

# **James Clerk Maxwell:**

## **Elettromagnetismo e Teoria cinetica**



Lezione di Storia della Fisica ed Epistemologia

Prof. A. Rapisarda

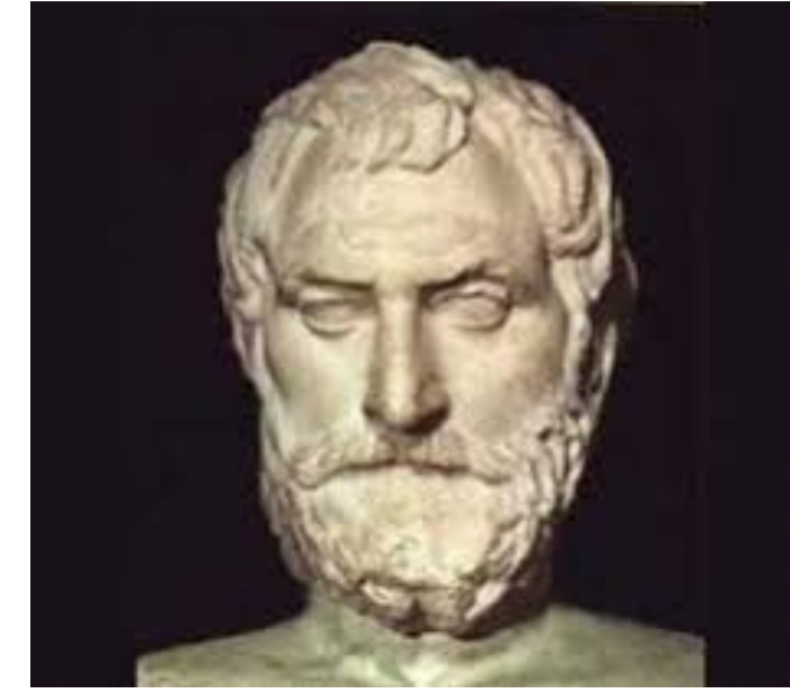
**Maxwell. Eletticità, magnetismo e luce, una sola famiglia -- Sheldon Lee Glashow - Premio Nobel per la Fisica 1979**

Link al video <https://www.youtube.com/watch?v=KSXYEO5qos8>



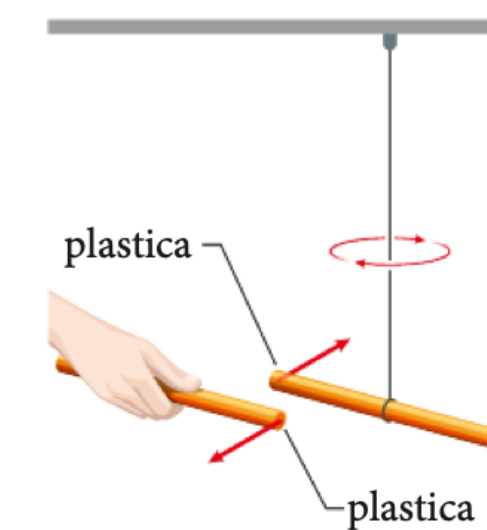
## FENOMENI ELETTRICI

- Il più antico fenomeno elettrico conosciuto, già studiato da Talete (VII sec. a. C.) e che ha dato il nome a tutti i fenomeni connessi con le cariche elettriche (in greco:  $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$  = ambra = resina fossile di colore giallo usata come pietra ornamentale), si ha quando un pezzo di ambra (o di vetro, o di ebanite, o di ceralacca, o di altre resine, ecc.) viene strofinato con una pelle di gatto (o con una pelliccia, o con lana o con seta, ecc.) acquistando la proprietà di attirare verso di sé dei piccoli corpi, come, p. es., una pallina di sughero.

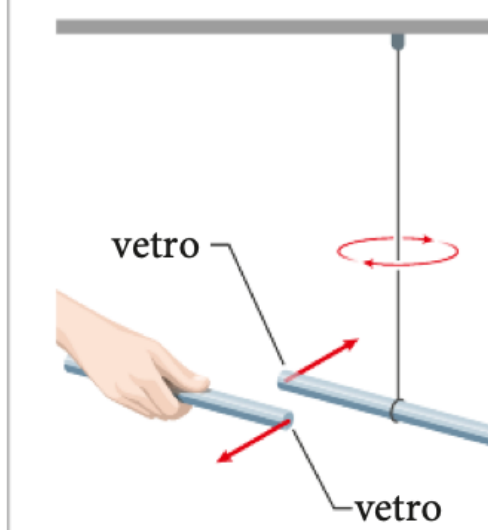


Che cosa succede se avviciniamo due oggetti dopo averli elettrizzati per strofinio?

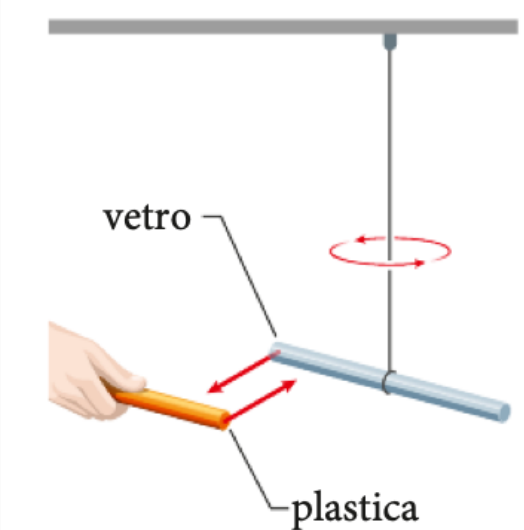
■ Due bacchette di plastica si respingono;



■ anche due bacchette di vetro si respingono;



■ invece il vetro e la plastica si attraggono.



- Da esperimenti elementari, compiuti da molti scienziati nei secoli XVII-XVIII, si giunse a stabilire che esistevano due tipi di elettricità, una chiamata “vetrosa” (oggi detta “elettricità positiva”) e l'altra “resinosa” (oggi detta “elettricità negativa”).

Strofinando altri materiali, possiamo verificare che alcuni si comportano come la plastica, cioè respingono la plastica elettrizzata e attraggono il vetro elettrizzato, e altri come il vetro, cioè respingono il vetro elettrizzato e attraggono la plastica elettrizzata.

Per spiegare queste osservazioni facciamo l'ipotesi che esistano due tipi di *carica elettrica*. Seguendo una convenzione stabilita dal fisico e politico statunitense Benjamin Franklin (1706-1790), chiamiamo:

- **carica elettrica positiva** quella degli oggetti che si comportano come il vetro;
- **carica elettrica negativa** quella degli oggetti che si comportano come la plastica.

Un concetto importante per lo sviluppo della teoria dell'elettricità è quello di "tensione elettrica". Gli esperimenti più significativi proposti in passato sono stati quelli compiuti da [G. Galvani \(1791\)](#) e da [A. Volta \(1800\)](#).

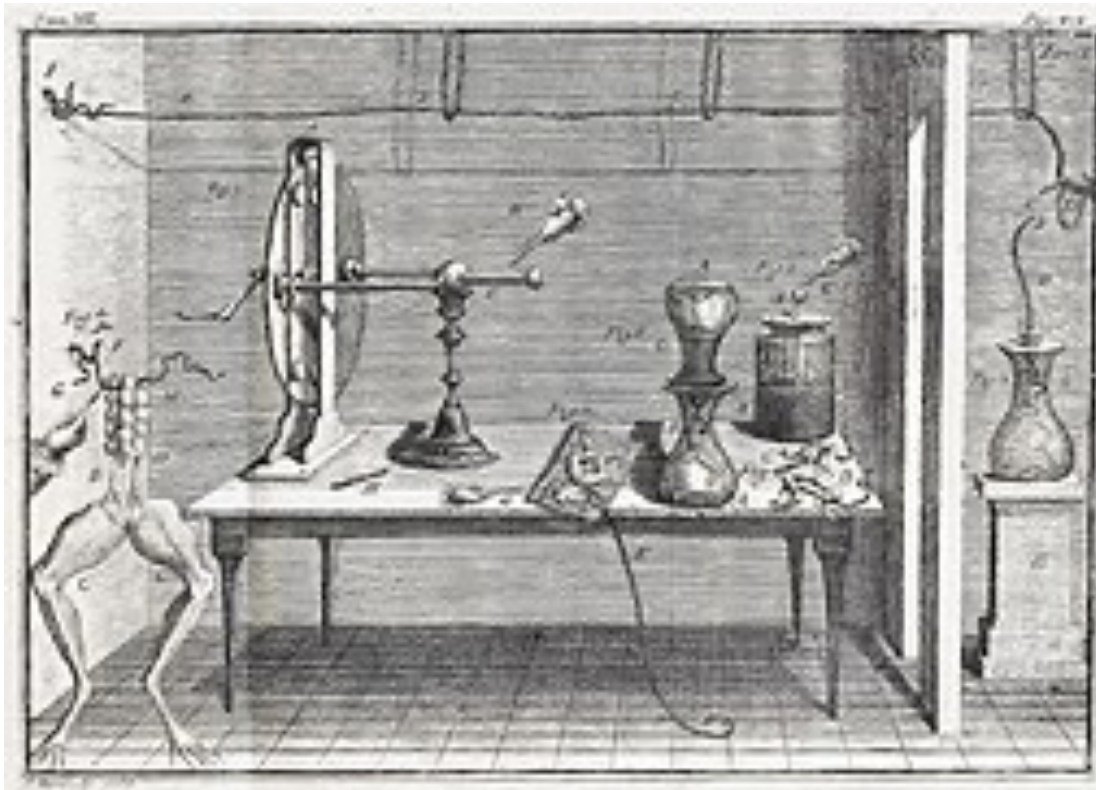
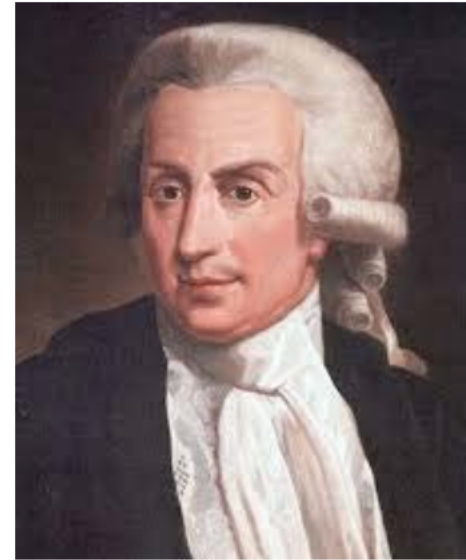


Illustrazione degli esperimenti di Galvani sull'elettricità animale

Galvani, dopo vari esperimenti effettuati, in seguito a una osservazione casuale, poté accertare che i muscoli di una rana, scuoiata ed essiccata, si contraevano convulsamente quando i capi di un suo nervo venivano, contemporaneamente, toccati dalle punte di una pinza bimetallica (p. es., con una punta della pinza fatta di ferro e l'altra d'argento); in seguito ad altri esperimenti fu condotto a inventare ipotesi diverse; ma, dopo aver riconosciuto che: “ `e davvero facile ingannarsi nell'esperimentare, e credere di aver visto e trovato ciò che desideriamo vedere e trovare”, concluse che tale elettricità doveva essere di origine animale.

