USS Niagara.



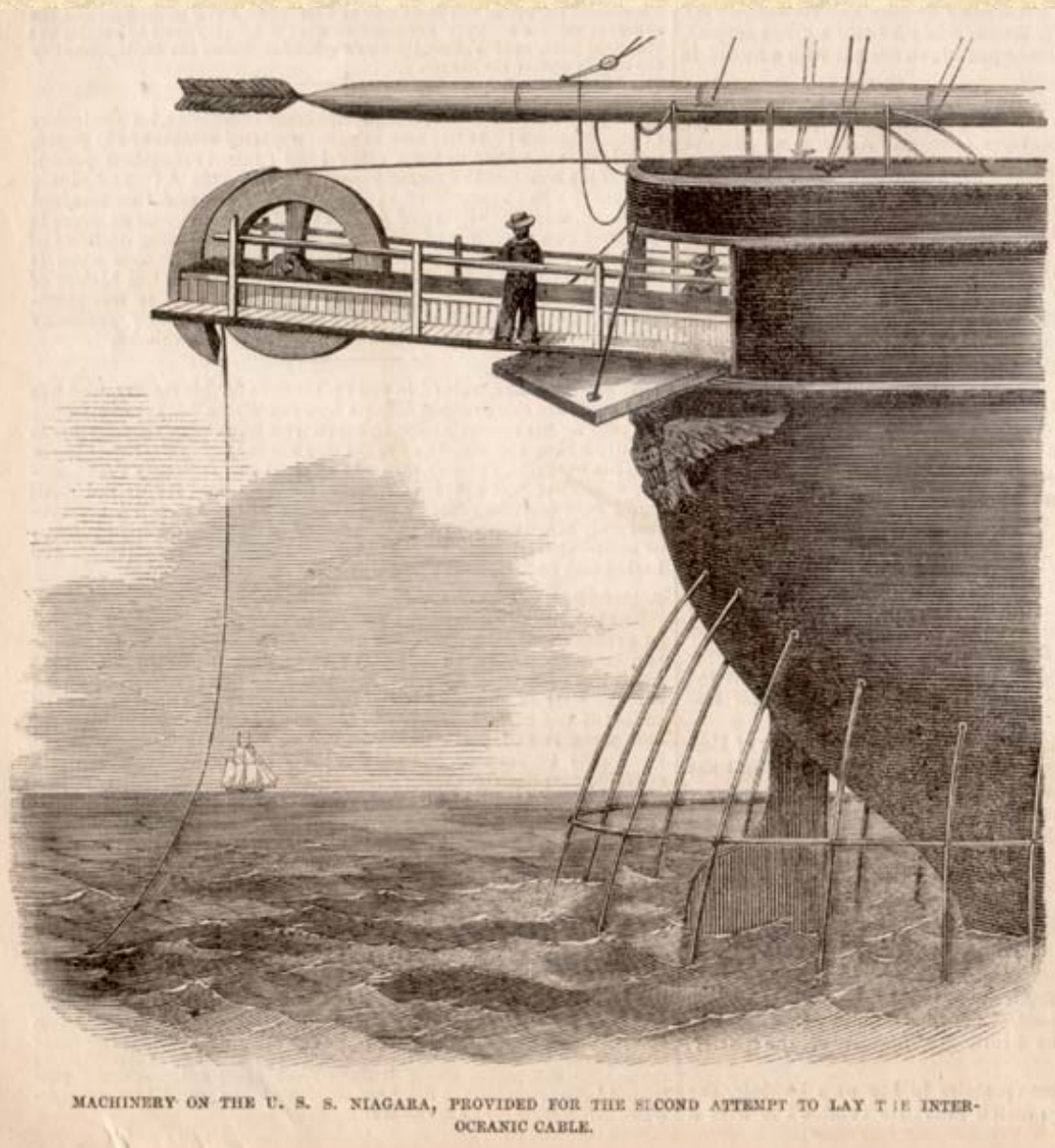


**Il libretto di una polka, tra le tante, composta in occasione della posa del cavo transatlantico. Nel disegno è riportata la HMS Agamemnon e la USS Niagara ed il tracciato lungo il quale depositare il cavo.**



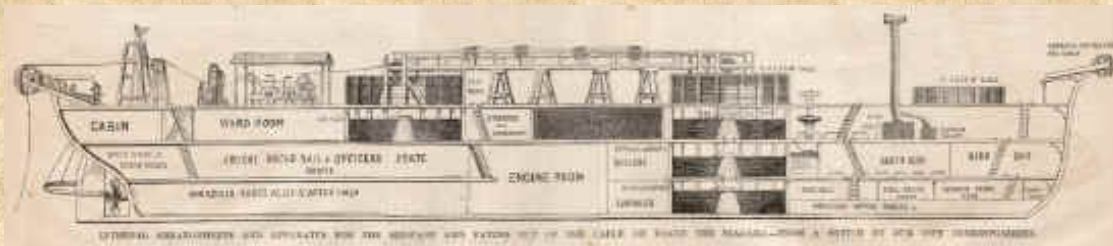


L'Agamemnon e la Niagara al lavoro o [www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/](http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/)

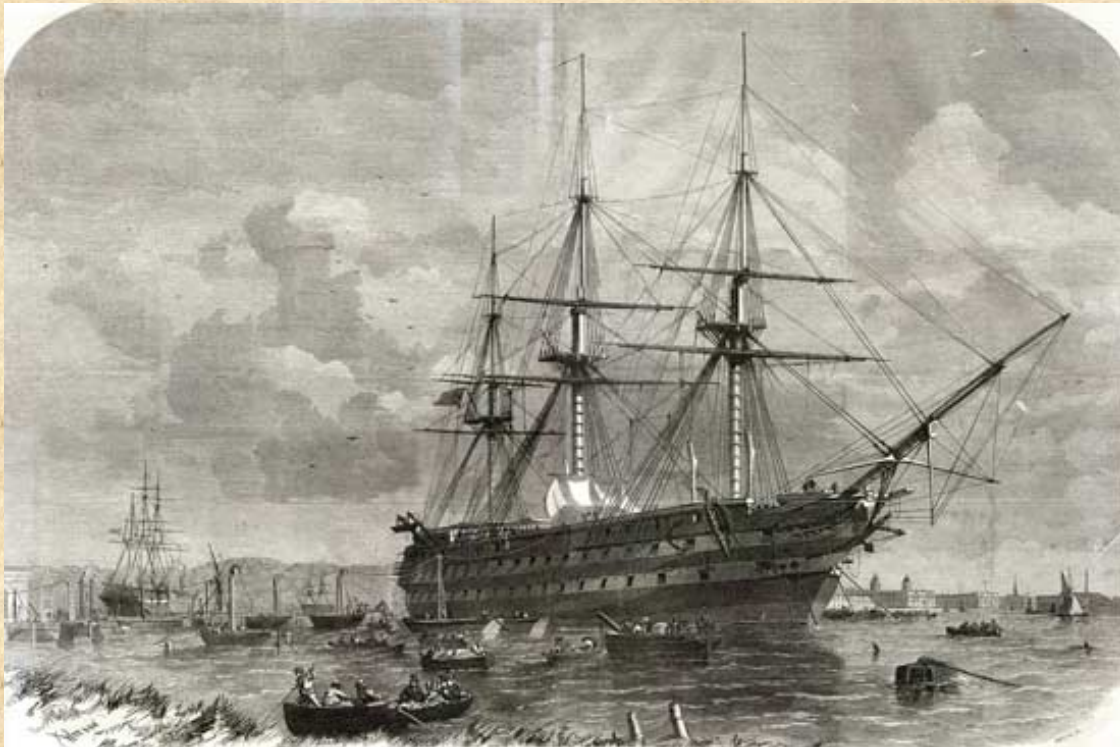




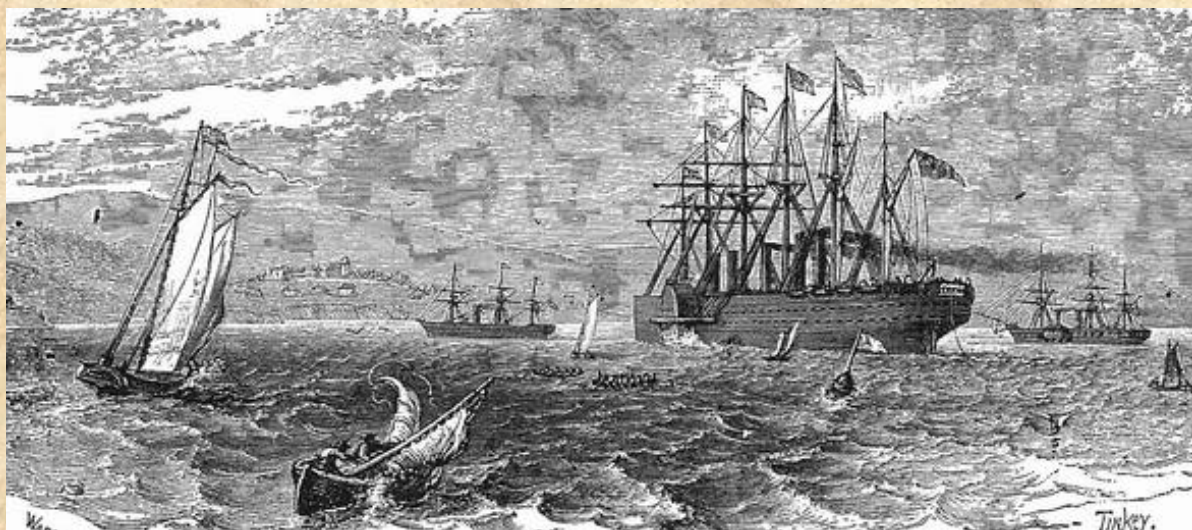
L'apparato utilizzato per depositare il cavo della Niagara [www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/](http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/)



La struttura interna della Niagara [www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/](http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/)



L'HMS Agamemnon [www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/](http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/)



