

# DA GALILEI A NEWTON

## SPAZIO E TEMPO ASSOLUTI

### Indice

- o Introduzione
- o Da Aristotele a Galilei: lo spazio e il tempo
- o Galilei: il principio di relatività classico
- o Newton: spazio e tempo assoluti
- o Conclusione

### Introduzione

#### ARISTOTELE

Fin dalle origini, la scienza si è occupata non del tempo in sé, ma della velocità del moto. È infatti più veloce chi copre lo stesso spazio in minor tempo. Aristotele (384 ÷ 322 a.C.) distinse vari tipi di moto nell'universo. Partendo dal presupposto che la terra fosse immobile al centro dell'Universo (che deriva da *versum unum*), analizzò due tipi di situazioni: una riferita al mondo siderale sopra la luna, che era considerato perfetto e si muoveva attorno alla terra; l'altra caduca, propria del mondo sublunare, imperfetto. Quindi gli oggetti che si muovevano correttamente con moto circolare sopra la luna erano elementi celesti, mentre quanto si muove sotto sarebbe caduto perpendicolarmente a terra senza più muoversi se non a causa di una forza violenta. Il moto del cielo era quindi circolare, uniforme, costante.

Aristotele riteneva che questo tipo di moto siderale non avvenisse nel vuoto, poiché senza resistenza alcuna il cielo avrebbe dovuto ruotare a velocità infinita; quindi immaginò che stelle e pianeti si muovessero in un etere cosmico, detto anche etere luminifero, una sostanza capace di dare ordine al movimento nel cielo.

Nel mondo sublunare Aristotele distinse due tipi di moto:

- (a) naturale
- (b) violento come il lancio di un sasso causato dalla violenza di una forza vitale.

Aristotele ritenne che la velocità (V) di un corpo che cade per il moto naturale fosse proporzionale alla forza del peso (P) ed inversamente proporzionale alla resistenza del mezzo più o meno denso (D) in cui il corpo si muove; era quindi convinto che più un corpo è pesante più la sua caduta, libera da violenza, risulta rapida.

Da qui l'equazione del moto:  $V = P/D$  (moto naturale).

Per Aristotele ogni corpo andava naturalmente a cercare il suo posto nello spazio.

Ogni sostanza infatti era pensabile come una composizione di quattro elementi (Fuoco, Aria, Acqua e Terra) di cui i primi due si dirigevano verso l'alto, i secondi verso il basso.

L'Aria e l'Acqua avevano anche la proprietà di estensione e cioè rispettivamente salivano o scendevano, ma contemporaneamente si estendevano nello spazio.

Il moto naturale era quindi regolato, nel mondo sublunare, da una causa finale naturale.

Per il moto di tipo violento (b) era necessario sostituire la forza motrice (F) al peso per ottenere l'equazione del moto generale:  $V = F/R$  (moto violento), in essa,  $R = D + P$  equivaleva alla somma della

resistenza del mezzo attraversato dal corpo lanciato in movimento e del suo peso; quest'ultima formula, detta ratio aristotelica, data dal rapporto tra forza e resistenza, permetteva di calcolare la velocità lineare di un corpo in movimento.

In seguito, Archimede riformulò la legge del moto violento nel seguente modo:  $V=F-R$  (dove F era la forza peso del corpo e R la resistenza del mezzo).

## GALILEI

Per giungere a nuove equazioni del moto bisogna arrivare all'epoca di Galileo Galilei (Pisa 1564÷ Firenze 1642), il quale realizzò un nuovo modo di fare scienza fondato, oltre che sull'osservazione diretta della natura, anche sulla riflessione matematica e sull'utilizzazione degli strumenti scientifici.

Così per mezzo del cannocchiale osservò che i quattro satelliti di Giove (che chiamò pianeti Medicei, in onore della potente famiglia dei Medici signori di Firenze), non ruotavano attorno alla terra, ma attorno a Giove. Ciò significava che non tutti i corpi celesti giravano attorno alla terra ferma al centro dell'universo.

Questa osservazione, pubblicata da Galileo sul "*Sidereus Nuncius*" (12 marzo 1610), così come altre osservazioni galileiane effettuate con il cannocchiale, - quali le macchie solari e la configurazione della Luna che non appariva come sfera liscia ma rugosa con monti e valli simili alla terra, e l'osservazione che Venere presenta delle fasi con variazioni di luminosità come la Luna - convinsero il grande scienziato pisano che non vi era una così netta distinzione tra mondo celeste, perfetto ed in movimento, ed il mondo terrestre, fermo ed imperfetto.