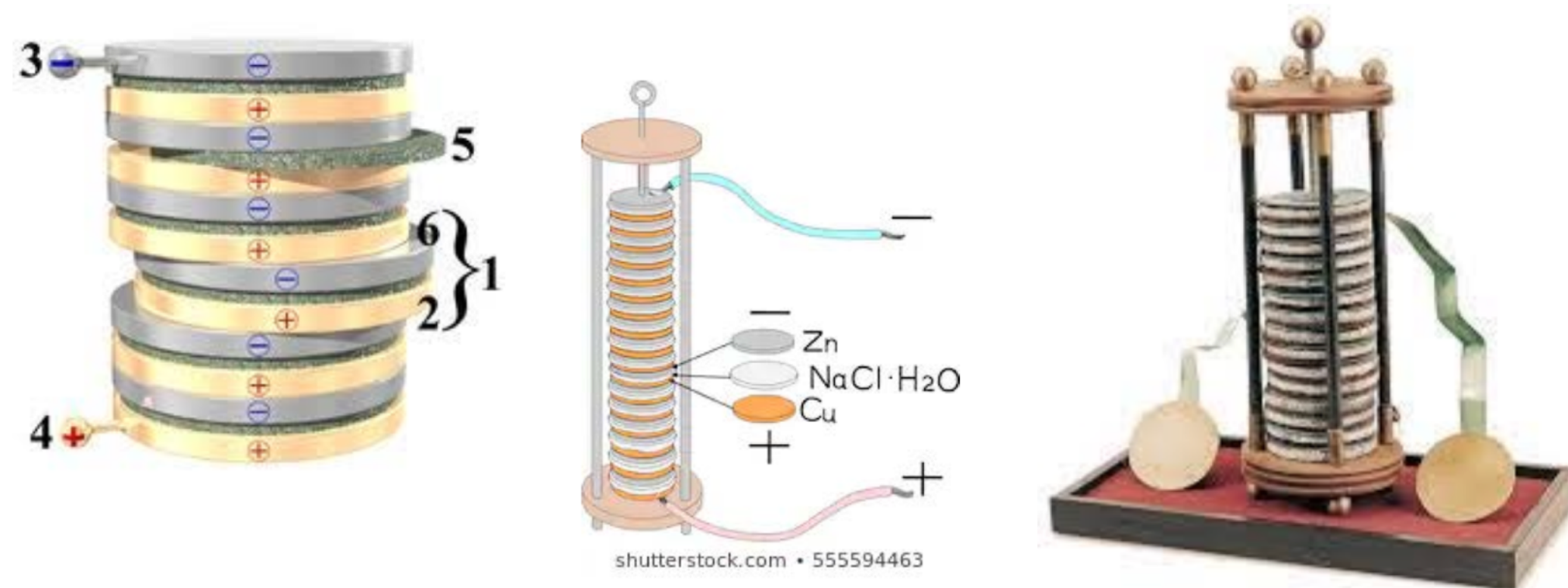
Successivamente, Volta mostrò che l' elettricità si produceva per la tensione elettrica che veniva a stabilirsi tra due metalli eterogenei; e l' elettricità animale non c'entrava per niente; ma possiamo dire che, nello stesso tempo, [egli confermò la saggia osservazione di Galvani su quanto sia facile ingannarsi attraverso gli esperimenti.](#)

# La Pila di Alessandro Volta



Alessandro Volta (Como, 18 febbraio 1745 – Como, 5 marzo 1827)

- Volta costruì una catena di conduttori di diversi materiali, tali che tra i metalli posti agli estremi della catena, potesse crearsi una tensione elettrica, la quale è capace di generare corrente in un qualsiasi conduttore che ne colleghi gli estremi. Qualunque catena di conduttori con tali caratteristiche si chiama una “pila di Volta”. P. es., è una pila di Volta una catena di **zinco e argento(o rame)** alternati, questa è proprio una di quelle descritte dallo stesso Volta.



link al video <https://www.youtube.com/watch?v=DmNqGujwpz8>

## •La legge di Coulomb

La legge di Coulomb riguarda la forza di natura elettrica che si instaura tra due cariche poste ad una certa distanza. E' una legge di tipo sperimentale a cui pervenne il fisico ed ingegnere francese Charles Augustin de Coulomb intorno al 1785.

La legge di Coulomb afferma che tra due cariche elettriche  $Q_1$  e  $Q_2$  poste a una distanza  $d$  nel vuoto si instaura una forza di natura elettrica, detta forza di Coulomb, il cui modulo è proporzionale al prodotto delle due cariche ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza a cui esse sono poste:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

$$F = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

La costante  $\epsilon_0$  si dice costante dielettrica nel vuoto e vale  $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$ .

$$K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$



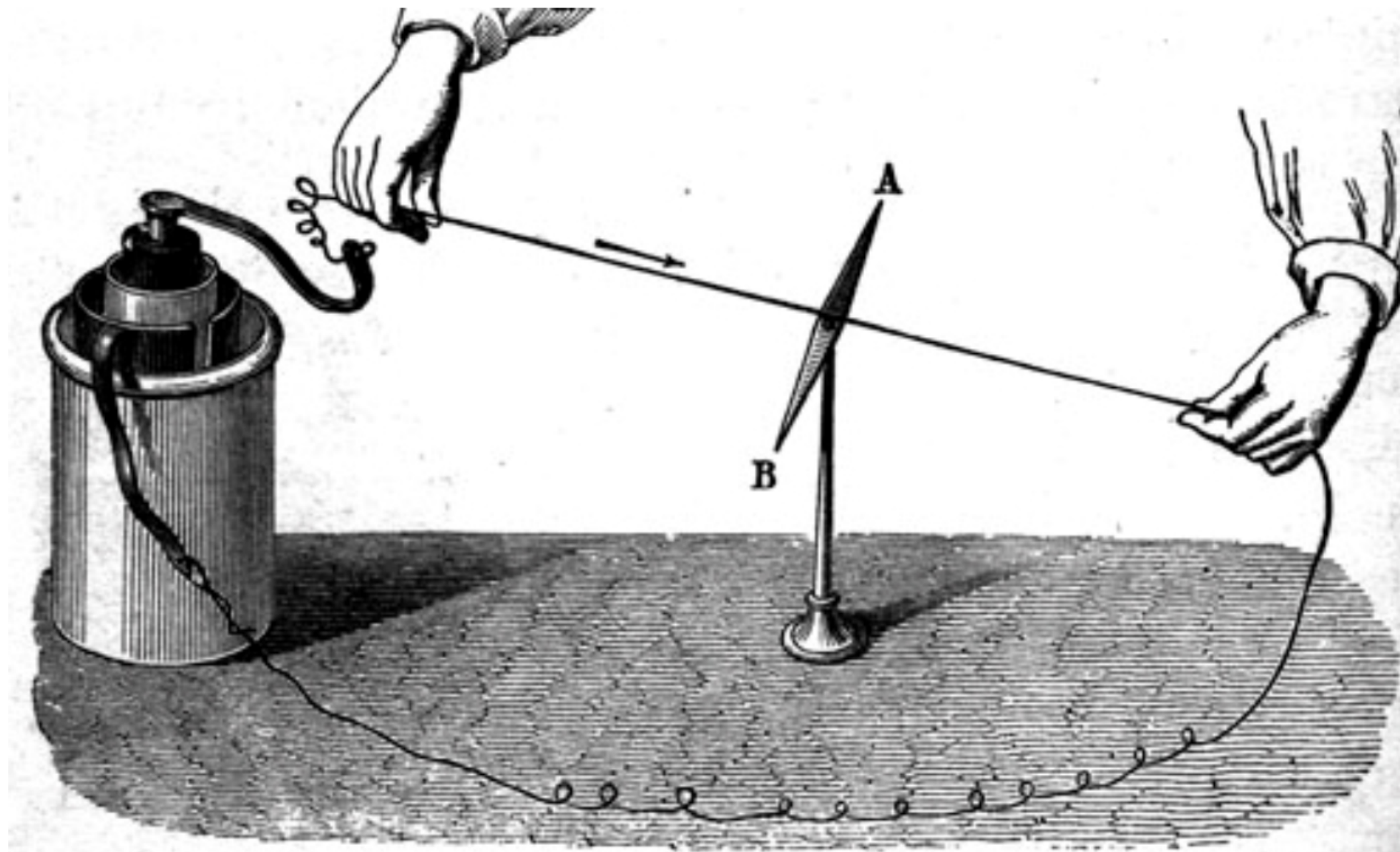
Charles Augustin de Coulomb (Angoulême, 14 giugno 1736 – Parigi, 23 agosto 1806)

# FENOMENI MAGNETICI

- Anche il più elementare fenomeno magnetico è noto fin dall'antichità. Particolari minerali ferrosi come la magnetite (così chiamata dalla regione greca di Magnesia, dove fu trovata per la prima volta) hanno la proprietà di attirare piccoli pezzi di ferro. Tali minerali vengono, genericamente, chiamati “magneti”; in questo caso si dicono “magneti naturali permanenti”.
- Analogamente al caso elettrico, si può produrre una “magnetizzazione per induzione”: una barretta di ferro o di nichel per induzione può diventare una “magnete artificiale” o una “calamita”. In generale questa magnetizzazione indotta decade nel tempo
- Si verifica sperimentalmente che, a differenza delle cariche elettriche, le quali possono presentarsi tutte con lo stesso segno (in un dato conduttore isolato), le cariche magnetiche, al contrario, si presentano sempre con entrambe le polarità; cioè, in una sbarra magnetizzata si hanno sempre: un “polo positivo” (NORD) a una estremità della sbarra e un “polo negativo” (SUD) all'altra estremità.
- Un grande magnete naturale `e costituito dalla terra stessa, i cui poli geografici coincidono (all'incirca) anche con i poli magnetici; da diversi secoli, tale fenomeno (“magnetismo terrestre”) viene sfruttato, per mezzo della bussola nella navigazione, come sapete.