La SS Great Eastern al lavoro nel luglio 1866



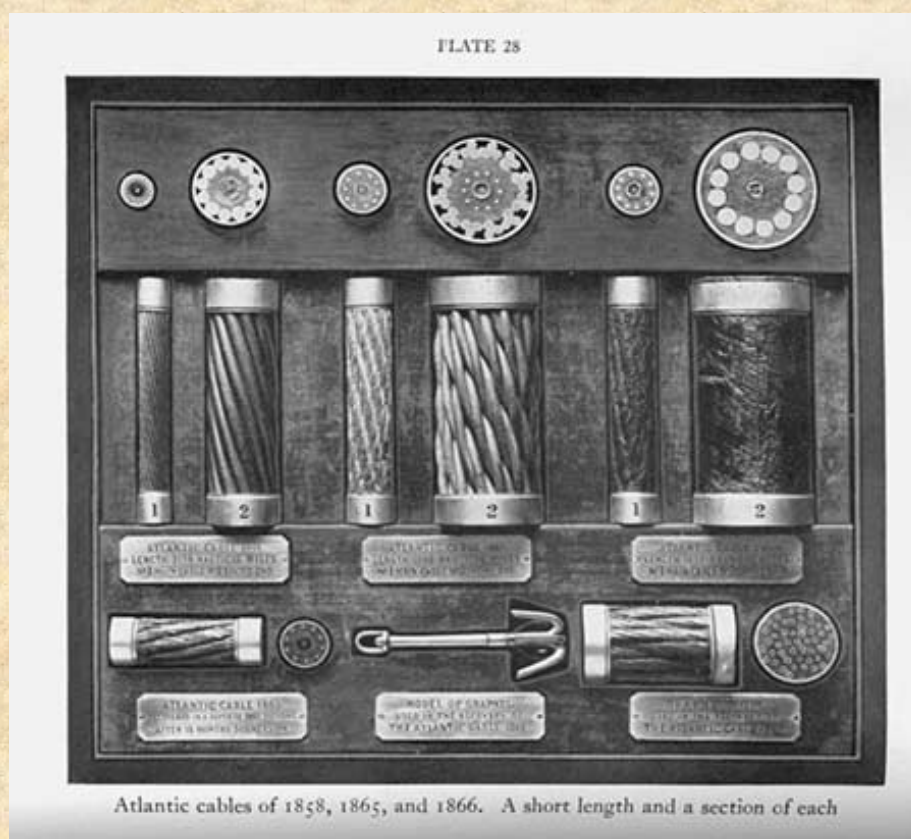


### Ancora la Great Eastern

Tutto era iniziato nell'ottobre 1854 quando Gabriel Stokes scrisse a Thomson per chiedergli un parere su alcune idee di Faraday relative alla posa di un cavo transatlantico per le comunicazioni telegrafiche. Faraday infatti aveva dimostrato che il cavo avrebbe limitato la velocità dei messaggi spediti. Thomson si mise al lavoro e lo stesso mese pubblicò la sua prima memoria, 1854, sulla teoria del telegrafo in cui mostrò la necessità di conoscere bene il comportamento dei cavi di grande lunghezza per il loro uso efficace. Egli mostrò che se si produce un brusco segnale elettrico in un estremo di un cavo lungo, solo una parte della sua energia raggiunge l'altro estremo istantaneamente, infatti l'impulso si trasforma gradualmente in un'onda la cui parte iniziale raggiunge l'altro estremo molto presto, ma il cui massimo arriverà solo dopo che l'onda sarà cresciuta gradualmente e risulterà quasi impercettibile fino a svanire. Chi dovrebbe ricevere il segnale osserverebbe solo una lieve oscillazione della corrente con poca definizione comunque non in grado di mantenere l'informazione di un segnale. Tale fenomeno dipende dalla capacità e resistenza del cavo e, poiché queste grandezze risultano proporzionali alla lunghezza del cavo, l'effetto risultava proporzionale al quadrato della lunghezza del cavo. Così, se il ritardo in un cavo di cento miglia è di un decimo di secondo, in un cavo dalle stesse caratteristiche ma lungo duemila miglia risulta 400 volte maggiore e cioè di 40 secondi. In tal modo avrebbe un senso utilizzare un tale sistema solo inviando un impulso ogni 40 secondi ma poiché ogni lettera dell'alfabeto Morse è costituita da due o tre impulsi, la lentezza delle trasmissioni avrebbe totalmente annullato l'utilità del cavo. Era comunque possibile intervenire tecnicamente sulla costruzione del cavo diminuendone resistenza e capacità ed



aumentandone sezione, qualità del rame e isolamento tra strato e strato. Nel 1856 sembrò tutto pronto perché l'impresa



#### Campioni e sezioni di cavo delle successive spedizioni

[www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/](http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/)

iniziasse. Ma Thomson dovette iniziare a combattere con chi, per fretta, avidità ed ambizioni personali, faceva operazioni sbagliate come quella di far costruire un cavo che egli riteneva di sezione troppo piccola perché potesse funzionare. Ma il progetto era partito e Thomson si mise al lavoro per studiare la conduttività del rame. Scopri che essa variava moltissimo, fino ad un 40%, se nel rame vi erano impurezze. Il cavo veniva fabbricato in pezzi di due miglia l'uno. Egli prese alcuni campioni per studiarli e trovò che ciascuno aveva una conduttività diversa, anche di molto. La cosa non avrebbe funzionato. A parte il fatto specifico, i lavori di Thomson fecero capire la necessità di unificare a livelli di qualità i materiali usati nell'industria e per far ciò della necessità di avere strumenti di misura sempre più perfezionati ed affidabili. Venne così realizzato il primo laboratorio industriale per la prova dei materiali.

Quando si iniziò a tendere il cavo, i timori di Thomson furono anticipati da una rottura meccanica che avvenne dopo 330 miglia (rispetto alle 2200 del tragitto complessivo): il cavo aveva una bassa resistenza alla trazione. La spedizione fu interrotta e ci volle un anno perché fosse ripresa nel 1858. Dopo vari incidenti, causati da tempeste marine che agivano su una nave stracarica, il cavo toccò suolo





**L'Agamemnon nella tempesta del 20 e 21 giugno 1858 [www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/](http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/)**

americano. Vi fu grande festa tra le due sponde dell'Oceano ma vi fu una settimana di *suspence* per l'intervento di un elettrotecnico, Whitehouse, che non sapeva come far funzionare il tutto credendo che la cosa migliore fossero segnali molto intensi. Il primo messaggio fu inviato dalla Regina Vittoria. Era composto da 99 parole e dall'Irlanda (dove c'era la strumentazione introdotta da Whitehouse) a Terra Nova impiegò 16 ore e mezza. Il messaggio di ritorno con strumenti standard dell'epoca impiegò 67 minuti. Il cavo funzionò con questa lentezza per un mese e mezzo e poi ammutolì.



ANNO II

DAL 18 AL 24 MARZO 1865

NUM. 29.



# L'EMPORIO PITTORESCO

GIORNALE SETTIMANALE

## Prezzo d'Abbonamento annuo

Franco di porto in tutto il Regno. It. L. 6 —  
 Per la Svizzera . . . . . 8 —  
 Per la Francia . . . . . 10 —  
 Per la Provincia Veneta, l'Inghilterra, ecc. 12 —  
 Gli abbonati ricevono in dono una Straniera, un Vade mecum, la copertina, il frontispizio e l'indice.

Non si ricevono associazioni che per un'intera annata.

Prezzo di cada numero anche arretrato

**Centesimi 10**

È vietato ai Rivenditori di esigere un prezzo maggiore in tutta Italia.

## Modo di Abbonamento

Il miglior mezzo d'abbonarsi è l'invio dell'im-  
 porto in vaglia postale intestato alla Direzione  
 dell'Emp. Pittor. Milano, S. Vito al Pasquirolo.  
 Lettere, gruppi, disegni, devono inviarsi fran-  
 chi alla Direzione dell'Emporio Pittoreesco, in  
 Milano. Inserzioni L. 4 per linea o spazio di linea.

**Distribuzioni principali:** Milano, presso la Società dei rivenditori di giornali; Torino, S. Marchisio; Genova, Figli di S. Grondona; Firenze, A. Bac-  
 sans; Livorno, F. Tassinari; Bologna, Marsigli e Rocchi; Ancona, B. Aureli; Napoli, D. Baldi; Palermo, Società degli spacci di Giara; Catania, C. Condorelli.



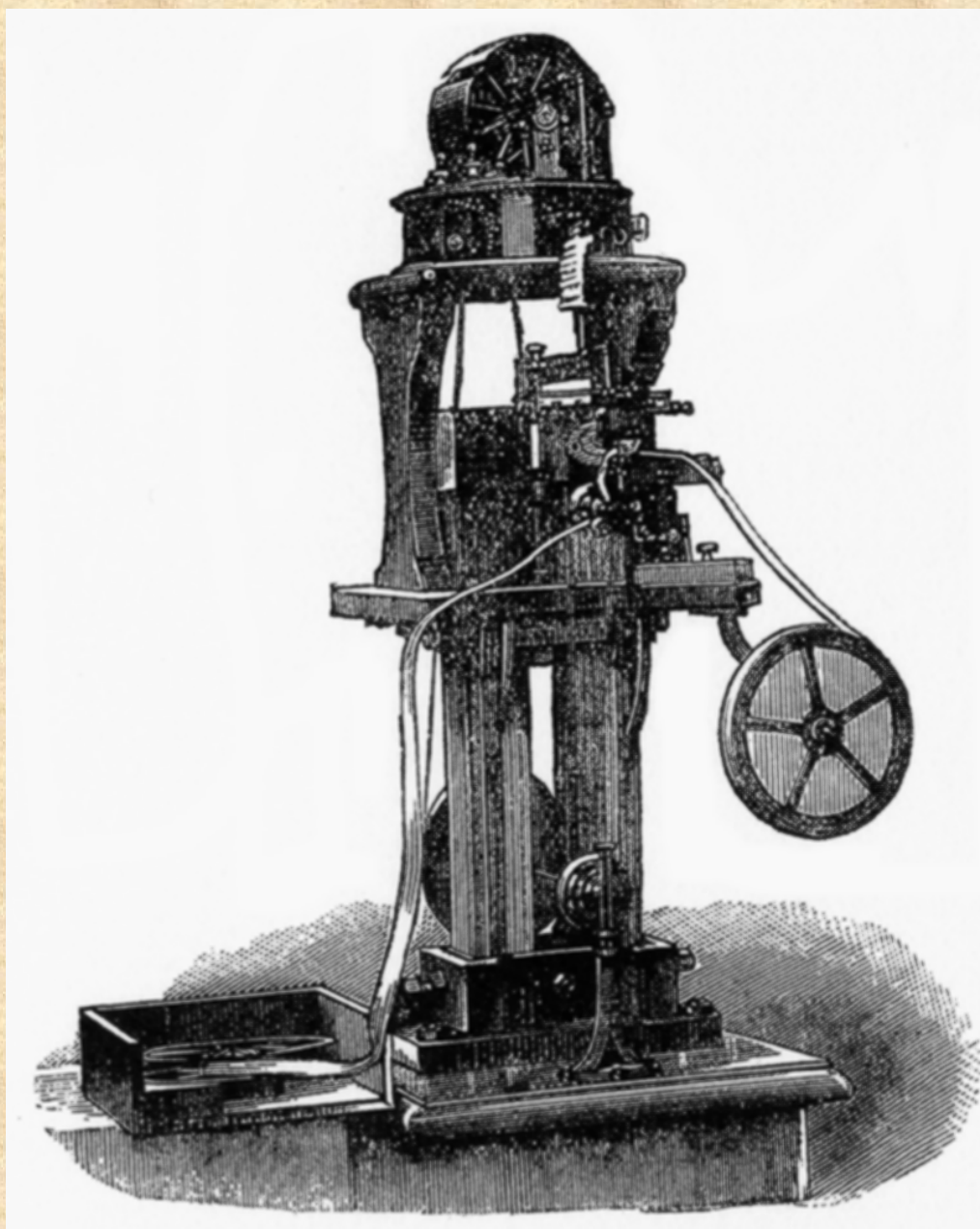
CARICO SUL VASCELLO GREAT EASTERN (GRANDE ORIENTE) DELLA GOMENA TELEGRAFICA DELL'ATLANTICO

