

1. La fisica fa modelli della realtà

1.1 Introduzione

Questo file è tratto da: Albert Einstein - Leopold Infeld, *L'evoluzione della fisica – Sviluppo delle idee dai concetti iniziali alla relatività e ai quanti*, Universale Bollati Boringhieri, 1965-2007, Torino. E dalle dispense del MASTER, coordinato dall'Università di Udine, in “Innovazione della Didattica della Fisica e Orientamento (IDIFO)”

Mi piacerebbe che questo file e, le lezioni di fisica che seguirete quest'anno, contribuiscano a sfatare un po' il mito negativo della monoliticità e freddezza della Scienza: cercherò di mostrarvi quanto di umano vi sia dietro le “leggi fisiche”.

Ultimo ma non ultimo sarebbe una grande soddisfazione per me mostrarvi la strada per il superamento del divario posticcio fra discipline scientifiche e discipline umanistiche che ancora contraddistingue la cultura contemporanea, lasciandovi almeno intuire il ruolo che la *bellezza* gioca nelle scienze come già nell'arte. Bellezza che, purtroppo, le brutture di una tecnologia disumanizzata rendono veramente difficile ormai scorgere.

Ecco dunque di cosa parleremo (mi appoggio già ad Einstein: pag. 80 libro citato; fra parentesi quadre miei incisi):

Nella scienza non esistono teorie eterne. Presto o tardi taluni fatti previsti dalla teoria vengono refutati da un [qualche] esperimento, [da un qualche fenomeno nuovo, o indagabile in maniera nuova grazie ai progressi tecnologici e della scienza stessa]. 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. [Sforzi che debbono anche scontrarsi con gli sforzi in direzione contraria di quanti alla teoria invecchiata non vogliono rinunciare e tentano rabberciamenti anche imbarazzanti pur di non arrendersi all'evidente necessità di un'evoluzione] 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.

1.2 Premessa: la fisica è intersoggettiva

Cominciamo col soffermarci a ragionare su **finalità e modalità d'indagine della Fisica in generale e sui convincimenti profondi personali** che hanno guidato (in senso lato) il nostro mentore, **Einstein**, nel corso dei suoi studi.

Alcuni aspetti infatti forse non sono scontati per tutti i presenti ed è bene invece che lo siano: la Scienza non è Oggettiva ed i suoi risultati non sono **Verità Assolute**: ogni approccio di ricerca 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 che caratterizza e dà il nome alla Fisica per lui Moderna, per noi Classica: il Metodo scientifico, è duplice: è punto di partenza e punto di arrivo: è motore e fine.

E' infatti l'osservazione di un fenomeno, "spontaneo" come il moto degli astri o indotto dall'uomo come l'oscillazione di un pendolo, o una delle infinite via di mezzo, che conduce alle **teorie**, cioè alle descrizioni del fenomeno stesso (descrizioni che vengono espresse mediante il linguaggio matematico).

Ma attenzione: osservazioni, esperimenti e resoconti degli esperimenti non sono **neutrali**, ma sono sempre condotti e interpretati alla luce delle **teorie esistenti** e dei **fondamenti epistemologici**.

Il *progresso* avviene in seguito ad **osservazioni** che *falsificano* le teorie esistenti, cioè a **nuovi esperimenti** che tali teorie non sono in grado di spiegare.

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 crederci, 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**.

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** ("Errori e miti nel concetto comune di scienza", in AA. VV, Pensiero scientifico e pensiero filosofico, Muzzio, Padova 1993).esprime forse in maniera un po' drastica ma efficace, il concetto di *accordo intersoggettivo*.

Approfondiamo la comprensione della prima frase sottolineata di Einstein utilizzando le parole di un altro grande fisico-matematico, **John von Neumann**:

*"Le scienze non cercano di spiegare, a malapena cercano di interpretare, ma fanno soprattutto dei **modelli**"*

1.3 La fisica fa modelli della realtà

Cosa significa? (Elaborato da Wikipedia):

Ogni osservazione di un tipo di fenomeno costituisce un caso a sé. Ripetere le osservazioni vuol dire moltiplicare le informazioni, mediante raccolta di **misure**.