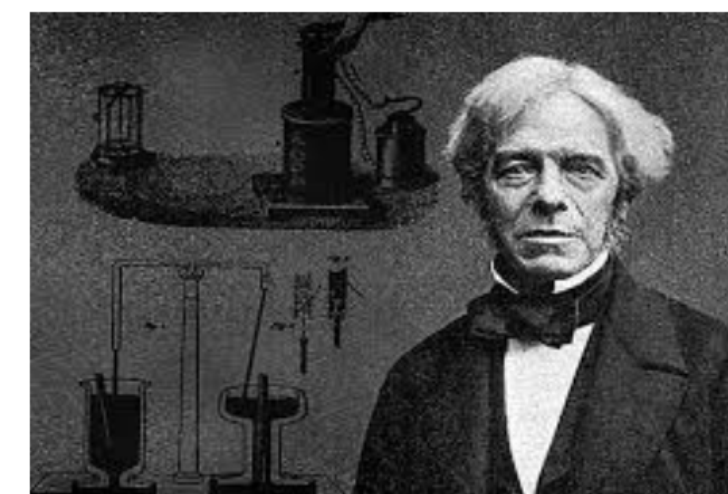
- *FENOMENI ELETTROMAGNETICI.*
- I fenomeni elettrici e quelli magnetici sono strettamente legati tra loro.
- Si osserva che una corrente elettrica trasportata lungo un filo `e capace di riorientare un ago magnetico, come quello della bussola, come se la corrente stessa fosse un magnete;

Esperimenti di **Oersted**,



Hans Christian Ørsted (1777-1851)

Faraday e Ampere



Michael Faraday (1791-1867)



André-Marie Ampère (1775-1836)

## Oersted e la nascita dell'elettromagnetismo

link al video <https://www.youtube.com/watch?v=Xli0jlnDOKQ>



# Michael Faraday

Southwark, 22 settembre 1791 – Hampton Court, 25 agosto 1867

Michael Faraday nacque in un sobborgo londinese da una famiglia estremamente povera, il padre, James Faraday, era un fabbro.

La famiglia Faraday apparteneva alla corrente religiosa cristiana protestante dei sandemaniani e Michael Faraday fu un fervente cristiano fino all'ultimo dei suoi giorni.

Michael Faraday iniziò a lavorare a 13 anni nella bottega di un libraio prima come fattorino e poi come apprendista rilegatore presso la stessa libreria locale. Durante i suoi sette anni di apprendistato, lesse molti libri sviluppando così un interesse per le scienze e in particolare per l'elettricità.

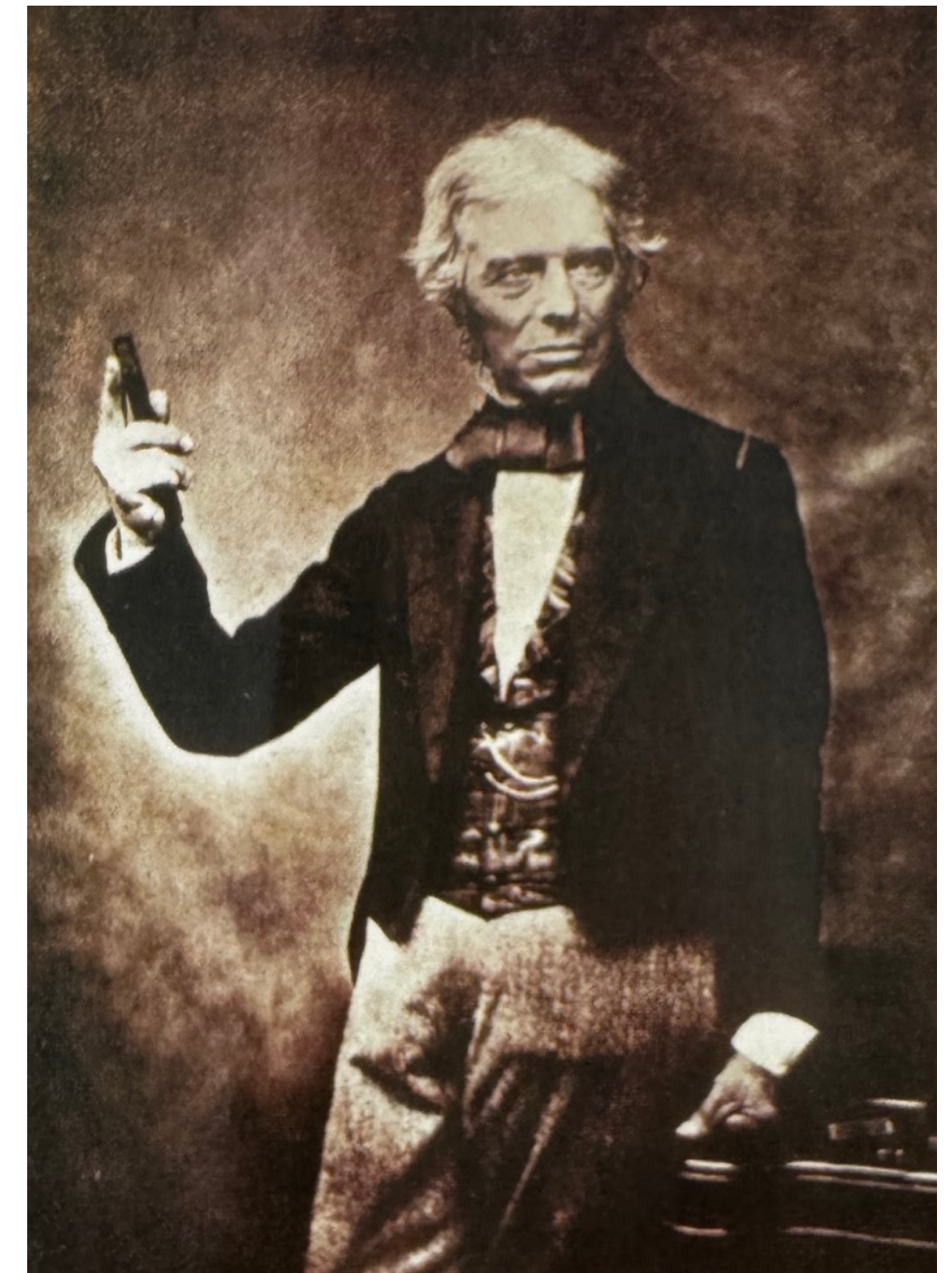
Da autodidatta studiò chimica fino a quando, grazie a eventi fortuiti, dal 1810 poté iniziare a frequentare lezioni regolari, negategli fino ad allora per il suo stato sociale, alla Royal Institution.

Nel 1812, a 20 anni Faraday iniziò, su consiglio di un cliente, a seguire le lezioni dell'eminente chimico e fisico britannico Humphry Davy, della Royal Institution e Royal Society.

In seguito Faraday inviò a Davy un libro di 300 pagine basato sulle annotazioni prese durante le lezioni. La reazione di Davy non si fece attendere: essendosi danneggiato la vista in un incidente con il tricloruro di azoto, ed evidentemente colpito dalla passione di Faraday, decise di prenderlo come suo assistente.

Faraday pubblicò il suo primo articolo scientifico nel 1816 e nel 1823 diventò membro della Royal Society.

Divenne poi direttore di laboratorio nel 1825 e nel 1833 fu nominato professore a vita di chimica nell'istituto, senza l'obbligo di tenere lezioni.



Michael Faraday (1791 – 1867)

Faraday lavorò estensivamente nel campo della chimica, scoprendo anche nuove sostanze chimiche quali il **benzene**.

Faraday scoprì anche **le leggi dell'elettrolisi** e rese popolari termini come anodo, catodo, elettrodo, e ione. Per questi successi, molti chimici moderni guardano a Faraday come a uno dei massimi scienziati sperimentali della storia.

**Il maggior impegno di Faraday fu nel campo dell'elettricità. Il primo esperimento che condusse fu la costruzione di una pila di Volta con sette pezzi di mezzo penny, tenuti insieme con sette dischi di fogli in zinco e sei pezzi di carta immersa in una soluzione salina. Con questa pila decompose il solfato di magnesio.**

Nel **1821**, poco dopo che il fisico e chimico danese Hans Christian Ørsted aveva scoperto il fenomeno dell'elettromagnetismo, Davy e lo scienziato britannico William Hyde Wollaston tentarono senza successo di progettare un motore elettrico.

Faraday, dopo aver discusso il problema con i due, costruì due dispositivi per produrre quello che chiamava rotazione elettromagnetica: un moto circolare continuo causato dalla forza magnetica attorno a un filo. Questi esperimenti e invenzioni formeranno la base della moderna tecnologia elettromagnetica.

Avventatamente, Faraday pubblicò i suoi risultati senza riconoscere il suo debito verso Wollaston e Davy, e la controversia che ne seguì provocò il ritiro di Faraday dalla ricerca elettromagnetica per alcuni anni.

Davy tentò poi di rallentare l'ascesa di Faraday come scienziato e fino alla morte di Davy, nel 1829, Faraday interruppe questi lavori infruttuosi e scelse sforzi più gratificanti.

**Nel 1831, iniziò la sua grande serie di esperimenti in cui scoprì l'induzione elettromagnetica. La sua scoperta avvenne quando avvolse due rotoli isolati di filo elettrico attorno a un grande anello di acciaio, fissato a un tavolo, e scoprì che facendo passare corrente attraverso un rotolo, una corrente momentanea era indotta nell'altro rotolo.**

Negli esperimenti successivi scoprì che, muovendo un magnete attraverso un cappio di filo, nel filo fluiva corrente elettrica. La corrente fluiva anche muovendo il solenoide sopra il magnete fermo.

Le sue dimostrazioni stabilirono che un **campo magnetico** variabile produce un **campo elettrico**. Questa relazione è espressa matematicamente mediante la **legge di Faraday-Neumann-Lenz**, che divenne successivamente una delle quattro **equazioni di Maxwell**.

Faraday utilizzò successivamente tale principio per costruire la **dinamo**, l'antenato dei moderni generatori di corrente.

Nel **1839** terminò una serie di esperimenti finalizzati a investigare la natura fondamentale dell'elettricità. Faraday usò **statica**, **batterie**, ed **elettricità animale** per produrre fenomeni di attrazione elettrostatica, **elettrolisi**, **magnetismo** e arrivò alla conclusione che - contrariamente all'opinione scientifica del tempo - **le divisioni tra i vari tipi di elettricità erano illusorie** affermando l'**esistenza di un'unica elettricità**.

Alla fine della sua carriera, Faraday intuì che le forze elettromagnetiche si propagano nel vuoto attorno al conduttore. Quest'idea fu inizialmente rifiutata dalla comunità scientifica, e Faraday non visse abbastanza per vedere le sue intuizioni confermate. Il concetto, elaborato da Faraday, delle linee di flusso che emanano dai corpi carichi e dai magneti fornì un modo di visualizzare i campi elettrici e magnetici. Questo modello fu indispensabile allo sviluppo dei dispositivi elettromeccanici che dominarono l'ingegneria e l'industria per il resto del XIX secolo.

Nel **1845** compì due importanti scoperte: il fenomeno che denominò **diamagnetismo** e quello che oggi è detto **effetto Faraday**: il piano di **polarizzazione** di una **luce** linearmente polarizzata che si propaga attraverso un mezzo materiale può essere deviato mediante l'applicazione di un **campo magnetico** esterno allineato alla direzione di propagazione. Scrisse nel suo taccuino, "Alla fine sono riuscito a *illuminare una curva magnetica* o **linea di forza** e a *magnetizzare un raggio di luce*". Grazie a questa scoperta si poté stabilire che forza magnetica e luce erano connesse.