## Una rivista italiana dà la notizia

Si doveva ripetere l'impresa ma già si sapeva che occorreva seguire le direttive scientifiche di Thomson. Occorreva garantire la costruzione del cavo sezione per sezione, con calcoli precisi, oltreché con materiali di primissima qualità (conducibilità ed isolamento). Nel 1865 partì la nuova spedizione ma il cavo si ruppe. Fu fatto costruire un nuovo cavo e nel 1866 partì la quarta spedizione che ebbe pieno successo. Da questo

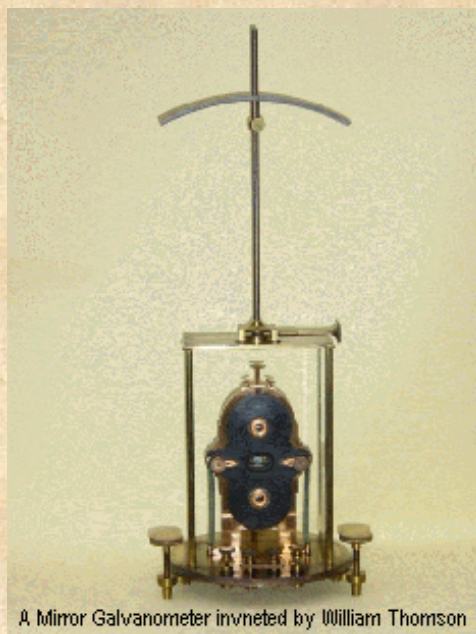


momento Thomson era elevato al rango di Sir. Ma non smise di lavorare e iniziò a realizzare tutta una serie di strumenti utili alla trasmissione e rilevazione di segnali come il galvanometro a quadro mobile (quello che per primo ricevette il segnale trasmesso dalla Gran Bretagna a Terra Nova) e, particolarmente, un apparato a sifone per la ricezione automatica dei messaggi,



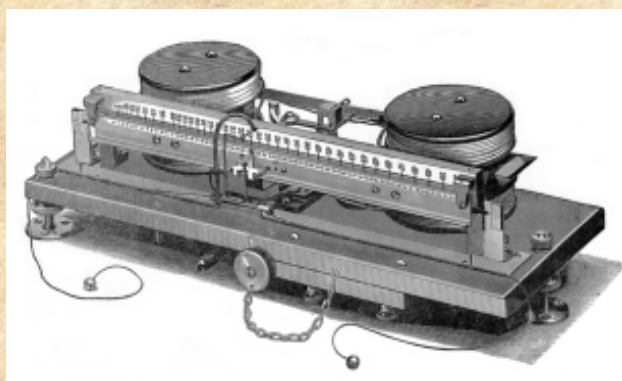
**Registratore automatico di segnali telegrafici a sifone di Thomson.  
L'inchiostro era elettrizzato dagli impulsi elettrici e lasciava un segno  
sulla strisciolina di carta**





**Il galvanometro a specchio che registrò il primo segnale telegrafico in arrivo dalla Gran Bretagna**

indipendente cioè da un operatore (1867). Ma, nonostante confessasse di non avere abilità manuale (lettera a Faraday del 1860), inventò anche strumenti non immediatamente di uso pratico ma solo di uso scientifico, come il galvanometro a specchio che aumentò di molto la sensibilità delle misure e vari tipi di elettrometri che permettevano il confronto di forze elettriche con altre forze come, ad esempio, il peso. Questa fu una innovazione importante perché liberava il ricercatore dal continuo dubbio che, confrontando forze della stessa natura vi fosse un qualche errore sistematico di fondo nelle unità di misura che dava sempre risultati non corretti.



**La bilancia elettrodinamica di Thomson**

Dal 1854 gli strumenti che ideava e brevettava Thomson erano costruiti da James White. Dal 1876 costituirono una società, che in seguito diventerà la Kelvin & James White Ltd, e si misero a fabbricare e vendere oltre a strumenti brevettati Thomson (elettrometri, galvanometri, bussole per navi costruite in acciaio, scandagli, orologi con la correzione della temperatura) anche altri strumenti come telescopi, microscopi, cronometri, apparati di ausilio per la navigazione.

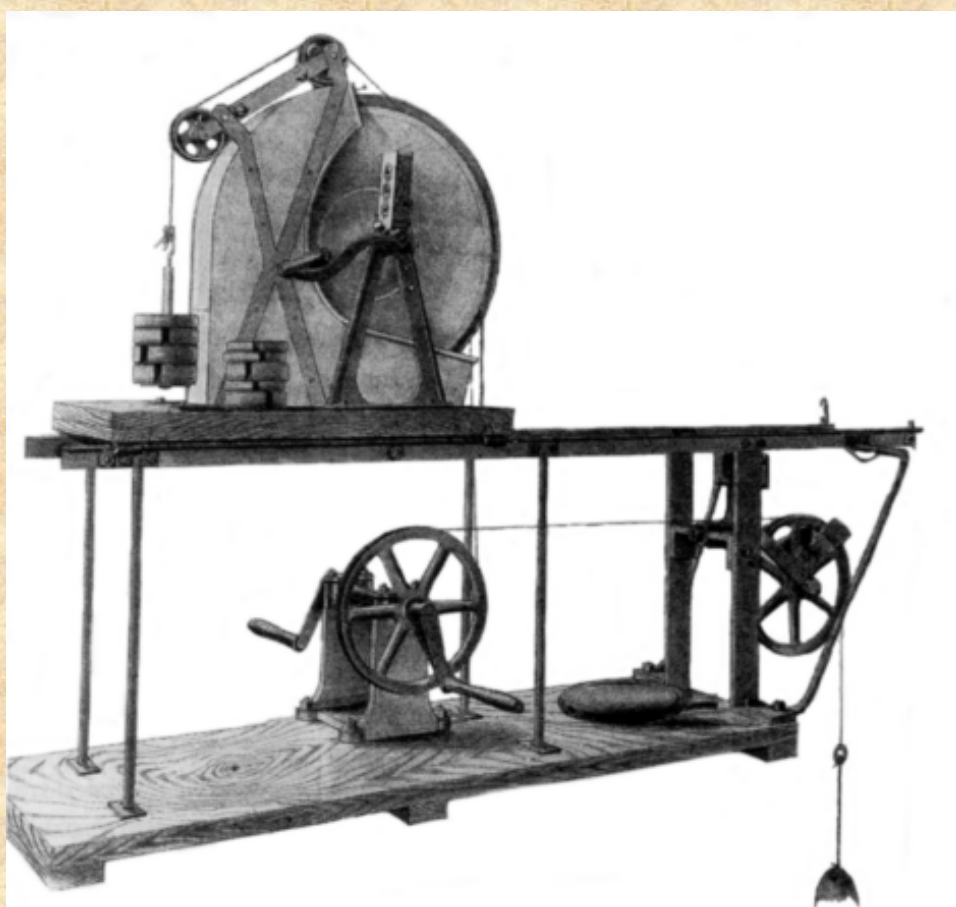
Thomson non aveva guadagnato quasi nulla dalle prime due spedizioni ed aveva lavorato come un mulo. Tra l'altro risultava imbarcato perché il Whitehouse si dava sempre malato all'ultimo momento. Ma poi iniziò a guadagnare molto denaro anche con i brevetti che successivamente registrava di materiali occorrenti per le trasmissioni telegrafiche. Nel 1870, a 46 anni, era un uomo ricco e di





**Thomson nel 1870**

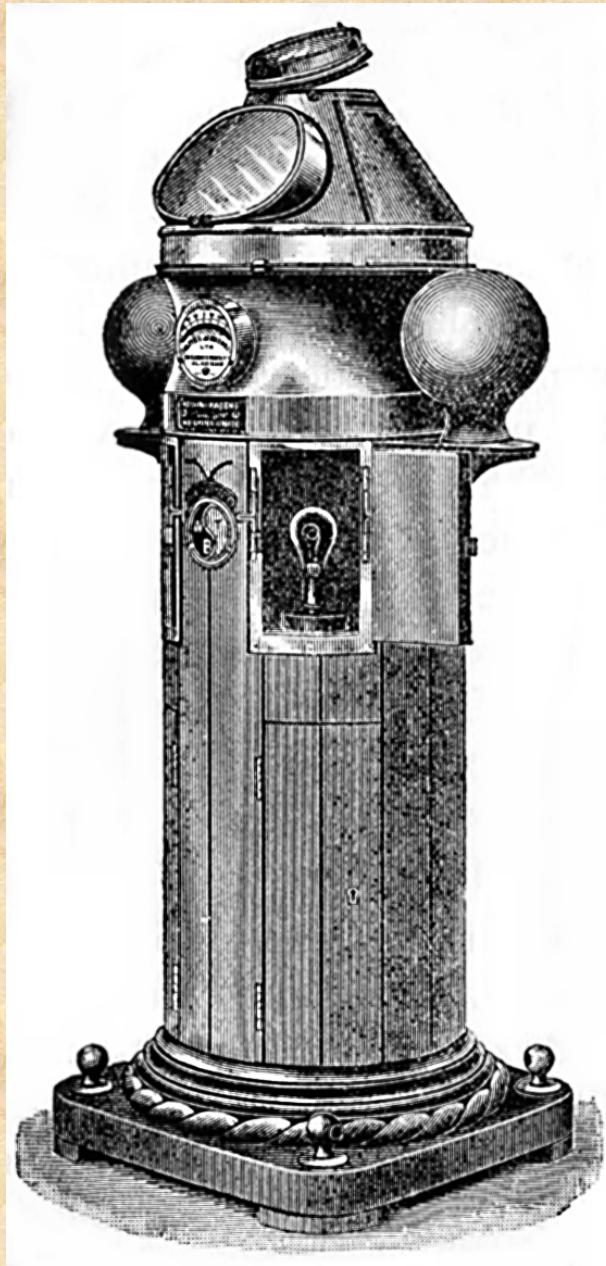
enorme fama, ormai anche pubblica. Si comprò uno yacht a vela di 126 tonnellate, il Lalla Rookh, e da quel momento passò gran parte del suo tempo a navigare. Ma Thomson non poteva restare senza utilizzare la sua creatività ed iniziò così ad inventare e/o perfezionare strumenti per la navigazione come le sonde di profondità e la bussola. Questo strumento iniziava a funzionare con la



**Lo scandaglio di profondità di Thomson**



forte perturbazione della masse di ferro con cui si iniziavano a costruire le navi e dava spesso errori notevoli che creavano grandi pericoli alla navigazione e Thomson se ne era reso conto quando navigava sulla Great Eastern. Thomson riuscì a correggere questo difetto costruendo bussole leggere e situando vicino ad esse una massa di ferro, la cui perturbazione si poteva calcolare. Dopo uno scontro con ufficiali di marina inglesi che erano restii ai cambiamenti, la bussola di Thomson fu adottata dalla marina inglese. Studiò le maree e, con una calcolatrice inventata da suo fratello James, permise la predizione dell'altezza di esse in qualunque momento e luogo con soli 4 dati osservativi.

