

Introduzione all'elettromagnetismo

Da: L'evoluzione della fisica – Sviluppo delle idee dai concetti iniziali alla relatività e ai quanti, Universale Bollati Boringhieri, 1965-2007, Torino

Nella scienza non esistono teorie eterne. Presto o tardi taluni fatti previsti dalla teoria vengono refutati da un [qualche] esperimento. Ogni teoria ha il suo periodo di sviluppo graduale e di trionfo, dopo di che può anche subire un rapido declino.

Nella scienza quasi tutti i grandi progressi nascono dalla crisi di una teoria invecchiata e dagli sforzi fatti per trovare una via d'uscita di fronte alle difficoltà emergenti. Ancorché appartengano al passato dobbiamo esaminare idee e teorie antiche, poiché questo è il solo mezzo per bene intendere l'importanza delle nuove e l'estensione della loro validità.

Cercheremo di comprendere in questa fine d'anno le **modalità di evoluzione delle teorie fisiche** occupandoci, in particolare, dell'elettromagnetismo.

• Premessa

- Riprendiamo alcuni aspetti richiamati a inizio anno: la Scienza non è **Oggettiva** ed i suoi risultati non sono Verità Assolute: ogni approccio di ricerca anzi prevede delle **ipotesi**, delle *assunzioni aprioristiche*, sull'oggetto dell'indagine e sulle modalità con le quali intraprendere tale indagine. Per effettuare un ragionamento o un'esplorazione vi è un punto, concettuale, pratico, in una parolona *epistemologico*, dal quale si deve partire. A volte questi punti di partenza sono espliciti, a volte sono impliciti.

- Ma la Scienza non è neppure **Soggettiva**: quelle che ho chiamato *assunzioni aprioristiche* non sono "atti di fede" ma *congetture*: un atto di fede, nel senso proprio del termine, è accettato in quanto indiscutibile, una congettura va sottoposta a **controlli severi**. Se la scienza fosse una sequenza di *atti di fede* non ci sarebbe alcun progresso della conoscenza: l'uno varrebbe l'altro. Un postulato teorico ha una funzione logica: costituisce un assunto da cui seguono conseguenze da sottoporre a **controlli sperimentali**.

Il ruolo dell'aspetto sperimentale - aspetto che da **Galileo Galilei** (1564-1642) in poi ha assunto un ruolo tanto importante da dare il nome al Metodo Sperimentale che caratterizza la Fisica (per noi Classica) - è duplice: punto di partenza e punto di arrivo; motore e fine.

Einstein, in merito al rapporto fra osservatore e osservato scrive (*ibidem* pag. 42):

I concetti fisici sono creazioni libere dell'intelletto umano e non vengono, come potrebbe credersi, determinati esclusivamente dal mondo esterno. Nello sforzo che facciamo per intendere il mondo, rassomigliamo molto ad un individuo [ovviamente privo delle conoscenze anche più elementari in tema di orologi] che cerchi di capire il meccanismo di un orologio chiuso. Egli vede il quadrante e le sfere in moto, ode il tic-tac, ma non ha modo di aprire la cassa. Se è ingegnoso potrà farsi una qualche immagine del meccanismo che considera responsabile di tutto quanto osserva, ma non sarà mai certo che tale immagine sia la sola suscettibile di spiegare le sue osservazioni. Egli non sarà mai in grado di confrontare la sua immagine con il meccanismo reale e non potrà neanche rappresentarsi la possibilità e il significato di un simile confronto. Tuttavia egli crede certamente che con il moltiplicarsi delle sue cognizioni la sua immagine della realtà diverrà sempre più semplice e sempre più adatta a spiegare domini via via più estesi delle sue impressioni sensibili.

- La Scienza non è dunque né oggettiva né soggettiva: è **intersoggettiva**: è il risultato, provvisorio e falsificabile, della commistione fra **assunti epistemologici** condivisi dalla comunità scientifica, e **risultati sperimentali** ottenuti.

Allo scienziato, in sostanza, interessa che si sia tutti d'accordo che le cose vadano in un certo modo; questo basta per formulare una teoria.