Nella sua ricerca sull'elettricità statica, Faraday dimostrò anche che la carica risiedeva solamente all'esterno di un conduttore carico, e che la carica esterna non aveva influenza sull'interno del conduttore. Questo perché le cariche esterne si redistribuiscono in modo che i campi interni dovuti a esse si annullino. Questo effetto scudo è sfruttato in quella che oggi è conosciuta come **gabbia di Faraday**.

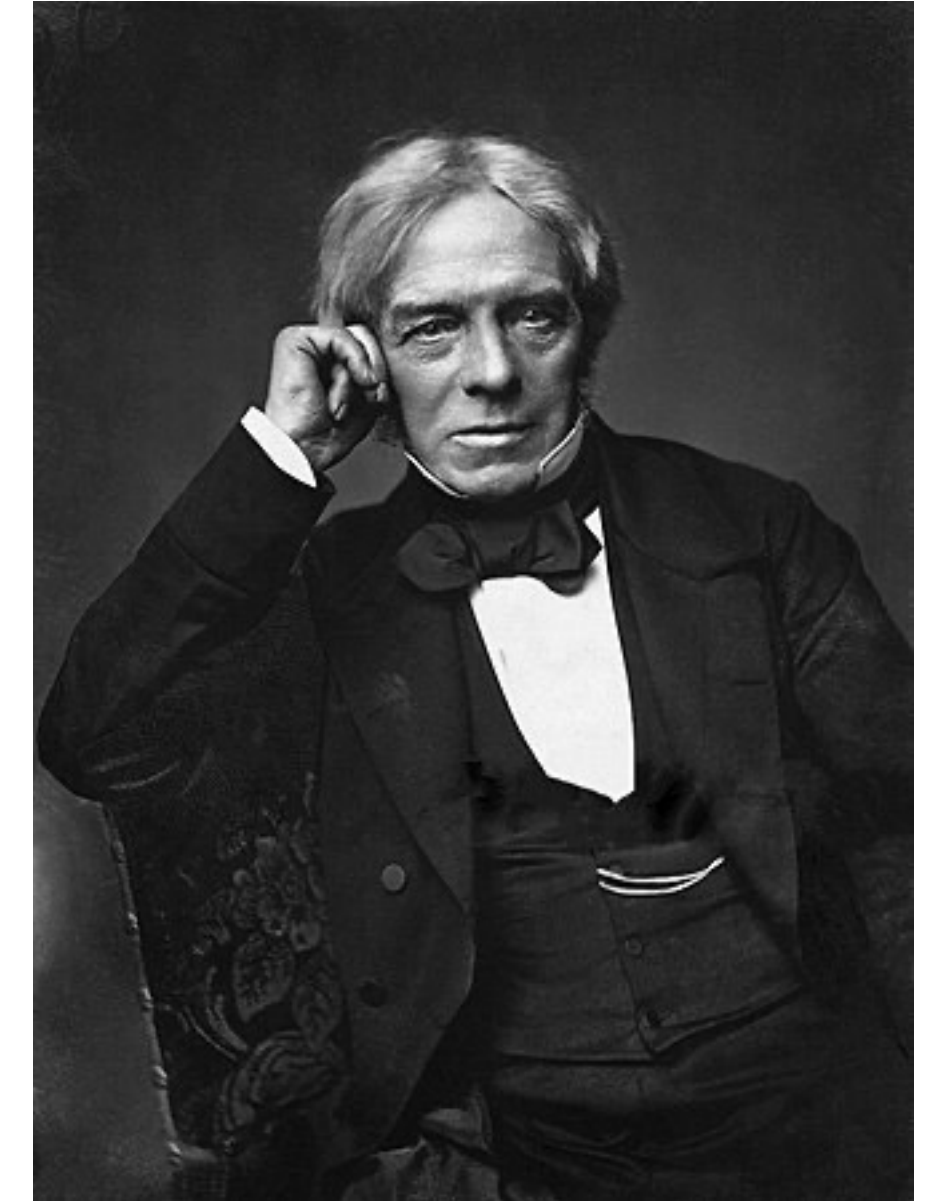
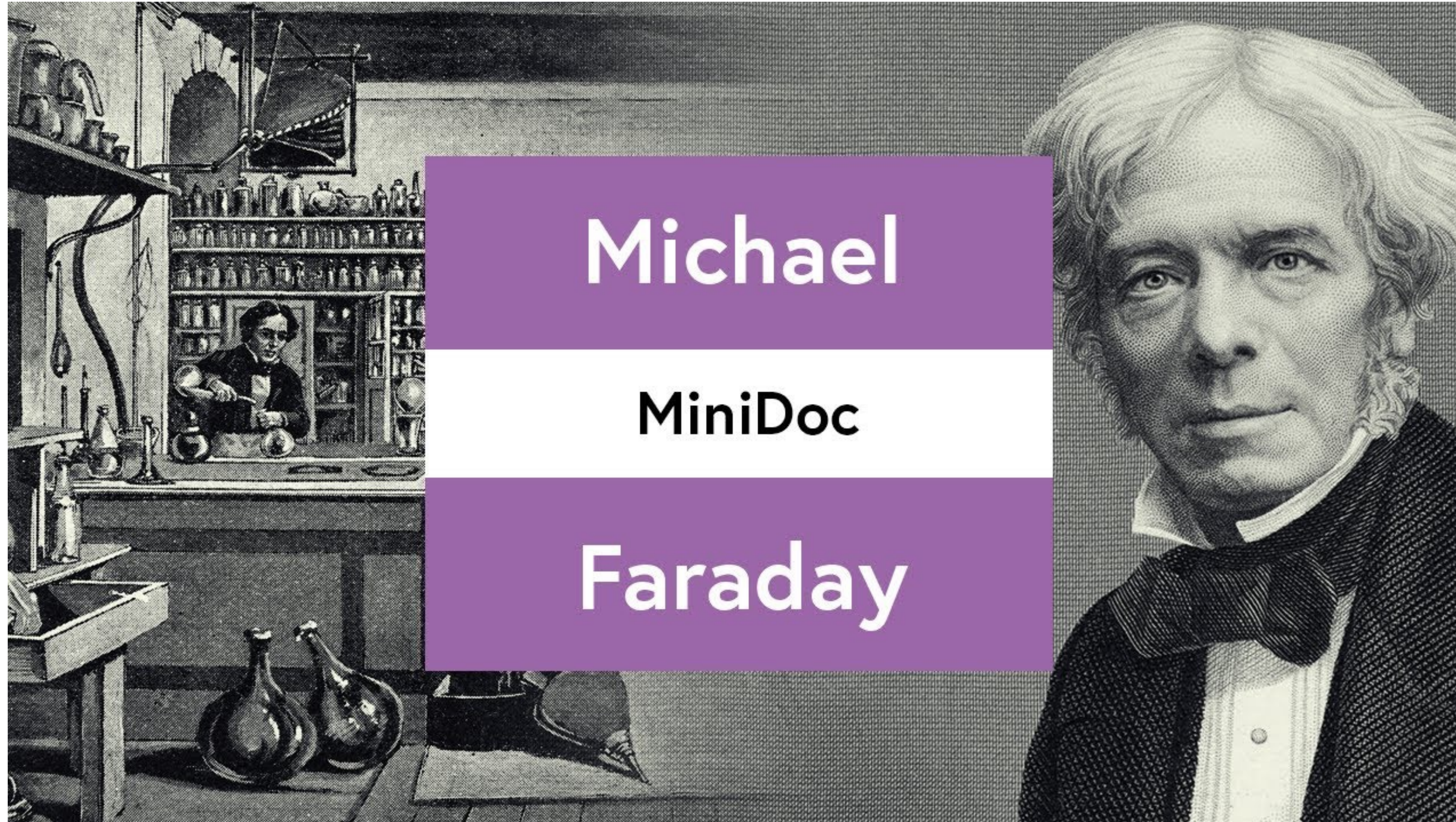
**Faraday fu un eccellente scienziato sperimentale, ma le sua abilità matematiche non si estendevano oltre la trigonometria e l'algebra più elementare.**

Le sue scoperte sperimentali furono consolidate da **James Clerk Maxwell**, il quale sviluppò le equazioni che stanno alla base di tutte le moderne teorie sui fenomeni elettromagnetici.

Faraday, fu anche un **eccellente divulgatore** scientifico, era un convinto sostenitore della comunicazione scientifica e riusciva a comunicare le sue idee in linguaggio chiaro e semplice.

# Michael Faraday

Un interessante video in inglese su Faraday <https://www.youtube.com/watch?v=Usj8DH84UV8>



Michael Faraday nel 1850

# James Clerk Maxwell

**James Clerk Maxwell** elaborò la prima teoria moderna dell'elettromagnetismo unificando, mediante le cosiddette equazioni di Maxwell, precedenti osservazioni, esperimenti ed equazioni di questa branca della fisica.

Dimostrò che i campi elettrico e magnetico si propagano attraverso lo spazio sotto forma di onde alla velocità della luce nel vuoto ( $c = 299792458 \text{ m/s}$ ).

Nel suo lavoro ***A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*** (1865) propose che il campo elettromagnetico, così come descritto dalle sue equazioni, fosse la causa dei fenomeni elettrici, magnetici e ottici.

Il suo modello unificato per l'elettromagnetismo è considerato uno dei più grandi risultati della fisica del XIX secolo: «**la seconda grande unificazione della fisica**», dopo quella operata da Isaac Newton.

Tuttavia egli rimase legato alla teoria della propagazione della luce attraverso l'etere luminifero, un mezzo ineffabile e sfuggente ad ogni misurazione sperimentale, che avrebbe permeato tutto lo spazio vuoto. Solo con la teoria della relatività ristretta di Albert Einstein (1905) si avrà l'abbandono del concetto di etere.