Le diverse osservazioni saranno certamente diverse l'una dall'altra nei *dettagli* ma ci consentono anche di individuare nel fenomeno stesso delle **linee generali**, degli elementi di fondo che lo caratterizzano conferendogli la sua peculiarità.

Tali **elementi caratterizzanti** si distinguono da altri che possiamo considerare "elementi di disturbo" (pensa al ruolo dell'attrito dell'aria nello studio del moto); ci dicono che il fenomeno, a parità di condizioni, tende a ripetersi sempre allo stesso modo.

Se vogliamo fare un discorso di carattere generale, occorre *sfrondare* le varie osservazioni di uno stesso tipo di fenomeno dalle loro particolarità e trattenere solo quello che è rilevante e comune ad ognuna di esse, fino a giungere al cosiddetto **modello fisico**.

Questo è una **versione approssimata** del sistema effettivamente osservato ma ha il vantaggio della *generalità* e quindi dell'applicabilità a tutti i sistemi di quel tipo.

Il **modello fisico** ha la funzione fondamentale di ridurre il sistema reale, e la sua evoluzione, ad un livello astratto quindi traducibile in forma matematica: utilizzando definizioni operative [che si basano sul **concetto di misura**] delle grandezze in gioco e relazioni matematiche fra queste.

Tale *traduzione* può anche avvenire automaticamente, come dimostrano i molti programmi usati per la simulazione al calcolatore dei fenomeni più disparati.

Il **modello fisico** non è completo perciò, senza la traduzione in forma matematica delle sue caratteristiche e del suo comportamento, il piano matematico è il massimo livello di astrazione nel processo conoscitivo ed è costituito normalmente da **equazioni differenziali** che, quando non siano risolvibili in maniera esatta, devono essere semplificate opportunamente o risolte, più o meno approssimativamente, con metodi numerici: al calcolatore. Questo fatto ha conseguenze interessanti cui accenneremo...

Si ottiene in questo modo una descrizione dell'osservazione iniziale che può consentire anche di **riprodurre artificialmente** il fenomeno osservato.

Oltre che a descrivere un fenomeno un modello può portare a nuove scoperte: si parla allora di **valore euristico del modello** (cioè di accesso a nuove conoscenze; teoriche, in questo caso). Vedremo insieme come il lavoro di ricerca volto alla **modellizzazione dell'atomo** sia stato cruciale nella nascita della **meccanica quantistica**.

Attenzione! spesso uno stesso fenomeno può venire descritto con modelli fisici diversi:

- I **gas** possono essere considerati come **fluidi comprimibili** oppure come un **insieme di molecole**.
- Le **molecole** possono essere pensate come **puntiformi** oppure dotate di una **struttura**; fra loro **interagenti** oppure **non interagenti**.
- La **luce** può venire modellizzata come un fenomeno **ondulatorio** oppure come un **flusso di particelle**. E così via.

1.4 Modelli fisici per lo studio del moto

Il primo modello fisico di successo della storia della fisica fu il **punto materiale** (punto geometrico dotato di massa) il cui moto si ritiene completamente determinato nota l'**equazione oraria** del moto (legge che mette in relazione ciascuna **posizione** occupata dal punto con l'istante di **tempo** in cui tale posizione viene occupata).

Abbiamo visto a lezione che, al di là della definizione matematica, ci serve una **definizione fisica** di **punto materiale**. E nell'ottica di uscire dall'inganno dell'oggettività della fisica ho proposto la seguente:

CONSIDERIAMO PUNTO MATERIALE UN QUALSIASI CORPO DI CUI C'INTERESSI STUDIARE SOLO IL MOTO LUNGO UNA TRAIETTORIA CURVILINEA¹.