Questa frase, del fisico e filosofo della scienza **Giuliano Toraldo di Francia**, esprime in maniera un po' drastica ma efficace, il concetto di accordo intersoggettivo (G. Toraldo di Francia, Errori e miti nel concetto comune di scienza, in AA. VV., Pensiero scientifico e pensiero filosofico, Muzzio, Padova 1993).

• I Fondamenti della Fisica Classica - Il programma meccanicista

Galileo Galilei - Il metodo scientifico

A **Galileo Galilei** attribuiamo la formulazione di un programma d'indagine della Natura che è una rivoluzione rispetto alle modalità proprie del suo tempo. Fu però Isaac Newton (1643-1727) a mettere effettivamente in atto tale programma. Ma andiamo con ordine:

Il programma di Galilei prevede le seguenti rotture con il passato:

- 1) L'affermazione che i **fenomeni terrestri** seguono gli stessi criteri di armonia e regolarità attribuiti sino a quel momento esclusivamente ai **fenomeni celesti**. *"Il nostro scopo è quello di riportar la Terra in Cielo di dove i nostri antenati l'hanno bandita"* Questo fatto porta con sé due conseguenze "pesanti":
 - o La Terra è uno dei tanti astri e non occupa più la posizione privilegiata che le veniva assegnata dall'interpretazione aristotelico-scolastica del Sistema Tolemaico (Terra ferma e sfere "celesti" che le ruotano intorno).
 - o Si estende l'oggetto del sapere razionale anche al mondo terrestre, prima pensato come troppo imperfetto e mutevole; occorre quindi stabilire nuovi criteri di ricerca della verità: criteri basati sulla ragione umana. La verità va scoperta e non è già *rivelata* (nelle Sacre Scritture). Politicamente significa togliere dalle mani della Chiesa il controllo sulla Verità e consegnarlo alla Ragione Umana. Molto sovversivo...
- 2) *«... questo grandissimo libro [della natura] che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri né quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intendere umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.»* (Galileo Galilei, Opere VI)

Il Libro della Natura è stato scritto da Dio in caratteri **matematici** e compito dello scienziato tentare di leggerlo. Di nuove conseguenze importanti:

- o La conoscenza non è più accessibile solo agli "iniziati" alle *Sacre Scritture* e agli scritti di **Aristotele**, ma è una strada percorribile da qualunque uomo conosca il linguaggio mediante il quale l'Universo è stato "scritto": la matematica.
 - o La matematica consente anche di applicare le leggi a **oggetti** costruiti dall'uomo: nasce la **nuova tecnica** (Alexandre Koyré, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi)
- 3) L'affermazione della necessità del **cimento** di tali leggi, quindi di una **verifica sperimentale** e non solo speculativa, cioè astratta, delle leggi trovate.

Se **Newton** riuscì a portare a compimento il programma Galileiano, scrivendo la **legge di Gravitazione Universale** (vedi pag. successiva) e dimostrando che tale legge regolava sia il moto dei corpi celesti che l'attrazione da parte della Terra degli oggetti, fu perché "inventò", contemporaneamente a un altro grande scienziato-filosofo: **Leibnitz**¹, la **matematica** adatta alla descrizione dei fenomeni del moto: il **Calculus**.

Isaac Newton - Il Calculus

La matematica inventata da **Leibnitz** e **Newton** è alla base della possibilità di ricavare la **funzione della forza** agente su quel *punto materiale*, conoscendo l'**equazione oraria** di un *punto materiale* di massa nota, $\vec{s} = \vec{s}(t)$ (la funzione che fornisce la posizione del punto in ogni istante di tempo). Tale possibilità deriva dalla seguente catena di relazioni:

¹ Newton e Leibnitz pervennero contemporaneamente e indipendentemente alla codificazione di tale **Calculus**, dando origine ad un teatrino deprevole di miseria umana di accaparramento di paternità che vide vincitore il "più potente" Newton ma che lo piegò come persona

$$\vec{s} = \vec{s}(t) \Rightarrow \vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F} = m \cdot \vec{a} .$$