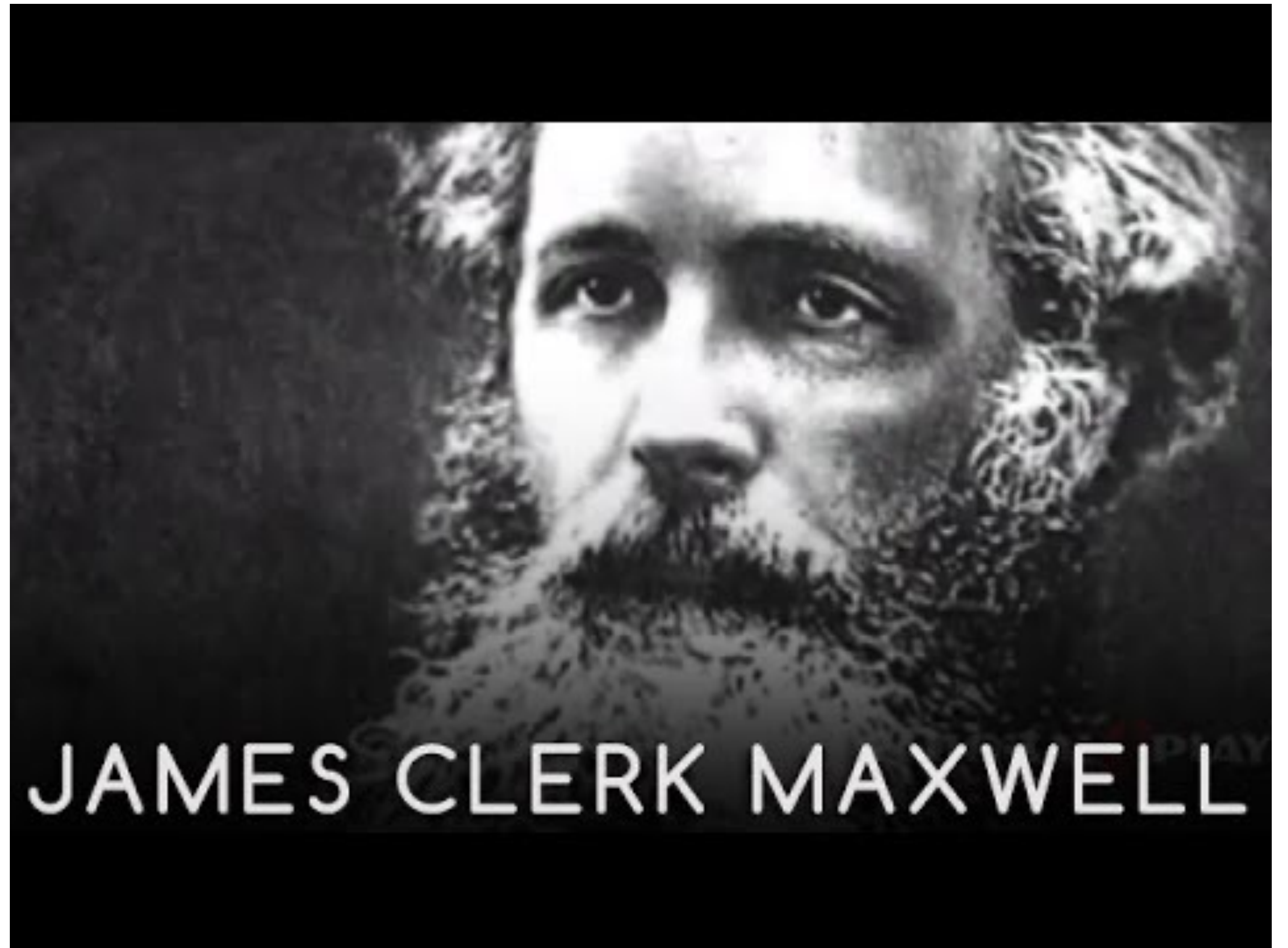
Maxwell diede anche un importante contributo alla teoria cinetica dei gas con la distribuzione di Maxwell-Boltzmann e alla termodinamica con le relazioni di Maxwell.



Edimburgo 1831 - Cambridge, 1879

Un breve video sulla sua vita

Link <https://www.youtube.com/watch?v=yzp02F41qdw>



# Maxwell: Eletticità, Magnetismo, Luce, una sola famiglia

## Entriamo nel XX secolo



1831 (Edimburgo) 1879 (Cambridge)

Treatise on Electricity and  
Magnetism 1873  
An Elementary Treatise on  
Electricity (1881)

Elenchiamo ora le 4 equazioni ,valide nel vuoto, (forma integrale) scritte in forma integrale per poi descriverle nel loro significato fisico ad una ad una:

I eq.-**Teorema di Gauss per l'elettricità:**

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q$$

II eq.-**Teorema di Gauss per il magnetismo:**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

III eq.-**Legge dell'induzione di Faraday-Lenz:**

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

IV eq.-**Teorema di Ampere:**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

Le equazioni scritte nella forma I,II,III,IV rappresentano un compendio di tutti i risultati noti dagli esperimenti di elettricità e magnetismo in cui il mezzo è il vuoto. A saperle leggere vi si trova contenuta tutta la fisica classica delle interazioni elettromagnetiche.

**James Clerk Maxwell** nasce a Edimburgo il 13 giugno 1831 e muore a Cambridge il 5 novembre del 1879

La famiglia è benestante, il padre è un facoltoso proprietario terriero.

Maxwell sin da bambino mostra una instancabile curiosità.

La madre Frances muore di cancro, nel 1839, quando Maxwell ha solo otto anni.

Dopo la morte della madre, il padre assume un insegnante privato per dare a James le prime lezioni. Però questo tutore aveva dei metodi severissimi e non risparmiava punizioni corporali al ragazzo. In seguito a questa prima brutta esperienza il padre manda il giovane Maxwell all'Accademia di Edimburgo nel 1841. Qui però a causa della sua riservatezza Maxwell si trova ben presto isolato.

A 14 anni scrive il suo primo lavoro sulle ellissi e sulle curve con più fuochi ( ***On the Description of Oval Curves, and those having a plurality of Foci***, 1846) che verrà letto dalla Royal Society di Edimburgo il 6 aprile 1846.

All'età di 16 anni lascia l'Accademia e si iscrive dapprima all'università di Edimburgo e poco tempo dopo, si trasferisce al Trinity College di Cambridge, dove conosce William Thomson, il futuro Lord Kelvin.

Qui diviene membro del Club degli Apostoli, il gruppo che riunisce i dodici migliori studenti del Trinity. Si laurea infine a Cambridge nel **1854**.



Maxwell nel 1855 a 24 anni

Dopo la laurea, rimane al Trinity college come insegnante fino al 1856.

In questo periodo pubblica due articoli che rivelano le sue capacità: **“Sulle linee di forza di Faraday”** e **“Sull'equilibrio dei solidi elastici”**.

Dal 1855 al 1872 pubblica una serie di articoli connessi alla percezione del colore che gli consentono di vincere , nel **1860**, la medaglia Rumford.

All'inizio del **1856** il padre si ammala e ad aprile dello stesso anno muore. Poco dopo gli viene assegnata una cattedra al Marischal College ad Aberdeen in Scozia.

Nel **1859** vince il premio Adams per il saggio **“Sulla stabilità degli anelli di Saturno”** in cui dimostra che la stabilità degli anelli può essere spiegata solo se sono formati da rocce orbitanti intorno al pianeta.

Nello stesso anno sposa Katherine Mary Deward, figlia del rettore del college, ma questo non gli impedisce di perdere il posto quando il Marischal College si fonde con il King's College di Aberdeen per costituire l'Università di Aberdeen.

Riesce ad ottenere un posto al King's College di Londra, ma lo lascia nel 1865 ritirandosi nella sua tenuta di Glenlair, in Scozia.

Nel **1871** Maxwell diviene il primo **Cavendish Professor di fisica all'università di Cambridge** e viene incaricato di promuovere lo sviluppo del **Cavendish Laboratory**.

Uno degli ultimi contributi di Maxwell alla scienza è la pubblicazione degli appunti di Henry Cavendish.



Maxwell intorno al 1860 dopo aver assunto l'incarico di professore di fisica e astronomia al King's College di Londra

# I contributi di Maxwell

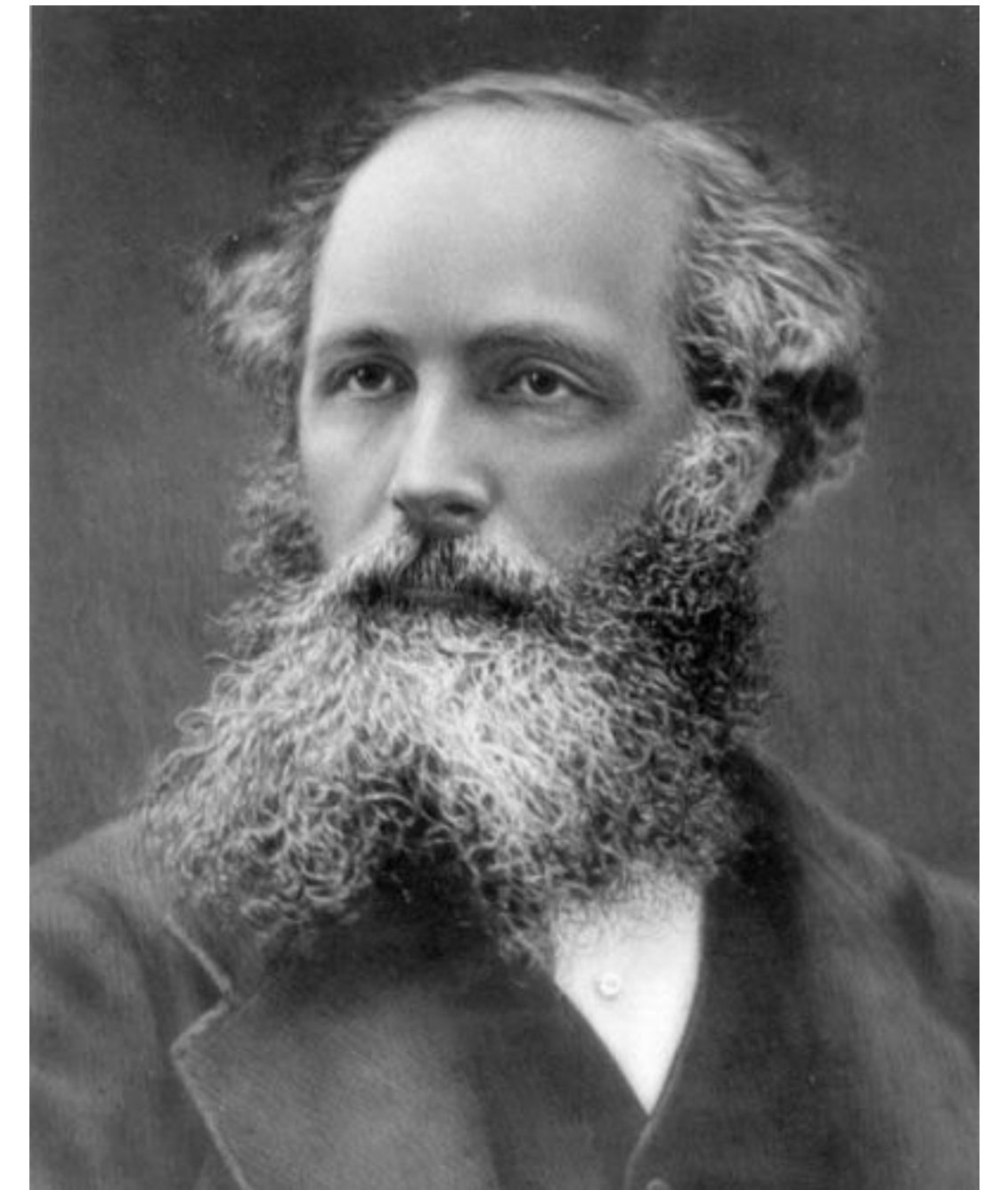
Maxwell si era reso conto dell'importanza del contributo dato dagli esperimenti di Faraday

Considerava come una sua specifica missione la matematizzazione del suo pensiero

Affrontando il pensiero di Faraday, egli dovette innanzitutto rileggerne e riorganizzarne i contenuti, reinterprestandoli criticamente sulla base della sua rigorosa formazione fisico- matematica.