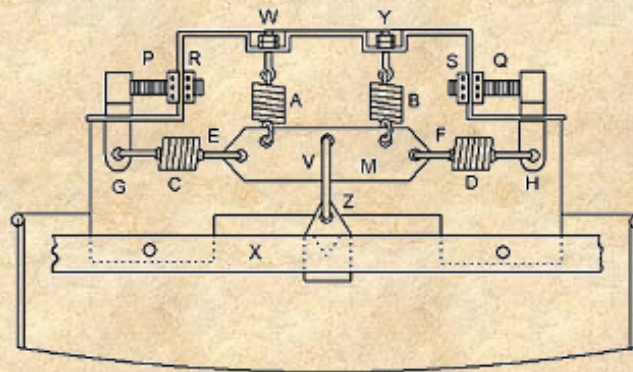


**La bussola per navi di Thomson, il *binnacle***

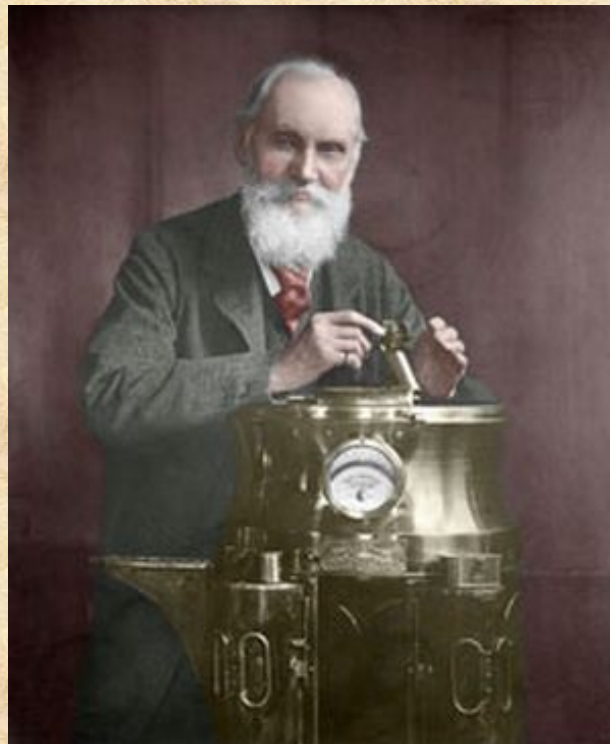


Patent Number 23,570  
Kelvin and James White Ltd, 1907

### An Improved Compass Suspension for use on board ship



### Il brevetto per le sospensioni della bussola per navi



**Thomson al lavoro sul suo *binnacle*.**

Un aneddoto può qui aiutare a capire il carattere di Thomson. Ho già detto che dell'amicizia che dal 1855 lo legò ad Helmholtz. Ebbene più volte Thomson invitò il suo amico a fare delle gite sulla barca e qui Helmholtz descrive a sua moglie, in una lettera, qualche suo comportamento. Quando mi trovavo con Thomson ed altri *c'era un ambiente molto amichevole e naturale. Thomson dava mostra della sua intimità con loro portando sempre con sé un libricino su cui riportava i suoi appunti matematici e, all'improvviso, de gli balenava una qualche idea, si metteva a fare conti durante le nostre conversazioni con grande imbarazzo di tutti. Che succederebbe se io provassi a imporre simili costumi ai berlinesi ? Ma il maggiore dei suoi comportamenti naif si ebbe un venerdì in cui aveva invitato il gruppo dei suoi amici sul suo yacht; subito dopo, appena la barca si era messa in moto e ciascuno si era installato nel modo migliore possibile a causa del rollio, si chiuse nella sua cabina per elaborare calcoli, lasciando che gli ospiti si prendessero cura l'uno dell'altro fintanto che ebbero animo per farlo; si può immaginare quanto fossero in animo. Io passai il tempo passeggiando sulla coperta con animo barcollante (*schwankender**

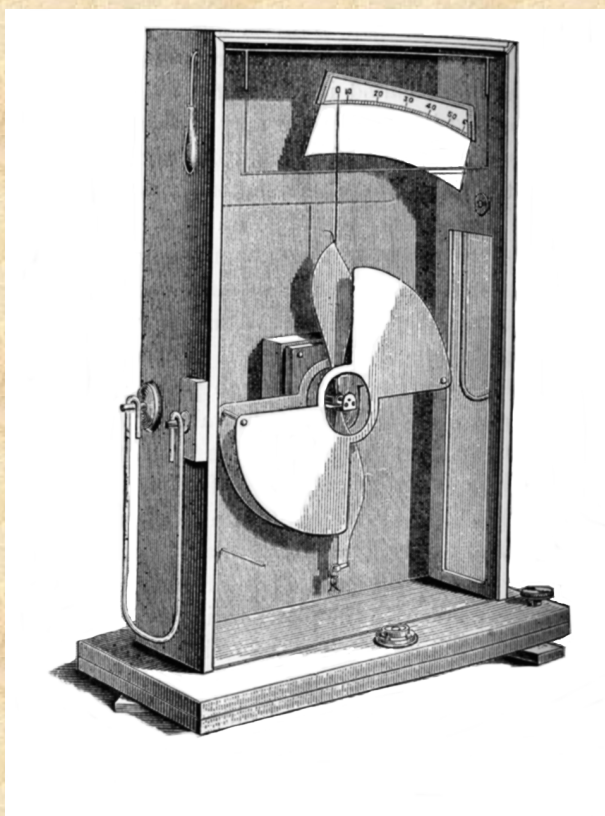


*Anmuth).*



**Il Lalla Rookh**

Un'altra attività di grandissimo rilievo di Thomson, legata a quella della costruzione e perfezionamento degli strumenti di misura, è la promozione che fece



**Strumento per misure di potenziale elettrostatico**

di unificare la selva delle misure elettriche. A tal proposito nel 1861 chiese alla British Association di costituire una Commissione che si occupasse del problema. La Commissione lavorò 6 anni e fissò la struttura di quelle che in gran parte costituiscono il Sistema delle unità elettriche. Thomson si fece portatore nella Commissione del metodo assoluto introdotto da Gauss e dal suo discepolo Weber, che ricavano tutte le misure da quelle fondamentali di massa, lunghezza e tempo. Si trattava di estendere e generalizzare il

sistema di Gauss-Weber e qui la Commissione ebbe un ruolo fondamentale. Anche nell'individuare unità di misura che servissero di uso pratico. Un sistema che facesse lavorare un montatore elettrico con miliardi di tensione e miliardesimi di corrente sarebbe ultrascomodo per gli usi pratici. Servivano unità che avessero lo stesso ordine di grandezza negli usi comuni.

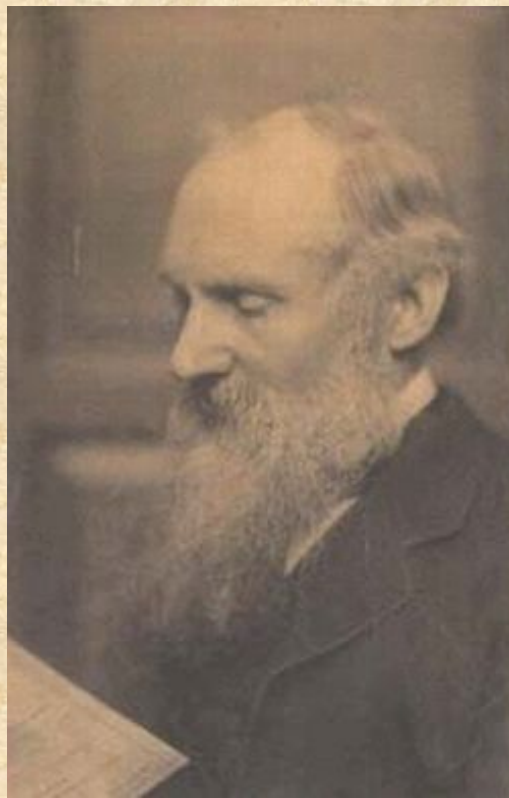
La Commissione propose l'*ohm*, con relativa definizione operativa sulla quale non entro né qui né altrove, come unità di resistenza elettrica nel 1862. Per l'intensità di corrente fu scelto l'*ampère* e per la tensione il *volt*. Con questi lavori e con le necessarie determinazioni dei campioni di unità, la metrologia diventava una scienza indipendente con propri laboratori di ricerca. Il primo di tali laboratori fu il National Physical Laboratory, inaugurato nel 1900, che rispondeva alle esigenze dell'industrialismo macchinista del capitalismo britannico del XIX secolo allo stesso modo che le misure astronomiche erano fondamentali per il mercantilismo del XVIII secolo e per le quali si realizzò il Greenwich Observatory.

Nel 1873, per ragioni di lavoro relativi ad un cavo telegrafico da installare, si recò nell'isola di Madeira. Lì conobbe la figlia di uno dei maggiori proprietari terrieri dell'isola, Frances Blandy, con la quale si sposò nel 1874. Furono una



**Sir Thomson nel 1876**





**Lord Kelvin nel 1897**

coppia felice nella casa che Thomson si fece costruire, la Netherhall a Largs in Scozia, casa tanto razionale moderna quanto brutta per averla voluta con una facciata in stile residenze di nobili scozzesi (ebbe il grande vantaggio di essere una delle prime case ad avere luce elettrica nel 1881).