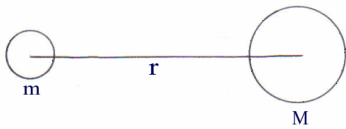
Ora dovrai *credere* che è possibile effettuare anche il percorso inverso: conoscendo la **funzione della forza agente** su di un *punto materiale* di massa nota (e conoscendo la *posizione* che occupa *in un certo istante* e la *velocità* che ha in quell'istante: le **condizioni iniziali**), si può ricavare l'**equazione oraria** di quel punto materiale (e quindi la sua traiettoria). Almeno è possibile nel caso in cui la **forza agente** sia rappresentabile mediante un'equazione matematica *regolare*.

Questa possibilità, offerta dalla matematica, è alla base di un concetto che avrai studiato in filosofia (e che rappresenta un'*ipotesi epistemologica* molto importante per la fisica classica): il **determinismo**.

Alla luce di quanto detto sinora, guardiamo "con occhi nuovi" alla Legge di Gravitazione Universale. Newton vi poté pervenire grazie all'impressionante messe di dati raccolti dal meno famoso **Tycho Brahe**: alle sue precise misurazioni della posizione delle stelle e dei movimenti dei pianeti e all'elaborazione di questi dati effettuata dal genio di **Keplero**.

Credo si riferisse a loro Newton nel citare **Chartres**: "Siamo nani sulle spalle di giganti".

Isaac Newton - La Legge della Gravitazione Universale



Date due masse M_1 ed M_2 (corpi a *simmetria sferica*) a distanza r , tali masse esercitano l'una sull'altra una **forza d'interazione** diretta lungo la congiungente le masse, direttamente proporzionale al prodotto fra le masse stesse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza r . La

costante di proporzionalità è: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.

G è detta **Costante di Gravitazione Universale** perché il suo valore è lo stesso a prescindere dalla *dislocazione* e dalla *tipologia delle masse in gioco*: siano esse due pianeti, un pianeta e una stella o una massa a quota d sulla superficie terrestre e la Terra stessa! **La Legge della Gravitazione Universale** può essere espressa in simboli nel modo

seguito: $\vec{F}_{1-2} = -G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2} \cdot \hat{r} = \vec{F}_{2-1}$ Il segno "-" indica che la forza è di tipo **attrattivo**.

Il cappuccetto sopra la lettera r (\hat{r}) indica un vettore speciale (che prende il nome di **versore**): questo vettore infatti ha modulo 1 e serve perciò a indicare solo la **direzione** (che, in questo caso, abbiamo detto essere la retta congiungente i baricentri delle due masse).

Come spero osserverete questa legge indica che la forza d'interazione gravitazionale non è costante ma dipende dall'**inverso del quadrato della distanza** fra i corpi. Questo fatto è molto importante per il seguito della Storia.

MA: "se questa è una legge d'interazione che vale fra qualunque coppia di corpi, com'è che non me ne accorgo quando passo accanto ad una persona? E anche: perché se lascio una penna è lei a "cadere" e non è la Terra ad andare verso la penna?". E in che senso "tale legge regola sia il moto dei corpi celesti che l'attrazione da parte della Terra degli oggetti"?

La risposta alla prima domanda sta nella *bassa intensità* di tale forza: proviamo ad inserire dei dati plausibili: $m_1 = m_2 = 70 \text{ Kg}$ e $r = 1 \text{ m}$

$$F_{1-2} = -6,7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{70 \cdot 70}{1} \cdot N = -6,7 \cdot 4,9 \cdot 10^{-9} N \approx 3,3 \cdot 10^{-8} N$$

Considera che 1 N è la forza che è necessario imprimere a una massa di 1 Kg perché, in assenza di attrito, passi da star ferma a viaggiare a 1 m/s, cioè: 3,6 km/h... Già tale forza diventa maggiormente percepibile se riduciamo la distanza a 0,01 m perché diviene circa: $3,3 \cdot 10^{-4} N$. Potete fare un esperimento in piscina quest'estate!