Nel far questo, dovette cimentarsi in un'operazione quanto mai irta di difficoltà: ovvero rendere accettabile, “matematizzandola”, la teoria di Faraday dei campi, così da farla convergere in quell' etere luminifero che, pur dotato di elevato potere esplicativo, Faraday voleva invece bandire dalla fisica.

Faraday negava l'azione a distanza di Newton a vantaggio di quella per contatto;



Una delle ultime foto di Maxwell prima della sua morte

Le ricerche sull' Elettromagnetismo di Maxwell iniziarono già alcune settimane dopo la sua laurea, avvenuta a Cambridge nel 1854, e terminarono nel 1879, poco prima della sua morte.

Esse possono essere suddivise in due parti distinte e successive.

La **prima** di queste, collocabile **tra il 1856 ed il 1864**, riguarda i suoi tre lavori maggiori;

la **seconda** si riferisce invece al Treatise on Electricity and Magnetism del **1873**, all' Elementary Treatise on Electricity pubblicato postumo e ad una dozzina di altri lavori più brevi e di carattere specifico.



Maxwell con sua moglie intorno al 1875 quattro anni prima della sua morte

Maxwell è un sostenitore dell'uso dell'analogia per capire i fenomeni fisici ed in particolare usa l'analogia del moto dei fluidi per comprendere i fenomeni elettromagnetici.

### 1. Campo elettrico → Pressione dell'acqua

- Nell'elettrostatica, il **campo elettrico** è simile alla **pressione dell'acqua in un tubo**.
  - Una **differenza di potenziale elettrico (voltaggio)** corrisponde alla **differenza di pressione** in un fluido.
  - **Corrente elettrica** è come il **flusso d'acqua** attraverso un tubo: maggiore è la differenza di pressione (voltaggio), maggiore è il flusso (corrente).
- 

### 2. Campo magnetico → Vortici e correnti fluide

- Un **campo magnetico** è analogo a un **vortice nell'acqua**: può circondare un oggetto senza che vi sia un vero e proprio flusso netto.
- La **Legge di Ampère** (corrente che genera un campo magnetico) è simile alla rotazione del fluido attorno a un ostacolo.
- L'**induzione elettromagnetica** (Legge di Faraday) può essere vista come la creazione di **correnti fluide** in risposta a un cambiamento nel campo magnetico.

### 3. Circuito elettrico → Rete di tubi d'acqua

- Un **circuito chiuso** si comporta come un **sistema di tubi in cui l'acqua scorre continuamente**.
  - Un **condensatore** è simile a una **membrana elastica in un tubo**: può immagazzinare energia sotto forma di pressione senza lasciare passare il fluido direttamente.
  - Un **induttore** può essere paragonato a una **ruota a pale immersa in un flusso d'acqua**, che accumula energia nel movimento del fluido e lo restituisce lentamente.
- 

### 4. Le equazioni di Maxwell nell'analogia idraulica

- **Legge di Gauss per il campo elettrico** → Il numero di **linee di flusso dell'acqua** che escono da una superficie chiusa è proporzionale alla quantità di sorgenti di fluido all'interno.
- **Legge di Gauss per il magnetismo** → Non esistono **sorgenti o pozzi** per il campo magnetico (non esistono monopoli magnetici).
- **Legge di Faraday** → Una variazione del campo magnetico è come una **corrente d'acqua che genera vortici in un fluido**.
- **Legge di Ampère-Maxwell** → Un **flusso d'acqua variabile** può generare un **vortice nel fluido**, proprio come una corrente elettrica variabile genera un campo magnetico.

**Sebbene l'analogia idraulica non sia perfetta, è uno strumento potente per rendere l'elettromagnetismo più accessibile e intuitivo.**

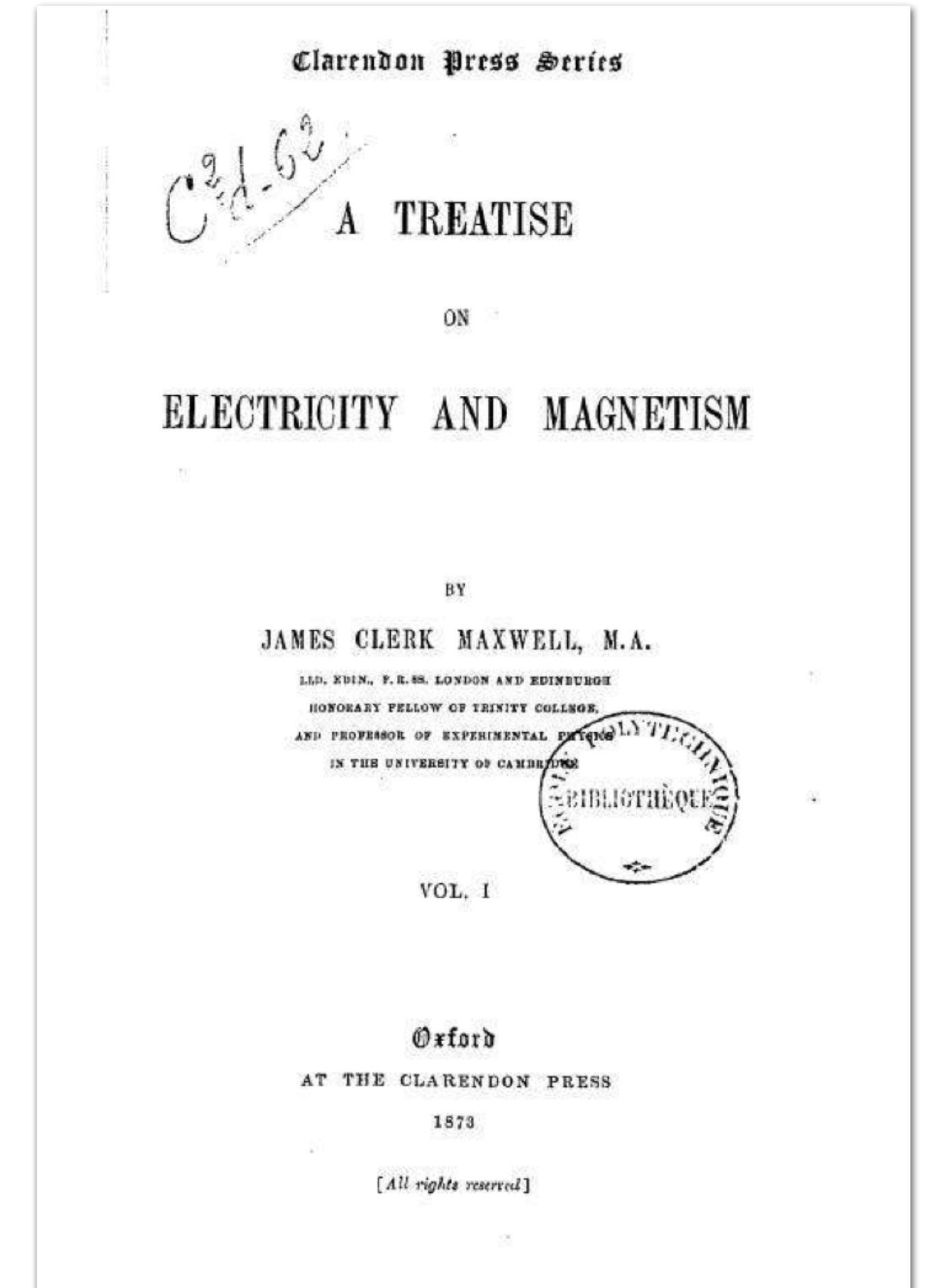
# Il Trattato sull'elettricità ed il magnetismo

Durante il ritiro nella sua tenuta scozzese dal 1868 al 1872, Maxwell scrive il suo monumentale trattato in cui riversa tutto il sapere appreso e prodotto in quasi vent'anni di studi e ricerche sui temi in oggetto.

L'opera viene intitolata "***A Treatise on Electricity and Magnetism***" (Trattato di elettricità e magnetismo), ed esce in due volumi nel marzo del **1873**. E' considerata una pietra miliare nella storia della scienza, paragonabile in campo fisico ai Principia di Newton.

Nessun testo precedente sull'elettricità e il magnetismo aveva anche solo lontanamente sfiorato un simile grado di completezza, che lo rendeva potenzialmente utile a una platea molto variegata di lettori, dagli studenti agli ingegneri della nascente industria elettrotecnica. Come sottolineava l'autore nella prefazione:

*«Ci sono parecchi trattati in cui i fenomeni elettrici e magnetici sono descritti in maniera divulgativa. Essi però non possono soddisfare le esigenze di quelle persone che devono affrontare problemi di misurazione di quantità e la cui mente non si accontenta di esperimenti da aula di lezione. C'è anche una considerevole massa di memorie matematiche che sono di grande importanza per la scienza elettrica, ma esse giacciono nascoste nei voluminosi atti di dotte associazioni; non formano un sistema unitario; sono di valore assai diseguale e, per la maggior parte, superano le possibilità di comprensione di chi non sia un matematico di professione. Ho perciò ritenuto che sarebbe stato utile un trattato che avesse come suo scopo principale quello di ricoprire tutta la materia in maniera metodica, e di indicare anche come ciascuna parte della materia sia riconducibile entro l'ambito di metodi di verifica attuabili per mezzo di misurazioni effettive.»*



# Il contributo alla Teoria dei colori

Anche i contributi di Maxwell all'ottica e alla percezione del colore furono rilevanti. Maxwell scoprì che la fotografia a colori poteva essere realizzata sovrapponendo filtri rossi, verdi e blu.

Nel 1861 fece fotografare da Thomas Sutton tre volte un tartan scozzese mettendo sopra l'obiettivo tre filtri di diverso colore. Le tre immagini furono poi sviluppate e proiettate su uno schermo con tre proiettori differenti.



La prima fotografia a colori, fatta scattare da Maxwell nel 1861.

# Il contributo di Maxwell alla Termodinamica e alla teoria cinetica dei gas

Le **relazioni di Maxwell** della termodinamica sono delle equazioni differenziali alle derivate parziali che legano tra loro le variabili di stato e sono ricavabili attraverso la trasformata di Legendre.

Uno dei risultati più significativi di Maxwell fu però l'elaborazione di un modello fisico-statistico per la teoria cinetica dei gas.