**La residenza scozzese di Sir Thomson, la Netherhall**



A questo punto della sua vita, dopo aver ricevuto ogni riconoscimento e titolo a livello mondiale, a Kelvin mancava il titolo nobiliare che gli venne



**Lady e Lord Kelvin in occasione dell'incoronazione di Re Edoardo VII nel 1902**





**Una caricatura bonaria del vecchio Lord Kelvin**

concesso per meriti scientifici e tecnico-ingegneristici nel 1892, quando divenne Lord Kelvin, Barone di Largs con il motto *L'onestà è la migliore politica*. E gli onori non finirono qui perché seguirono fino alla sua morte che avvenne nel 1907 ed anche dopo con monumenti in varie parti della Gran Bretagna addirittura su un capitello della chiesa St Ann's a Belfast. Fu sepolto, accanto a Newton, nell'Abbazia di Westminster.



**Il volto di Kelvin s un capitello della chiesa St Ann's a Belfast**

## **ALTRI LAVORI SCIENTIFICI DI KELVIN**

Per comprendere compiutamente i termini della polemica alla quale accennerò ora, occorrerà attendere il prossimo articolo su Clausius o leggere altrove [quanto ho già scritto](#). Debbo parlarne molto in breve, riservandomi di ritornarci quando parlerò di Clausius, perché mi sarebbe molto difficile far capire l'evolvere del pensiero di Thomson. Lo stesso vale per alcune questioni che riguarderanno le polemiche con Maxwell e Boltzmann. Dovrò parlare di questi fisici e solo quando avremo il quadro completo delle posizioni di partenza potrò far capire meglio i termini del dibattito.

Abbiamo già visto quali contributi e di che spessore aveva dato Thomson alla termodinamica. Parallelamente nel 1850, un altro grande fisico tedesco, Rudolf Clausius (1822 - 1888), pubblicava *Über die bewegende Kraft der Wärme* (Sulla teoria dinamica del calore, *Annalen der Physik* **79**; 1850, 368–397, 500–524). In questo lavoro, il tema della teoria dinamica del calore era affrontato in modo diverso da quello di Thomson. Il nostro nel 1855, nella Parte VII della sua *Teoria dinamica del calore* sulle proprietà elastiche e magnetiche della materia in funzione della temperatura, definiva l'energia intrinseca di un sistema come funzione della temperatura e della configurazione (sarà chiamata da Helmholtz *energia libera*). Questa energia insieme alle variazioni di energia potenziale rispetto ad un dato riferimento descrivevano le trasformazioni del sistema preso in considerazione. L'approccio di Clausius a problematiche simili, prevedeva che per la descrizione di un sistema e delle sue trasformazioni occorresse, anche qui, una energia ma, con essa, un altro parametro legato alla configurazione molecolare del sistema, quello che diventerà, nel 1865, *entropia*. La differenza tra le due descrizioni era che mentre in Thomson (poi ripreso da Helmholtz e dall'americano Willard Gibbs) si ragionava di sistemi collegati con l'esterno ma mantenuti a temperatura costante, in Clausius si operava in sistemi isolati. E mentre dai lavori di Clausius veniva fuori la *morte calda dell'Universo* e la *freccia del tempo*, da Thomson veniva fuori la *dissipazione dell'energia*.



La polemica fu molto aspra e rinfocolata dal collega ed amico di Thomson, Peter Guthrie Tait<sup>(5)</sup>, ma in realtà l'argomento del contendere era il modo di fare fisica, o meglio, il modo di ragionare, di usare modelli di avere o meno un'idea meccanicista (Thomson) del mondo. Mentre Thomson non voleva saperne di una struttura molecolare dettagliata, Clausius lavorava proprio nell'interpretazione microscopica di fenomeni macroscopici. E Thomson era indispettito perché altri iniziavano a muoversi nella direzione dell'interpretazione molecolare e cinetica della materia, come James Clerk Maxwell (1831 - 1879) e Ludwig Boltzmann (1844 - 1906), anche se il primo ebbe delle discussioni con Clausius sull'interpretazione molecolare (la *disgregazione* come misura della configurazione molecolare del corpo) del concetto di entropia. Ma questa non fu certo la sola polemica scientifica dell'ultimo quarto dell'Ottocento. Ve ne furono molte altre e la situazione è così descritta da Bellone:

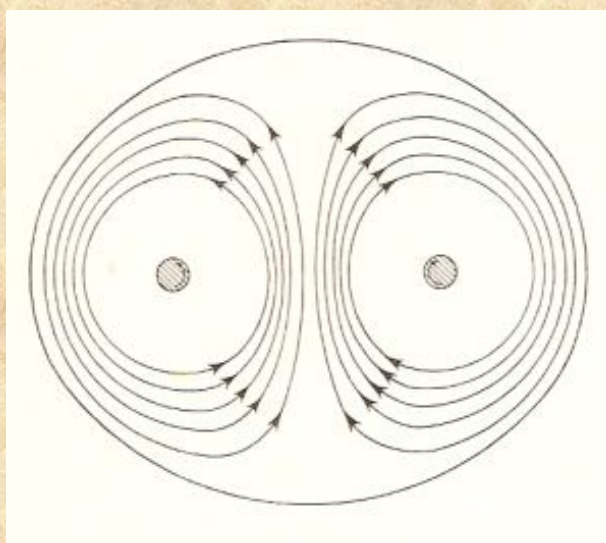
*L'ultimo quarto di secolo vide emergere dibattiti nei quali, molto spesso, la passione era inversamente proporzionale al contenuto e i pregiudizi filosofici avevano frequentemente la meglio su ogni tema matematico. Credenze sul meccanicismo e sulle sue ipotetiche virtù o peccaminosità metodologiche, litigi sul diritto delle molecole a esistere, duelli verbosi sulla crisi della ragione scientifica, divergenze clamorosamente futili e rumorose sul potere conoscitivo della matematica, e ricorrenti tentativi di sottomettere la ricerca scientifica e tecnologica alle norme di qualche metafisica, produssero nella cultura di fine Ottocento danni ancor oggi difficili da valutare. In modo particolare, i problemi delle frecce temporali e della loro inconsistenza rispetto alle leggi fondamentali della fisica teorica si mescolarono con le tematiche della memoria, degli stati di coscienza e della cosiddetta freccia psicologica del tempo, portando ad un arretramento rispetto alla situazione che Lord Kelvin aveva cominciato a descrivere nel 1874 ricordando, molto semplicemente, che nessuno può pretendere di far fare alle molecole ciò che esse non possono fare.*

La posizione di Thomson era chiarissima e la mantenne fino alla sua fine. Egli riteneva dei folli coloro che credevano alla vera esistenza di atomi e molecole e non li consideravano invece solo strumenti matematici e stesso atteggiamento aveva contro chi pensava a spiegare il calore come un vero moto di corpuscoli. Insomma l'esperienza sensoriale è la sola fonte di conoscenza e la matematica deve aiutare il ricercatore ad elaborare modelli ma poi la matematica se ne va e resta la realtà. Quando si fosse pensato alla realtà di un modello che prevedeva molecole costituenti un gas cosa si faceva se non traslare il problema dal macroscopico al microscopico ? Non si ritornava per caso al paradosso dell'inversione del tempo quando avessimo trattato le molecole ed i loro urti con la meccanica degli urti ? Dove risiedeva la disgregazione dell'energia in tale visione ? Era il rifiuto del modello cinetico che caratterizzava le sue posizioni, modello che invece faceva, anche se faticosamente, grandi progressi (mi occuperò dello sviluppo della teoria cinetica dei gas nell'articolo seguente). Su questo e sul fatto che la fisica prendeva sempre più la strada probabilistica, una necessità derivata dal dover trattare numeri giganteschi di particelle, impegnò molte delle sue energie nella polemica, oltretutto con Clausius, con Maxwell e, soprattutto, con Boltzmann, come vedremo.

Thomson aveva di fronte la conoscenza approfondita della termodinamica che egli portava avanti con analoga conoscenza dell'elettromagnetismo. Le spiegazioni da una parte non potevano essere in contrasto con quelle dall'altra parte. Egli era quindi mosso dal desiderio di trovare un modello unificante di materia che rispondesse a tutti i fenomeni dei diversi campi della fisica senza dovere di volta in volta trovare delle ipotesi ad hoc. Era un poco il sogno di tutti che continua anche oggi: la ricerca della grande unificazione, di un qualcosa che riunisca in sé i principi regolatori dell'universo. Ed egli tentò la strada di



offrire un suo modello di materia, in chiara alternativa a quello di Clausius, Maxwell e Boltzmann, che sarebbe potuto servire sia in elettromagnetismo che in termodinamica. A tal fine elaborò (1867) la teoria dell'*atomo vortice* (*On Vortex Atoms, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Vol. VI, 1867, pp. 94-105) pensato in analogia all'idrodinamica che aveva elaborato circa venti anni prima (*Notes on Hydrodynamics. On the Vis-viva of a Liquid in Motion*, in *Cambridge and Dublin Mathematical Journal*, 1849). Tra l'altro un merito va certamente assegnato a Thomson, quello di essere stato il primo a cimentarsi con un modello atomico. La sua memoria partiva dalla scoperta di Helmholtz (*Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen*, in *J. für die reine und angewandte Math.*, vol 55, pp. 25-55, 1858) della legge relativa al moto vorticoso, *wirbelbewegung*, in un fluido perfetto (assenza di viscosità) e dall'affermazione che *gli anelli di Helmholtz siano i soli veri atomi* (gli atomi vortice di Helmholtz era stati fatti conoscere ad Helmholtz da Tait che li aveva illustrati in una lezione mediante anelli di fumo nell'aria). E dice questo perché gli sembra l'unico modo per mantenere una trattazione mediante atomi e, nel contempo, esorcizzare *la mostruosa assunzione di pezzi di materia infinitamente duri ed infinitamente rigidi, la cui esistenza viene affermata in termini di ipotesi verosimile da alcuni dei maggiori chimici moderni nelle loro sconsiderate proposizioni introduttive*, che riesumano Lucrezio. Per Thomson i vortici di Helmholtz godevano proprio della proprietà che era richiesta agli atomi di Lucrezio, l'essere indistruttibili e quindi *perenni*. Allora, diceva subdolamente Thomson, coloro che erano o sono stati *costretti* a fare *le loro belle ricerche* con atomi alla Lucrezio (Bernouilli, Herapath, Joule, Krönig, Clausius, Maxwell), potrebbero ritrovare le stesse proprietà nei vortici anulari di Helmholtz. L'idea di fondo era che in un fluido ideale, come egli riteneva l'etere, dati alcuni vortici, essi sono sempre composti dalle stesse particelle, mantengono sempre la stessa struttura, possono intrecciarsi tra loro, proprio in analogia agli anelli di fumo. Vi era dietro questi ragionamenti quanto aveva già elaborato soprattutto in elettromagnetismo. Vi erano le linee di forza di Faraday che diventeranno tubi di forza in Maxwell, ma addirittura i punti atomi di Boscovich che già nel 1860 egli aveva pubblicamente esaltato in una conferenza alla Royal Institution, come gli unici enti in grado di superare la barbarie delle azioni a distanza del Settecento. In un etere inteso ancora come fluido perfetto l'idea di un vortice che si creasse nei tubi di forza era esteticamente molto affascinante come visione del campo.