Insomma, se le masse sono dell'ordine di 10^{22} kg com'è quella della Luna o 10^{30} kg com'è quella del Sole, gli effetti *sono macroscopici*, anche se le distanze a loro volta non scherzano, altrimenti...

Che l'interazione sussista anche fra masse *a misura d'uomo* è stato verificato mediante esperimenti effettuati con la **bilancia di Cavendish**². Su youtube ci sono interessanti filmati che mostrano l'esperimento. Ad esempio questo realizzato dall'Università di Tor Vergata di Roma: <http://www.youtube.com/watch?v=vjOfNxhyh-Y>

Per la seconda domanda: il fatto che la penna cada sulla Terra è una conseguenza della **proporzionalità inversa** fra **massa** e **accelerazione** sancita dal II principio della dinamica: poiché la massa della terra è circa 10^{26} volte maggiore di quella della penna, l'accelerazione che la penna produce sulla Terra è circa 10^{26} volte più piccola dell'accelerazione che la Terra produce sulla penna

La **forza peso** $\mathbf{P} = m \mathbf{g}$, non è che un caso particolare dell'interazione gravitazionale fra due masse. Caso particolare che presuppone una serie di approssimazioni: se infatti M_T =Massa della terra= M_T e M_2 =massa di un corpo qualunque= m e il "corpo qualunque" si trova a una quota h *molto più piccola* del raggio terrestre R_T ($h \ll R_T$), che è dell'ordine di grandezza di 10^7 m, $F = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{(R_T + h)^2} \approx G \cdot \frac{M_T \cdot m}{(R_T)^2} = g \cdot m$. Trovi i conti (box a destra titolato "Esempio pratico"), assieme a una serie di approfondimenti interessanti e di altre precisazioni, qui: http://it.wikipedia.org/wiki/Forza_peso

Pierre Simon de Laplace - Il programma meccanicista

"Un intelletto che a un dato momento conoscesse tutte le forze che animano la Natura e le mutue posizioni di tutti gli enti che questa comprende, se questo stesso intelletto fosse sufficientemente vasto per sottoporre ad analisi questi dati, potrebbe condensare in una singola formula tanto il movimento dei più grandi corpi dell'universo, quanto quello degli atomi più leggeri: per tale intelletto nulla potrebbe essere incerto e il futuro, come il passato, sarebbero presenti ai suoi occhi". Pierre Simon de Laplace (1749-1827) nell'introduzione al suo trattato sulla probabilità³.

- Supponendo che la materia abbia una natura **corpuscolare** e di poter assimilare tali corpuscoli a **punti materiali**, sarà composta di n punti materiali, con n *grandissimo* (si stima in 10^{80} il numero di atomi nell'universo!), e il **moto** di tutta la materia sarà descritto da un sistema immenso di **n equazioni** del tipo: $\vec{f}_i = m_i \cdot \vec{a}_i$.

- Supponendo inoltre che tutti i fenomeni naturali si riducano a fenomeni di tipo **meccanico**, avremo un **programma** - basato in parte su dati empirici e in parte su speculazioni filosofiche - detto **meccanicismo** o **riduzionismo meccanicista** nel quale ci si propone di **ridurre tutti i fenomeni conosciuti** a fenomeni d'interazione fra **punti materiali**, imputabili a **forze a distanza**, dirette lungo le congiungenti i punti materiali e le cui **intensità dipendano** solamente dal quadrato della **distanza**.

In realtà già Newton si rese conto delle difficoltà che insorgevano nel risolvere il moto di **tre** corpi con **masse uguali** interagenti solo dal punto di vista **gravitazionale**.

Ma la **bellezza** e **potenza** del *Calculus* e della *Legge di Gravitazione Universale* erano tali che i problemi incontrati non sedarono la fiducia nel **programma meccanicista**, finché...

E qui comincia la "nostra storia" con l'elettromagnetismo!

² http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish

³ La probabilità nasce curiosamente su due livelli: per risolvere problemi di assegnazione di premi in giochi d'azzardo e per consentire indagini in ambiti come quello illustrato in cui l'intelletto umano mostra tutta la sua limitatezza... La fisica moderna le attribuirà un ruolo ben più importante che mero ripiego.