Nel **1866** il fisico scozzese formulò – indipendentemente da Ludwig Boltzmann – la **distribuzione di Maxwell-Boltzmann**, una distribuzione di probabilità che può essere utilizzata per descrivere la distribuzione di velocità delle molecole in un dato volume di gas, a una certa temperatura.

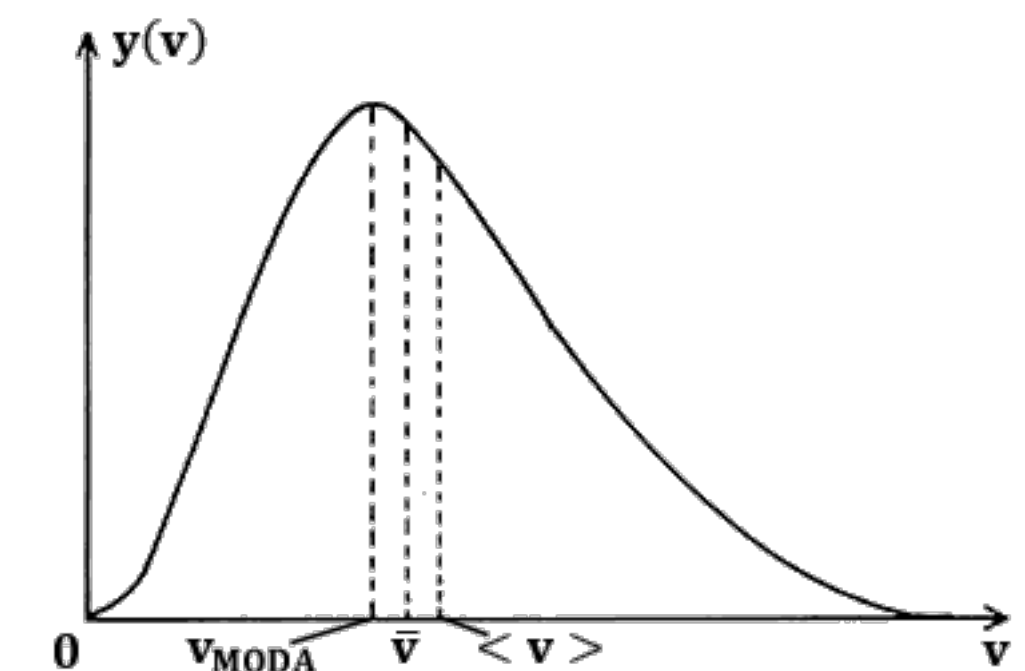
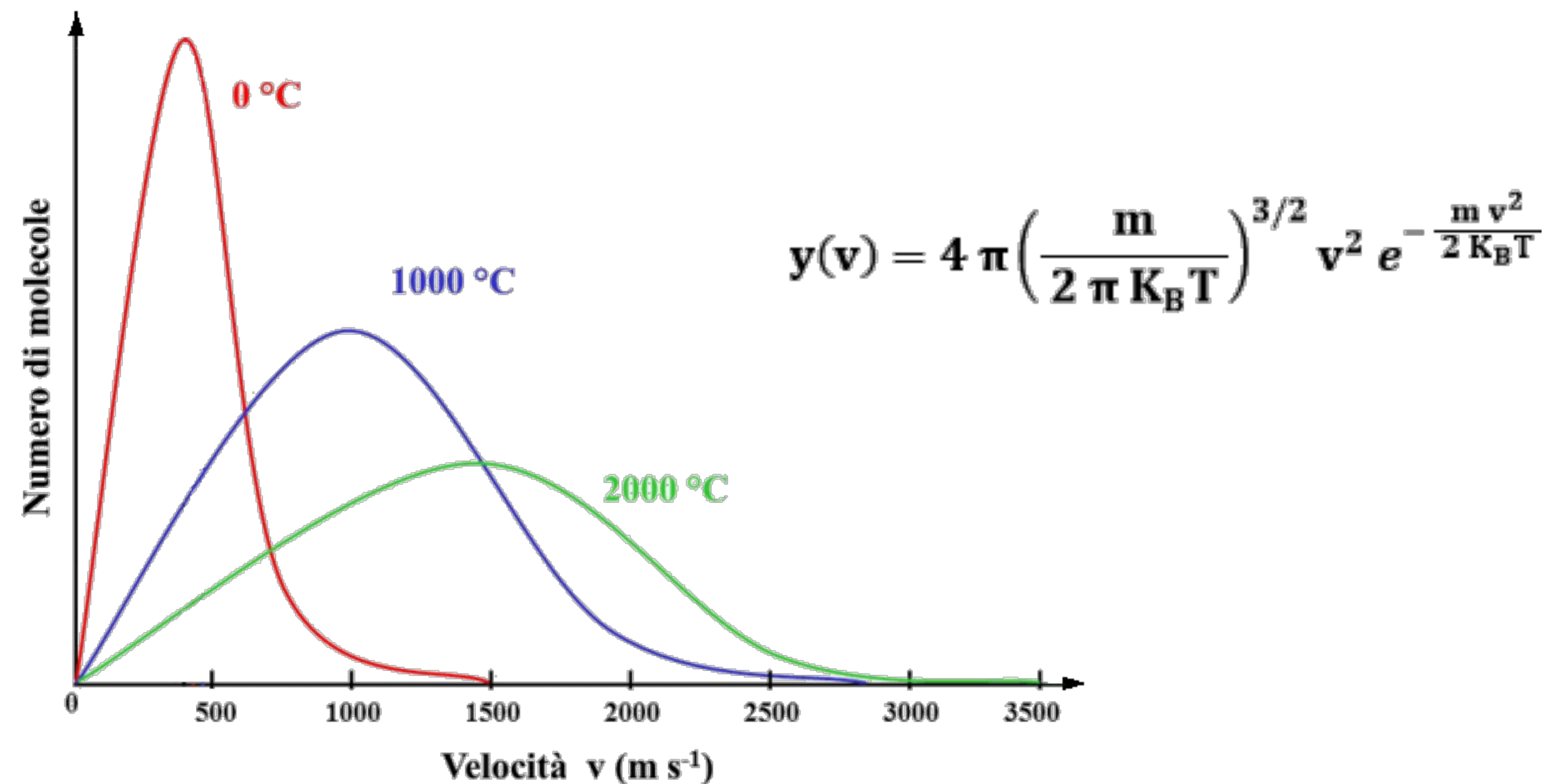
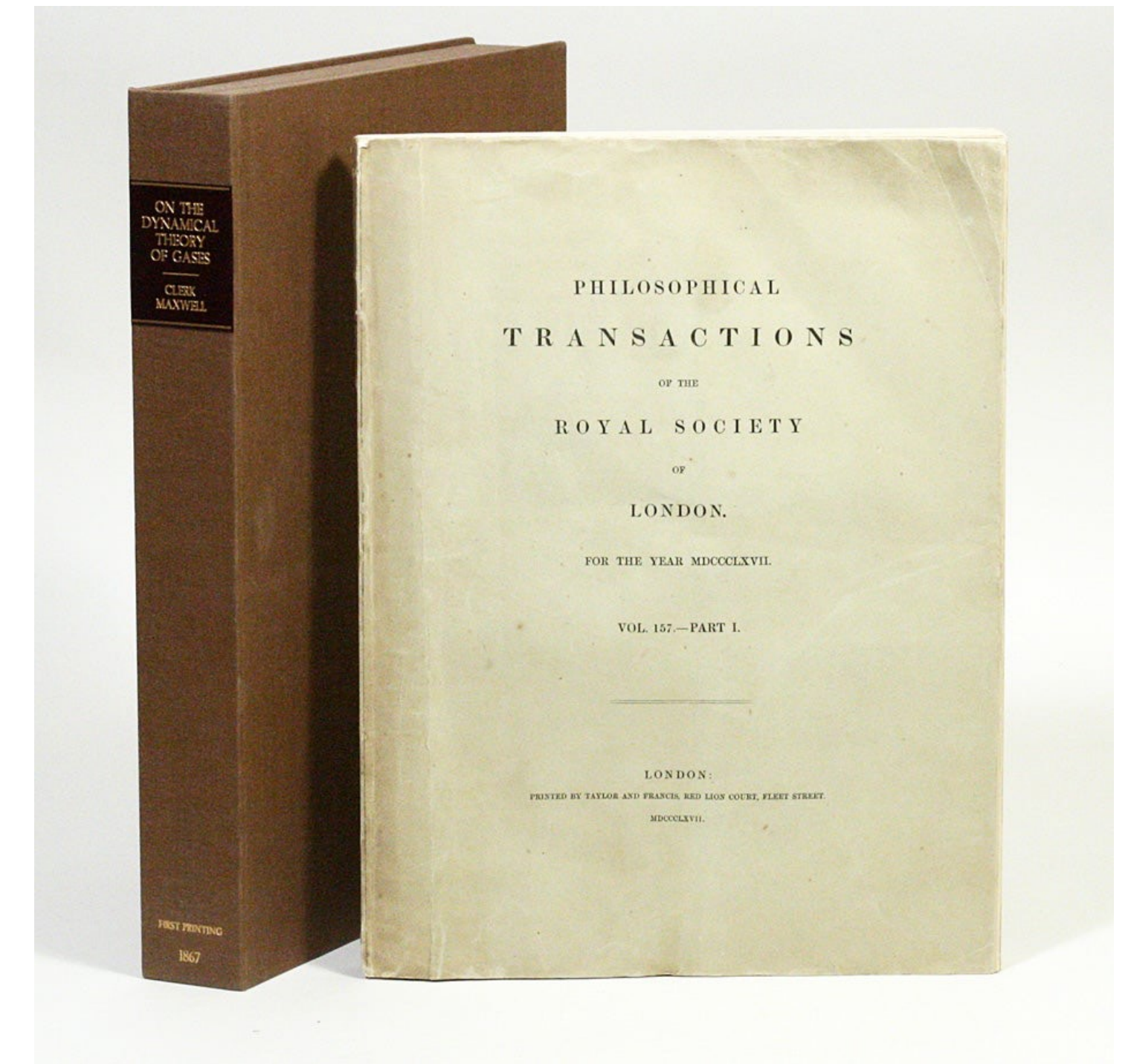
Questo approccio permise a Maxwell di generalizzare le leggi della termodinamica precedentemente stabilite e fornire una migliore spiegazione alle osservazioni sperimentali. Tale lavoro lo portò, in seguito, a proporre l'esperimento mentale del diavoleto di Maxwell.

Dal punto di vista epistemologico, **Maxwell sostenne l'atomismo matematico** ovvero l'idea che, benché sia impossibile osservare gli atomi come particelle libere (non aggregate in molecole), si possa tuttavia trattarli matematicamente come entità osservabili.