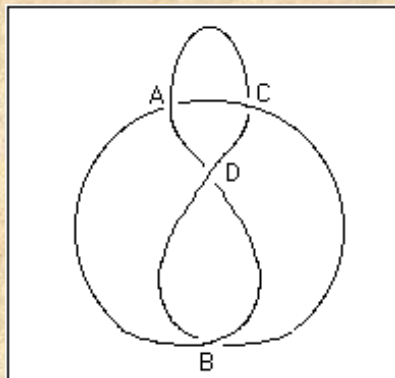


**Il profilo convesso di un vortice doppio costituito da due vortici retti, paralleli, infinitamente lunghi e dotati di rotazioni uguali di senso opposto. In figura sono anche rappresentate le linee del moto del fluido trasportato dal vortice.**

Come Thomson precisò ed elaborò in lavori successivi (1869 e 1876), quando volle dare



una spiegazione dei legami chimici, i suoi atomi divennero piccoli anelli legati tra loro da nodi (studiati e disegnati da Tait), variando i quali variava il tipo di atomo e quindi il tipo di legame fino a spiegare addirittura le linee spettrali (si osservi che dall'ipotesi degli anelli annodati iniziò lo studio della teoria dei nodi come problema di topologia da parte di Tait e Maxwell).



**Un "atomo" di Thomson-Tait con una tra le tante disposizioni possibili di nodi ed anelli**

Altra cosa però sono i vortici nei fluidi reali che svaniscono dopo un certo tempo e, poiché questo etere qualche proprietà materiale doveva averla, per spiegare alcune cose per cui era stato inventato, ecco che la teoria di Thomson risultò completamente falsificata. Fu il matematico francese Joseph Louis François Bertrand (1822 - 1900) che nel 1873 mostrò che la memoria di Helmholtz del 1858 conteneva degli errori (*Théorème relatif au mouvement d'un point attiré vers un centre fixe*, in *C. R. Acad. Sci.* **77**: 849–853) e che, da una parte spinse Maxwell ad indagare il problema e dall'altra affossò definitivamente l'atomo vortice. Ma Thomson non si perse d'animo e continuò a sostenere le sue idee, con articolate elaborazioni matematiche, fino a che non fu costretto ad ammetterne il fallimento che discendeva proprio da quella stabilità dei vortici che non ci poteva essere. Fu comunque un lungo periodo di grande sofferenza per lui che si trovò anche costretto ad ammettere, sul finire della sua vita, che la strada dei modelli atomici sarebbe stata l'unica a portare dei risultati importanti alla spiegazione dei fenomeni naturali.

In quegli ultimi anni del secolo, la fisica andava avanti con molti risultati e, soprattutto, molti problemi. Thomson tentava di star dietro ad ogni cosa, a seguire ogni ricerca, soprattutto sperimentale. Ma si rendeva sempre più conto che da un lato il meccanicismo e dall'altro la fisica-matematica non erano più in grado di tenere il passo di mantenere la loro potenza esplicativa, interpretativa e propositiva. Il meccanicismo aveva assunto articolazioni diverse e, in nome di Newton, erano state affermate le cose più diverse e, a volte, addirittura antitetiche. La tradizione culturale dominante faceva del richiamo a Newton una questione imprescindibile ed in questo senso è estremamente significativo che l'atteggiamento che via via emergeva era quello di ricondurre alla *meccanica*, non solo tutti i più disparati fenomeni che venivano scoperti nel campo della fisica e della chimica, ma anche quelli che provenivano da scienze più distanti come, ad esempio, la biologia e la fisiologia. Dovunque si cercavano modelli meccanici a cui affidare, insieme alla loro elaborazione matematica, la *spiegazione* della realtà. E questa tendenza alla ricerca del modello (e dell'analogia) si era accentuata molto, nell'ultimo quarto di secolo, quando il grado di astrazione delle elaborazioni matematiche aveva raggiunto livelli non più immediatamente rappresentabili mentalmente. Ed, anche qui, in nome di Newton, venivano elaborati (e costruiti materialmente) modelli così incredibilmente complessi da essere, quanto meno, molto lontani, essi stessi, da una semplice rappresentazione meccanica e quindi dalla semplicità degli schemi interpretativi introdotti da Newton. La ricerca di modelli meccanici o meno era anche teorizzata dallo stesso Thomson con queste



significative parole: *Io non sono soddisfatto finché non ho potuto costruire un modello meccanico dell'oggetto che studio. Se posso costruire un tale modello meccanico comprendo; sino a che non posso costruirlo, non comprendo affatto.* La ricerca di una spiegazione meccanicistica era invece così enunciata da Helmholtz: *Il problema della scienza fisica naturale è ricondurre i fenomeni naturali a immutabili forze attrattive e repulsive la cui intensità dipende solamente dalla distanza. . La soluzione di questo problema è la condizione per una completa comprensibilità della natura.* E', in ogni caso, altrettanto vero che, proprio verso la fine del secolo, la crisi del sistema meccanicistico portava ad altre formulazioni o quanto meno, come accennato, alla messa in discussione della pretesa di voler spiegare tutto con la meccanica. Ma di questo mi occuperò più oltre.

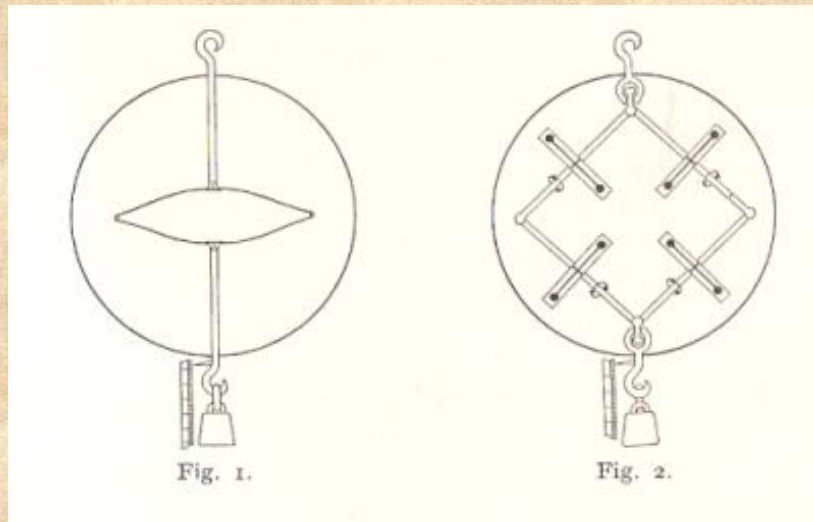
Uno dei problemi che era divenuto centrale in quegli anni era l'etere, il famoso *tormento della fisica*. Tutti lo utilizzavano come sede di ogni azione ma nessuno riusciva a evidenziarne l'esistenza. Da un lato doveva risolvere svariati problemi, ad esempio come sostegno materiale alla propagazione delle onde nella teoria ondulatoria che si era andata affermando, ma dall'altra creava moltissimi problemi per le caratteristiche che avrebbe dovuto presentare proprio per la propagazione di quelle onde (che lo *sconsiderato* Fresnel, al quale fu tolto il saluto per questo, aveva pensato come vibrazioni trasversali alla direzione di propagazione dell'onda medesima). Proprio su questo ed in relazione a quanto dicevo qualche riga più su, Thomson, nel discorso che pronunciò all'apertura del Congresso di Montreal del 1884 per la British Association, ancora convinto della bontà del suo modello a vortici, propose dapprima un modello che avrebbe dovuto spiegare l'elasticità dei gas, ancora con l'intenzione di sbarazzarsi della teoria cinetica (*Popular Lectures and Address*, vol. I, *Constitution of Matter*, London: MacMillan, pp. 218-252, 1889). Solo per rendere conto a quali complicazioni mentali era arrivato un meccanicista, leggiamo cosa scriveva Thomson:

*un sistema ideale qualsiasi di particelle materiali interagenti mediante molle prive di massa può esser perfettamente riprodotto mediante un modello consistente di legami rigidi interconnessi e di volani rapidamente rotanti fissati su alcuni di essi, se non su tutti, fra i vari punti di interconnessione. Questa riproduzione non è limitata ai soli casi di equilibrio: essa mantiene il proprio valore anche nei casi in cui si verificano vibrazioni prodotte da perturbazioni che spostano il sistema di un tratto infinitesimo a partire da una posizione di equilibrio stabile, per poi abbandonarlo a se stesso. Possiamo così costruire un sistema girostatico capace di rimanere in equilibrio sotto l'effetto di determinate forze positive applicate in diversi suoi punti, intendendosi che tutte le forze sono esattamente le stesse che si hanno nel sistema stabile con le molle, e che lo stesso vale per i punti di applicazione. Allora, una volta assicuratici di aver attribuito ai vincoli delle masse opportune (il che equivale a parlare di quantità e distribuzioni opportune dell'inerzia), possiamo anche rimuovere le forze esterne applicate a ciascun sistema, e le conseguenti vibrazioni dei punti di applicazione delle forze saranno identiche. È anche possibile agire sul sistema di punti materiali e di molle, per un certo intervallo di tempo, con forze date, per poi lasciarlo a se stesso. Se compiamo le stesse operazioni sul sistema girostatico, il moto conseguente sarà il medesimo nei due casi. Nell'un caso le molle diventano sempre più tese, mentre nell'altro caso le velocità angolari dei volani diventano sempre più elevate, i periodi dei costituenti vibrazionali del moto diventano sempre più brevi e le ampiezze sempre più piccole, mentre i movimenti tenderanno sempre più a quelli di due gruppi perfettamente rigidi di punti materiali mobili nello spazio e rotanti secondo il ben noto tipo di movimento che caratterizza un corpo rigido dotato di diversi momenti d'inerzia lungo i tre assi principali. In un caso la*



*connessione rigida ideale fra le particelle è data da molle prive di massa ed estremamente tese; nell'altro caso, essa è prodotta dalla rotazione estremamente rapida dei volani in un sistema che, quando si impedisce ai volani di ruotare, è perfettamente flessibile.*

E dopo questa descrizione del modello meccanico seguono le figure che lo illustrano e sulle quali non mi soffermo perché qui non si tratta più di fisica ma di pura immaginazione:



Dopo tale modello illustrante l'elasticità di un gas, egli ne propose (1889) uno per l'etere (ed anche altri per le molecole che presentò alle Baltimore Lectures del 1884 come modellini meccanici carini o *pretty* da far vedere). Per l'etere egli costruì il modello meccanico di un elemento di un modello di etere che era stato proposto nel 1839 dal fisico matematico irlandese James MacCullagh (1809 - 1847). Dispose quattro bastoncini a forma di tetraedro, e preso come asse ciascun bastoncino vi sistemò una coppia di volani giroscopici ruotanti l'uno in senso contrario all'altro. Questo modello opponeva resistenza ad ogni disturbo in senso rotatorio, ma non opponeva alcuna resistenza a moti traslatori. In questo modo si cercava di rendere conto delle strane proprietà che il supposto etere avrebbe dovuto avere (estremamente sottile, estremamente elastico, rigido come l'acciaio, in grado di trasmettere vibrazioni trasversali). Ma credo si sia capito che si andava da difficoltà in difficoltà. Ci si trovava, e non solo in questo campo (elettromagnetismo che da Maxwell aveva ormai inglobato l'ottica) in gravi difficoltà. E' inutile che io continui ora a seguire i lavori di, a questo punto, Lord Kelvin. Egli tentava di star dietro a quanto elaborato teoricamente da una gran quantità di fisici di grandissimo livello ed anche alle questioni che erano poste dalla scoperta della radioattività. Si vede che è in grave affanno ma sempre lucidissimo e, comunque, ha senso parlare delle sue obiezioni ai lavori altrui, solo quando avremo trattato di tali lavori. Per chiudere però sulla parte relativa ai lavori Thomson, è indispensabile fare riferimento ad una sua lezione dell'aprile 1900 alla Royal Institution che ci dà proprio il senso di quanto Thomson fosse al corrente e comprendesse fino in fondo i problemi in cui la fisica si dibatteva all'alba del nuovo secolo. Si tratta di *Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light* (ovvero *Nubi del diciannovesimo secolo sulla teoria dinamica del calore e della luce* in *Philosophical Magazine*, Series 6, volume 2, page 1, 1901). Riporto solo la primissima introduzione:

*La beltà e la chiarezza della teoria dinamica secondo cui calore e luce sono tipi di movimento vengono al giorno d'oggi oscurate da due nubi. 1) La prima cominciò ad assumere concretezza con la teoria ondulatoria della luce, mediante le trattazioni di Fresnel e del dr. Thomas Young; essa implicava la domanda: «Come potrebbe la terra muoversi attraverso un solido elastico*



*quale essenzialmente è l'etere luminifero?». II) La seconda è la concezione di Maxwell-Boltzmann relativa alla partizione dell'energia.*

La grandezza di uno scienziato non sta solo nel risolvere dei problemi ma anche nel saperli porre, di saper capire dov'è il problema. E qui Thomson mostra tutta la sua grandezza nella lucidità con cui coglie i problemi che descrivono la crisi della fisica agli albori del Novecento, la cui soluzione avvierà le rivoluzioni che si stanno preparando. Da un lato proprio il problema dell'etere, del risultato negativo dell'[esperienza di Michelson e Morley](#), della propagazione della luce intesa come onda elettromagnetica, delle equazioni del campo che prevedevano sempre ulteriori complicazioni con continue ipotesi ad hoc, tutti i fenomeni e le elaborazioni che sfoceranno in quella che erroneamente va sotto il nome di relatività di Einstein<sup>(6)</sup>. Questa era la prima nube considerata molto densa. La seconda nube è relativa all'argomento [irraggiamento di un corpo nero](#) fenomeno che sperimentalmente portava alla *catastrofe dell'ultravioletto*. Tutta la fisica classica era stata messa alla prova ed i risultati della fisica teorica disponibile erano clamorosamente in disaccordo con l'esperienza. Scriveva Thomson riportando parole di Rayleigh: *Siamo di fronte ad una difficoltà fondamentale, che non è semplicemente connessa alla teoria dei gas, quanto piuttosto alla dinamica generale. Ciò che sembrerebbe necessario è un qualche modo di sfuggire alla distruttiva semplicità della conclusione generale*. Questa seconda nube inizierà a diradarsi con il lavoro di Planck della fine dell'anno 1900 che piano piano porterà all'elaborazione della fisica dei quanti.



**Statua di Kelvin a Glasgow**

Una tale eccezionale personalità riassunse la sua vita in occasione del suo giubileo di attività nel 1896 con parole che, riferite al suo programma di ricerca, lasciarono di stucco l'assemblea:

*Una sola parola caratterizza gli sforzi più tenaci che io ho fatto insistentemente per cinquantacinque anni al fine di far progredire le conoscenze scientifiche: e questa parola è **fallimento**.*



Ed anche noi dovremmo riflettere ...

Roberto Renzetti

---

## NOTE

(1) Ho trattato diffusamente dei lavori di Faraday in [La nascita e la prima affermazione della teoria di campo: l'opera di Faraday e Maxwell](#). Ricordo qui alcune questioni utili per proseguire nel testo.

Occorre innanzitutto dire che Faraday non conosceva la matematica. Le volte che gli serviva per giudicare della correttezza di qualche memoria che leggeva, come quelle di Ottaviano Fabrizio Mossotti, si rivolgeva al suo amico Babbage che gli *traduceva* le formule in discorsi. Le ricerche sperimentali di Faraday con alcune memorie di carattere teorico, occupano tre grossi volumi nei quali non figurano formule ma i resoconti delle esperienze. Molti fisici e matematici poterono lavorare su questa mole immensa di materiale per matematizzarlo e renderlo appetibile alla scienza *togata*. A questo proposito occorre dire che Faraday, non ebbe mai grandi simpatie per Thomson, anche se gli riconosceva enorme competenza, per la gran mole di matematica che compariva nelle sue memorie che per lui erano praticamente indecifrabili.

Il nome di Faraday è legato alla nascita della *teoria di campo*. Fin dai tempi di Descartes e Newton si discuteva di come dovesse essere l'azione tra corpi e le teorie erano sostanzialmente due: quella che prevedeva un'azione istantanea a distanza e quella a contatto e richiedente tempo attraverso le linee di forza che lo stesso Faraday introdusse. Faraday, che si muoveva nelle suggestioni della Naturphilosophie come il suo maestro Davy e come Oersted da cui partirono gli attacchi alle concezioni di Newton, nel 1831 aveva scoperto l'induzione elettromagnetica che era la prima evidenza chiara di un nesso tra corrente elettrica, magnetismo e movimento. Successivamente, fino al 1837, studiò con sommo dettaglio fenomeni elettrochimici e di polarizzazione del dielettrico e ne trasse la convinzione che l'energia coinvolta in tali processi la si ritrova nel mezzo esistente tra i supposti poli o le cariche elettrostatiche. Nel 1844, nella memoria *A Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter*, enunciò con completezza, in una delle sue poche memorie teoriche, la teoria di campo in opposizione alla teoria dell'azione a distanza. Ma continuò a fare ricerche sempre più sofisticate per portare altre prove a chi, quasi tutto l'ambiente della scienza ufficiale, non riusciva a staccarsi dalle teorie di Newton. E, nel 1845 pubblicò la memoria: *On the Magnetization of Light and the Illumination of Magnetic Lines of Force* in cui riuscì a mostrare uno stretto legame tra luce e fenomeni elettromagnetici che, per diventare definitivo sarebbe dovuto passare attraverso il confronto delle relative velocità (come si può capire da problematiche apparentemente diverse ci stiamo avvicinando ai lavori di Einstein dei primi del Novecento). Per la verità uno stimolo importante gli era venuto proprio dal giovane Thomson che aveva intravisto la possibilità di formalizzare sia le linee di forza che altre grandezze introdotte da Faraday, pertanto invitava Faraday, con una lettera, ad evidenziare le sue concezioni con ulteriori esperimenti. Per paradossale che possa apparire, Thomson era portato a pensare che proprio dal punto di vista sperimentale le idee di Faraday fossero un poco carenti. Faraday intraprese questo nuovo sforzo che ben presto lo portò a nuovi, clamorosi risultati. Il primo tra questi è quello



che va sotto il nome di polarizzazione rotatoria magnetica (o Effetto Faraday) e consiste nella rotazione del piano di polarizzazione della luce quando quest'ultima attraversa certe sostanze (nell'esperienza originale: vetro al borato di piombo) immerse in un campo magnetico. Ecco dunque un fenomeno che connette magnetismo con fenomeni luminosi! Questo risultato dette coraggio a Faraday che nel 1846 pubblicò un'altra memoria teorica, *Thoughts on Ray-vibrations*, nella quale, alle teorie della precedente memoria teorica, si aggiungevano importanti considerazioni sulle linee di forza come sede delle azioni che si propagano nello spazio con la velocità della luce: fatto, quest'ultimo, che farebbe cadere definitivamente la necessità di supporre l'esistenza dell'etere. Scriveva Faraday:

*La mia concezione ... considera la radiazione come una importante specie di vibrazione nelle linee di forza che uniscono tra loro particelle ed anche masse di materia. La mia concezione fa a meno dell'etere ma non delle vibrazioni. [...] La propagazione della luce e quindi probabilmente di tutte le azioni radianti, occupa tempo; e, affinché una vibrazione della linea di forza possa spiegare i fenomeni radianti, è necessario anche che una tale vibrazione occupi tempo.*

Ecco, siamo a questo punto quando Thomson, come accennato, si proponeva di matematizzare quanto Faraday stava elaborando.

Faccio notare che, come abbiamo visto quando ho discusso di Joule, anche lì vi furono *provocazioni* di Thomson, praticamente contemporanee a quelle che ora faceva a Faraday. Questo per dire su quali fronti (teoria dinamica del calore ed elettromagnetismo) e con quale competenza si muoveva Thomson.