Di questo corpo *ignoriamo* pertanto se compia **rotazioni** attorno a un asse: lo assimiliamo a un punto (concentriamo lo studio su un punto che finisce per rappresentare tutto il corpo. Come se avessimo posto un localizzatore sul corpo stesso).

Il modello di punto materiale è il modello più semplice e consente di studiare solo alcuni aspetti del moto. Volendo perfezionare lo studio del fenomeno – specialmente se il fenomeno in questione ce ne offre l'occasione – dovremo via via **raffinare** (e complicare) il **modello** fisico che utilizzeremo (comprese le equazioni che, non dimenticarlo MAI, fanno parte integrante del modello stesso). In tabella (Di Nepi) una sintesi dei casi possibili

Il fenomeno di riferimento può essere, per esempio, lo studio del moto di un **pallone** da calcio - calciato da un dispositivo che consente di misurare i parametri del calcio, e che fa in modo che il pallone non si muova *rasoterra* ma compia una traiettoria parabolica.

LEGENDA DEI SIMBOLI:
X= IGNORO
O= TENGO CONTO

	TRASLAZIONE	ROTAZIONE	ATTRITO VISCOSO	DEFORMAZIONE	PRESSIONE	TEMPERATURA
PUNTO MATERIALE	O	X	X	X	X	X
MANUBRIO	O	O	X	X	X	X
CORPO RIGIDO	O	O	O	X	X	X
CORPO SCHEMATIZZATO	O	O	O	O	O	O

1.5 Alcuni fondamenti epistemologici *personali* di Einstein

Riguardo alle convinzioni personali di Einstein (in parte già “superate” dalla disputa scientifico-filosofica degli anni '70 che studierete in filosofia in quinto), uno dei suoi più famosi biografi, *Abraham Pais* sostiene che, sia le teorie speciale e generale della Relatività, sia la sua costante ricerca di una “teoria unificata dei campi”, avevano origine da una

¹ Una delle tante differenze fra linguaggio naturale e linguaggio matematico: in matematica ogni rappresentazione di un'equazione è una curva (o grafico): anche una retta (anche se non “fa le curve”!!)

precisa **preoccupazione estetica**: «Einstein fu condotto alla teoria della relatività ristretta soprattutto da considerazioni di carattere estetico, vale a dire da criteri di semplicità. Questa splendida ossessione non l'avrebbe più lasciato per il resto dei suoi giorni. Lo avrebbe portato alla sua conquista più grande, la relatività generale, e anche al suo fallimento, la teoria unitaria dei campi» (A. Pais, "Sottile è il Signore...". La scienza e la vita di A. Einstein, Torino 1991, p. 155).

Egli fu sempre particolarmente attratto dalla valenza estetica della teoria dell'atomo di Bohr, utilizzata negli anni 1910-1920, ... «quasi un miracolo» e «la più alta forma di musicalità nella sfera del pensiero» (cfr. ibidem, p. 442). Analogo fu il suo giudizio nei riguardi della teoria della radiazione termica di Planck, che Einstein vedeva giustificata sulla base della sua semplicità e delle sue analogie con la teoria classica (PLANCK, V). ... La semplicità pareva svolgere per lui una triplice funzione: come segno di validità, come guida euristica e metodologica, come strada da seguire verso l'unificazione delle leggi, quasi una riproposizione in termini moderni della convinzione degli antichi *simplex ratio veritatis*, la semplicità ha ragione di verità.

Vale la pena soffermarsi a riflettere un attimo sul significato dell'aggettivo **semplice** ed al confronto con il significato con l'aggettivo **facile**, per evitare equivoci. Mi servirò del dizionario etimologico.

Semplice: senza pieghe, consistente di una sola parte, di un solo ingrediente.