# Il contributo di Maxwell alla Termodinamica e alla teoria cinetica dei gas

Nel 1866 Maxwell lesse alla Royal Society di Londra la sua più importante ed elaborata memoria sulla teoria cinetica di gas che, da questo momento, diventa certamente una memoria di meccanica statistica, la memoria dalla quale partirà Boltzmann per i suoi lavori che congiuntamente a quelli di Maxwell daranno origine alla statistica (classica) di Maxwell- Boltzmann

Si tratta di “*On the Dynamical Theory of Gases*”, pubblicata l’anno successivo nelle *Philosophical Transaction* della Royal Society

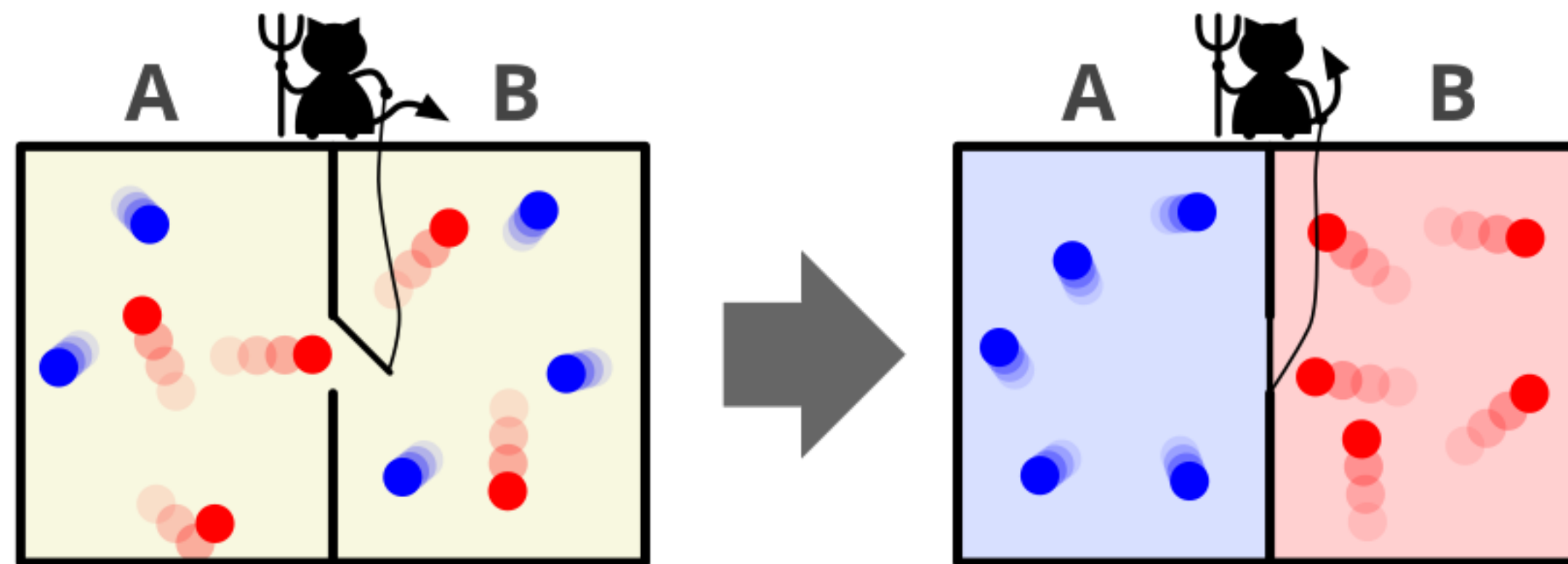


$$v_{\text{MODA}} = \sqrt{\frac{2 K_B T}{m}}$$

# Il Diavoletto di Maxwell

Il diavoletto di Maxwell è un esperimento mentale ideato da James Clerk Maxwell circa la possibilità teorica di un congegno capace di agire a scala microscopica su singole particelle allo scopo di produrre una violazione macroscopica del secondo principio della termodinamica. In questo modo potrebbe produrre una variazione di temperatura tra due corpi senza alcuna spesa di energia.

*«... se concepiamo un essere con una vista così acuta da poter seguire ogni molecola nel suo movimento, tale essere, i cui attributi sono essenzialmente finiti quanto i nostri, potrebbe fare ciò che è impossibile per noi»*



Si considerano infatti due contenitori immaginari, A e B, riempiti con un gas identico e alle stesse temperature, posti uno a fianco dell'altro, separati solamente da una piccola botola apribile con cui è possibile mettere in comunicazione i due vani.

Un piccolo diavoletto sta a guardia della botola, mantenendola chiusa e osservando le molecole agitarsi nei due diversi contenitori. Quando una molecola più veloce delle altre si dirige verso la botola, il diavoletto la apre e lascia che la molecola passi dal contenitore A al contenitore B. La velocità media delle molecole in B ne risulta quindi ogni volta aumentata, mentre quella delle molecole in A ne esce diminuita. Come noto, all'aumento della velocità media delle molecole, corrisponde un aumento della temperatura. Pertanto, successivi interventi del diavoletto comportano la **diminuzione della temperatura in A, e l'aumento di quella in B in contraddizione con la seconda legge della termodinamica.**

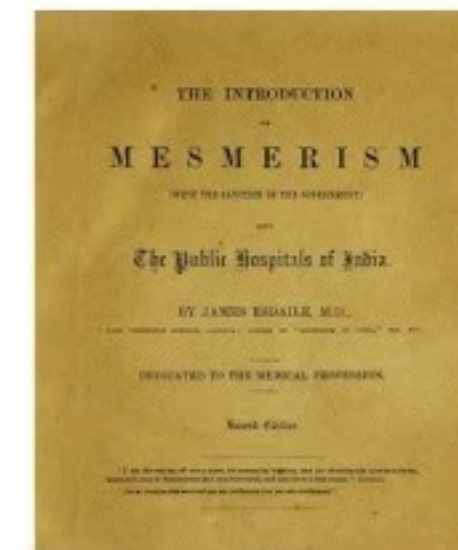
**L'idea è basata sul fatto che il secondo principio, a differenza del primo, ha carattere statistico.** Se si accetta di poter descrivere un gas (o in generale un corpo macroscopico) come un insieme di particelle (eventualmente interagenti) si può reinterpretare lo stato di equilibrio termodinamico di un sistema chiuso come quello più probabile e quindi quello più di frequente realizzato dalle particelle. **Nulla vieta l'esistenza di fluttuazioni termodinamiche che possono portare il sistema in uno stato diverso da quello di equilibrio: esse sono escluse solo sulla base della loro improbabilità, non per ragioni fisiche codificate nelle leggi della meccanica.** Il diavoletto dovrebbe allora essere un congegno di qualche tipo, operante secondo tali leggi, ma a livello microscopico.

Fin dai tempi di Maxwell sono state proposte numerose versioni del diavoletto termodinamico cercando di modellizzare concretamente il diavoletto, **ci si scontra sempre però con una serie di problemi non banali che suggeriscono una natura fondamentale del secondo principio, che non è quindi violabile con trucchi di questo genere.**

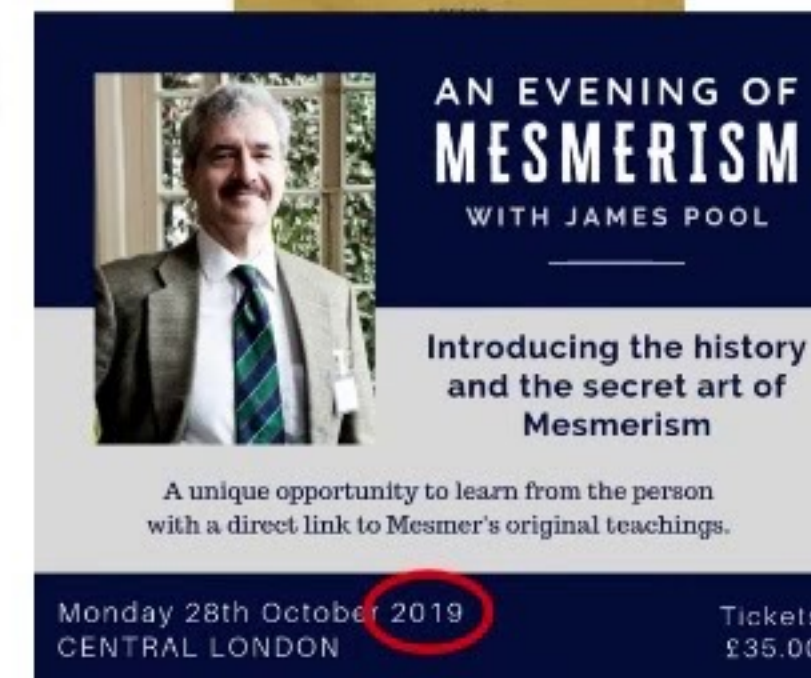
# Sulle Equazioni di Maxwell

Link al Video <https://www.youtube.com/watch?v=NUXmun4x7uc&t=9s>

Pensiamo insieme il futuro



## IL "MISTERIOSO" MAGNETISMO



Altro Video in inglese sulla vita di Maxwell <https://www.youtube.com/watch?v=7-DBhC9CirQ>

# James Clerk



# Maxwell

Altro video su Maxwell ed i suoi contributi

<https://www.youtube.com/watch?v=PbOZ-tvK7bk>



Altro Video in inglese sulla vita di Maxwell <https://www.youtube.com/watch?v=hyjQPYX3NFM&t=18s>



# Lavori principali sull' elettromagnetismo

**ELETTRICITÀ, MAGNETISMO E OTTICA (1849-1879)**

*On Faraday's Lines of Force*, 1855-1856

*On Physical Lines of Force*, 1861-1862

*On Elementary Relations of Electrical Quantities* (con Fleeming  
Jenkins), 1863

*A Dynamical Theory of Electromagnetic Field*, 1865 (1864)

*On a Method of Making a Direct Comparison of Electrostatic  
with electro-magnetic force; with a Note on Electromagnetic  
Theory of Light*, 1868

---

*A Treatise on Electricity and Magnetism*, 1873

*An Elementary Treatise on Electricity*, 1881 (postumo, a cura di  
W. Garnett)

# Lavori principali sulle teoria cinetica dei gas

## MAXWELL E LA TEORIA CINETICA DEI GAS (1859-1879)

1. *On the stability of the motion of Saturn's Rings* (1855-59)
2. *Illustration of the dynamical theory of gases* (1860)
3. *On the viscosity or internal friction of air and other gases* (1865-66)
4. *On the dynamical theory of gases* (1867)
5. *On stresses in rarified gases arising from inequalities of temperature* (1878) [radiometro]
6. *On Boltzmann's theorem on the average distribution of energy in a system of material point* (1879)

# Per approfondire

- Giulio Peruzzi, *“Maxwell: dai campi elettromagnetici ai costituenti ultimi della materia”*, in Le Scienze (a cura di), I grandi della scienza, anno I, n. 5, Milano, 1998
- Enrico Bellone, *“Storia della Fisica”*, Utet, 1990
- Emilio Segrè, *“Personaggi e Scoperte della Fisica Classica: da Galileo alla termodinamica”*, Mondadori 1996