(2) Humphry Davy (1778-1829) è stato uno dei più eminenti chimici ed inventori britannici a cavallo tra Settecento ed Ottocento. Era un seguace della Naturphilosophie e, come tale, non in accordo con la teoria atomica di Dalton. Divenne famoso per le sue scoperte di alcuni elementi chimici tra le sostanze alcaline ed alcalino terrose. Inoltre contribuì alla comprensione della natura di elementi del cloro e dello iodio. L'invenzione più importante che realizzò (1815) è la lampada di sicurezza per minatori, una lampada che non permetteva l'innesto di esplosioni per il gas presente nelle miniere (la fiamma era racchiusa in una retina metallica). Nel 1799 pubblicò una raccolta di suoi lavori, tra cui *On Heat, Light, and the Combinations of Light, On Phos-oxygen and its Combinations, and on the Theory of Respiration*. Il 22 febbraio dello stesso anno ebbe a scrivere ad un amico che non credeva all'esistenza del calorico così decisamente come credeva all'esistenza della luce. Intanto portava avanti ricerche sulle correnti galvaniche. Nel 1801, a soli 23 anni, era già professore di chimica e dirigeva i laboratori della Royal Institution dove era stato chiamato da Rumford e *fellow* della Royal Society. Fu il fondatore dell'elettrochimica e mediante l'elettrolisi scoprì nuovi elementi come sodio, calcio, magnesio, boro, bario e potassio (derivando quest'ultimo elemento dalla potassa caustica, 1807). Capì che l'idrogeno che entra nella composizione degli acidi può venire rimpiazzato parzialmente o totalmente da un metallo ed operò una distinzione tra acidi, basi e sali in base ai comportamenti chimici. Nel 1812 subì un incidente di laboratorio che gli danneggiò parzialmente gli occhi. Fu costretto quindi ad assumere un assistente, [Michael Faraday](#) (cliccando sul nome di Faraday si potranno leggere le vicende che portarono quest'ultimo al laboratorio di Davy ed i rapporti esistenti tra i due). A Davy si deve la ben nota esperienza dello sfregamento sotto vuoto di due pezzi di ghiaccio con la conseguente produzione di calore e quindi di acqua ([Elements of Chemical Philosophy](#) London: Johnson and Co., 1812). L'esperienza mostrava una relazione stretta tra calore e movimento sulla strada aperta da Rumford. E Davy spiegava ciò parlando di "*vibrazione dei corpuscoli costituenti il corpo*" in una teoria di materia che egli stesso propose basata su un atomo rotante sul proprio asse, derivato dai



punti-atomi di [Boscovich](#). Ma la cosa, al momento, non suscitò grandi emozioni. Occorrerà aspettare il 1850 quando tale teoria sarà ripresa da Rankine (vedi nota seguente). Ebbe molte onorificenze, fu fatto baronetto, ebbe la medaglia Rumford nel 1816 e, finalmente, nel 1820, divenne Presidente della Royal Society in sostituzione di Sir Joseph Banks (ed un brevissimo interregno di William Hyde Wollaston). Morì in Svizzera nel 1829 a seguito di una crisi respiratoria dovuta al suo apparato rovinato dall'inalazione di moltissime esalazioni gassose, anche molto nocive.

(3) William John MacQuorn Rankine (1820-1872), coerato uno dei fondatori della termodinamica, era un ingegnere che iniziò ad occuparsi a tempo pieno di matematica, fisica, termodinamica e meccanica applicata nel 1848. Aveva studiato all'Università di Edimburgo tra il 1834 ed il 1836 riuscendo studente brillantissimo premiato per i suoi lavori *The Undulatory Theory of Light* e *Methods of Physical Investigation* (il primo dei quali con medaglia d'oro). Per vicende familiari non arrivò a concludere gli studi passando prima a lavorare con il padre che si occupava di ferrovie, quindi in Irlanda e dal 1842 in Scozia a fare il supervisore nella costruzione di ferrovie. Nel frattempo pubblicava studi che gli permisero di diventare ingegnere civile. Le sue ricerche sulla teoria dinamica del calore iniziarono nel 1842 ma solo nel 1849 riuscì a portarle a termine avendo avuto la disponibilità dei dati di Regnault. Il suo lavoro su questo argomento fu condensato in due memorie lette alla Royal Society of Edinburgh nei primi mesi del 1850: *On the Centrifugal Theory of Elasticity, as applied to Gases and Vapours*, letta nel febbraio 1850 alla Royal Society of Edinburgh e pubblicata nel *Philosophical Magazine*, 1851, 2:509-542 e *On the Mechanical Action of Heat*, letta nel 1850, poco dopo la prima, alla Royal Society of Edinburgh e pubblicata nelle *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, vol. xx., 1852, 147-190. In esse, per ciò che riguarda quanto qui tratto, Rankine sosteneva un modello di materia costituita da atomi, ciascuno dei quali composto da un nucleo centrale circondato da una atmosfera elastica nella quale oscillano o ruotano delle particelle. Per Rankine la forza viva è proprio il movimento a vortice di queste particelle nelle atmosfere elastiche. E questa sua teoria era completamente matematizzata in modo molto avanzato. Thomson accettò la teoria dinamica del calore non nella specificità delle cose sostenute da Rankine, a proposito dei vortici molecolari, ma in un senso più generale. Egli, come dice Bellone, operava "in un contesto teorico che rifuggiva un impegno preciso sulle ipotesi relative ai modelli di gas perfetto ed alle modalità dei moti molecolari" e con tale posizione si mosse sempre nei lavori che seguirono. La sua carriera fu brillante ed egli, nel 1849 fu eletto *fellow* della Royal Society di Edimburgo e nel 1853 *fellow* della Royal Society di Londra. Suoi lavori di grande interesse, alcuni dei quali riprenderò nel testo, sono *On the General Law of Transformation of Energy*, (1853) presentato alla Glasgow Philosophical Society. Nel 1855 ebbe una cattedra di ingegneria all'Università di Glasgow ed in quest'epoca egli pubblicò quattro grandi testi che ebbero molteplici edizioni: *Manual of Applied Mechanics* (1858), *Manual of the Steam-engine and Other Prime Movers* (1859), *Manual of Civil Engineering* (1861) and *Machinery and Millwork* (1869). A lui si deve (1859) la scala Rankine di temperatura particolarmente adatta per esperimenti scientifici.

(4) Possiamo trarre qualche piccola conseguenza di grande utilità per chi studia questi problemi. Nel caso ideale in cui la resistenza  $R$  sia nulla, l'equazione differenziale data nel testo diventa:

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{C} Q = 0$$

e la relazione che ci forniva il periodo  $T$  delle oscillazioni, poiché  $R = 0$ , diventa:



$$T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$$

ed è nota come formula di Thomson.

Poiché il periodo  $T$  è l'inverso della frequenza  $\nu$ , questa relazione fa subito vedere che per intervenire sulla frequenza delle oscillazioni elettriche ipotizzate occorre modificare i valori dell'induttanza e della capacità del circuito e che per avere frequenze elevate occorre rendere piccolo il prodotto  $LC$  (e viceversa).

Gli studi delle scariche oscillatorie furono portati avanti con metodo, tra il 1857 ed il 1866, dal fisico tedesco Berend Wilhelm Feddersen a Lipsia ed a Feddersen si deve la prima verifica sperimentale della teoria qui enunciata di Thomson. Egli, mediante uno specchio rotante, riuscì anche a fotografare le oscillazioni della scarica (1859).

(5) Peter Guthrie Tait (1831 - 1901), fisico matematico collega di Thomson, scrisse con questi il *Treatise of Natural Philosophy* (1867). In esso (due volumi riguardanti la sola meccanica e rimasto incompiuto perché il progetto prevedeva di trattare tutta la fisica) si ricostruiva la meccanica (che loro chiamavano coscientemente dinamica) analitica, partendo dalle leggi del moto di Newton, considerate come assiomi dimostrati dall'esperienza, dalle quali mostrarono che si potevano derivare il parallelogramma delle forze, il principio dei lavori virtuali e quello di D'Alembert. Era l'idea di forza al centro della loro trattazione per questo parlavano di dinamica e non meccanica (la statica si poteva infatti ricavare dalla seconda legge del moto di Newton come equilibrio tra forze). Era la forza che muoveva le macchine e i due autori preferirono rifarsi a dati dell'esperienza piuttosto che ad una matematica astratta. Quindi particolare attenzione alle leggi del moto trattate con le equazioni di Lagrange integrate con la conservazione dell'energia. Si evitava ogni modello che descrivesse la struttura nascosta dei sistemi (ad esempio, molecolare) perché la conservazione dell'energia prescindeva da esso in quanto *l'energia è reale e indistruttibile come la materia*. Anzi, il meccanismo di studio poteva essere capovolto: invece di partire dalle leggi del moto per trovare la conservazione dell'energia, si poteva partire da quest'ultima per ritrovare tutta la dinamica. E' un vero e completo programma meccanicista che ispirò molte delle posizioni di Maxwell nel *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) anche se ne riconosceva i limiti: mancavano completamente riferimenti a posizioni filosofiche differenti sui concetti di base della fisica, sembrava che il concetto di massa, moto, moto relativo fossero esistiti da sempre e dovessero essere persi così come dogmi indiscutibili. Nelle intenzioni voleva essere un manuale pratico ad uso dei professionisti dell'ingegneria pratica ma risultò estremamente complesso.

(6) Il titolo della memoria di Einstein del 1905 non c'entra nulla con il termine relatività. Esso è: *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*. Di fronte a chi iniziò a chiamarla relatività in seguito al fatto che alcune equazioni cambiano al cambiare dell'osservatore, fu Planck il primo che affermò con fermezza che la teoria di Einstein era una teoria che, di fronte a molte grandezze che sono descritte in modo diverso da diversi osservatori, ricercava quelle grandezze che avessero un valore assoluto. Pertanto, per Planck quella era una *Teoria dell'assoluto*. Un modo con cui la Teoria di Einstein può essere chiamata è *Teoria dell'invarianza delle leggi della fisica rispetto al gruppo delle trasformazioni di Lorentz*. Occorre diventare prolissi in un'epoca in cui i livelli di ignoranza stanno drammaticamente portando alla morte termica dell'universo prima del tempo. In un'epoca in cui subdoli messaggi metafisici confondono allegramente relatività con relativismo.

---

## BIBLIOGRAFIA



- (1) AA. VV. - *Scienziati e Tecnologi dalle origini al 1875* - EST Mondadori 1975
- (2) Emilio Segrè - *Personaggi e scoperte nella fisica classica* - EST Mondadori 1983
- (3) Yehuda Elkana - *La scoperta della conservazione dell'energia* - Feltrinelli 1977
- (4) Thomas S. Khun - *La conservazione dell'energia come esempio di scoperta simultanea* - in: Thomas S. Kuhn - *La tensione essenziale* - Einaudi 1985
- (5) Kelvin - *Opere (a cura di Enrico Bellone)* - UTET 1971
- (6) Enrico Bellone - *Le leggi della termodinamica da Boyle a Boltzmann* - Loescher 1978
- (7) A. Baracca, A. Rossi - *Materia ed energia* - Feltrinelli 1978
- (8) Mario Gliozzi - *Storia della fisica* - in: N. Abbagnano (diretta da) - *Storia delle Scienze*, UTET 1965
- (9) René Taton (diretta da) - *Storia generale delle scienze* - Casini 1965
- (10) C. Truesdell - *Essay in the History of Mechanics* - Springer-Verlag 1968
- (11) J.G. Crowter - *British Scientists of the Nineteenth Century* - Hesperides Press, 1935
- (12) E. Whittaker - *A History of the Theories of Aether and Electricity* - Nelson and Sons, 1953.
- (13) [http://www.physics.gla.ac.uk/Physics3/Kelvin\\_online/Patents.htm](http://www.physics.gla.ac.uk/Physics3/Kelvin_online/Patents.htm)
- (14) Enrico Bellone - *I nomi del tempo* - Bollati Boringhieri, 1989

---

**[Torna alla pagina principale](#)**