Facile: che ben si presta ad essere fatto, pieghevole, trattabile, condiscendente, (significati tutti legati all'assenza di ostacoli)

Ora, spero converrete che sono quasi opposti i significati di tali parole: la ricerca della semplicità è irta di ostacoli: non è facile per niente. Asserirò anzi Einstein: più si procede verso la semplificazione dei concetti fisici più sarà difficile la matematica atta a descriverli. Ma voi non ve ne accorgete granché: solamente se intraprenderete studi universitari adeguati vi imatterete in tale matematica!

1.6 Galileo, Newton e la matematizzazione della scienza

A **Galileo Galilei** dobbiamo 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 prevedeva le seguenti *cesure* con il passato:

- 1) L'affermazione che i fenomeni terrestri seguivano 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*" - scriveva. Questo fatto porta con sé due conseguenze "pesanti"

- o La **Terra** è uno dei tanti astri (che quindi hanno una natura materiale simile a quella della Terra e sono soggetti alle stesse leggi che governano il moto dei corpi sulla Terra) 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. Politicamente significa togliere dalle mani della Chiesa (intesa come organo politico) il controllo sulla Verità e consegnarlo alla **Ragione Umana**.

- 2) L'affermazione che il *Libro della Natura era stato scritto da Dio in caratteri matematici*, quindi che la conoscenza dei fenomeni corrisponda alla scrittura di **leggi matematiche** che legano fra loro le grandezze caratterizzanti fenomeni stessi. 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 e deduttiva*, delle leggi trovate

Se Newton riuscì a portare a compimento il programma Galileiano, trovando la **legge di Gravitazione Universale**, e dimostrando che tale legge regolava sia il moto dei corpi celesti sia l'attrazione da parte della Terra degli oggetti, fu perché, contemporaneamente ad un altro grande scienziato-filosofo, Leibnitz, Newton inventò la **matematica** adatta alla descrizione dei fenomeni del moto: il **Calculus**; oggi chiamata **Analisi Matematica**.

1.7 I fondamenti epistemologici della Fisica Classica:

❖ La FC si fonda su un'**ipotesi di semplicità** (Pitagora, Platone, Galilei, Newton Einstein, si trovano tutti d'accordo su questo punto!) che trova un riscontro "pratico" nel convincimento che i fenomeni naturali siano descrivibili mediante leggi **matematiche**.

❖ Pietra angolare della FC è il **determinismo** (trasposto in forma matematica dalle **equazioni differenziali**). Riferendoci al moto (ma, ovviamente è un tipo di convincimento che riguarda tutti i tipi di fenomeni e non solo il moto):

se di un **punto materiale** conosco la massa, le **condizioni iniziali** (posizione: \vec{s}_0 e velocità: \vec{v}_0 in un certo istante t_0) e la **funzione** rappresentativa delle forze agenti: $\vec{F} = \vec{f}(t, \vec{s}, \vec{v}, \dots)$ - e questa funzione è regolare - allora di quel punto potrò **conoscere il moto** passato e futuro (equazione oraria, traiettoria, ecc).

Ai punti precedenti, Newton aggiunge le definizioni rigorose di **spazio** e **tempo**. Osserva come per la FC, spazio e tempo siano indipendenti.

❖ **Il tempo assoluto**, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente, e con altro nome è chiamato **durata**;

❖ **[il tempo] relativo**, apparente e volgare, è una misura (esatta o inesatta) sensibile ed esterna della **durata per mezzo del moto**, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l'ora, il giorno, l'anno.

❖ **Lo spazio assoluto**, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile [è pensato come lo spazio della geometria euclidea: vuoto];

❖ **Lo spazio relativo** è una misura o dimensione mobile dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso al posto dello spazio immobile.

Uno dei grandi temi di discussione di tutta la fisica poi è se la materia sia **discreta**, cioè fatta di *atomi indivisibili* o **continua** (come i numeri reali: pensali posti sulla retta). Lo vedrai.