Galileo osservò che la Via Lattea è una congerie di minutissime stelle sempre più lontane dalla terra. Da qui immaginò che muovendosi da stella a stella si potesse andare verso l'infinito... e quindi raggiungere il paradiso!

Tale immagine cambiava di molto la visione del mondo. Quando si supposeva l'esistenza di stelle fisse nel cielo, si pensava che tutte, grandi o piccole, ruotassero alla stessa distanza dalla terra.

Con le osservazioni sulla Via Lattea, Galileo comprese che le stelle più piccole della volta celeste potevano presentarsi così all'osservazione solo per il fatto di essere più lontane.

*Da un universo racchiuso in uno spazio ciclico di dimensioni finite, ora il cielo appariva infinito.  
Il sole era una stella delle tante.*

Quali le conseguenze? Galileo suppose che coloro, non molti in verità, i quali avevano ritenuto che la terra si muovesse attorno al sole e girasse su se stessa, avessero ragione.

Per unificare concettualmente cielo e terra con una teoria del moto conseguente alle osservazioni sperimentali fatte con il cannocchiale, Galileo dovette introdurre il principio di inerzia: ammise che anche in relazione alla terra un movimento uniforme non ha bisogno di alcuna forza per mantenersi in moto e che di conseguenza l'intervento di una forza o di un attrito produce solo una variazione della velocità del moto.

Un corpo tende a mantenere all'infinito il suo stato di moto finché non intervengano forze che ne disturbino il moto frenandolo o deviandolo.

Aristotele ed i suoi seguaci ritenevano assurdo che un oggetto inanimato potesse muoversi senza una forza forzante che gli conferisse il movimento. Galileo ritenne, invece, che il moto alle cose fosse un dono divino concesso da Dio, a tutte egualmente. Ne conseguì che mentre prima il moto doveva essere causato da una forza vitale che imprimeva il suo impulso al movimento, altrimenti le cose sarebbero rimaste immobili, per Galileo il moto delle cose era naturale, ma era necessaria una forza motrice solo

nel caso il moto fosse stato arrestato per attriti od altri impedimenti.

Per sostenere questo nuovo punto di vista sulle cause del moto, lo scienziato pisano fece notare sperimentalmente come una pallina che si muova in un piano inclinato acceleri spontaneamente se in discesa, e decelerati in salita; pertanto in assenza di attriti o di cause devianti si può desumere che un oggetto in movimento sul piano orizzontale si muove per inerzia di moto uniforme.

Il percorso mentale di Galileo fa ritenere quindi che tutte le cose si muovono perennemente, ivi compresa la terra, se non ci sono forze che le fermano o le accelerano e che quindi lo stato di quiete è una costrizione di un moto spontaneo, che risulta privo di velocità.

Da queste osservazioni deriva, tra l'altro, che il cielo non può cadere sulla terra, perché nel vuoto non ci sono forze adatte a fermare il moto delle stelle e dei pianeti: il moto per inerzia è un fenomeno originato dalle interazioni di ciascuna parte dell'universo con il tutto.

Per controbattere l'osservazione che la terra a noi appare ferma, Galileo fece presente che la nostra percezione del moto è relativa; noi non possiamo percepire altro che la variazione del movimento di un corpo rispetto ad un altro, cioè non siamo in grado di conoscere le velocità assolute dei corpi, proprio perché non abbiamo una percezione assoluta dei tempi e dello spazio.

Il tempo di un orologio infatti si controlla con quello di un altro orologio, così come la percezione del moto nello spazio è relativa alla costanza di un punto di riferimento.

Possiamo osservare il fenomeno della relatività della percezione del moto quando ad esempio ci troviamo su un treno ad una stazione e si ha l'impressione che parta il nostro treno, mentre osservando un punto immobile di riferimento si scopre che in realtà si muove un altro treno che parte sull'altro binario.

Le velocità dei due corpi sono quindi direttamente proporzionali agli spazi percorsi ed inversamente proporzionali ai tempi di percorrenza

Da: *“Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano”*, G. Galilei.

*“Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; suspendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti.*

*Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso la poppa che verso la prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso poppa, che se voi fuste situati per l'opposito; le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi;*

*i pesci nella lor acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la susseguente parte del vaso, ma con pari agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso; e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte le parti, né mai accaderà che si riduchino verso la parete che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi per aria, saranno state separate; e se abbruciando alcuna lagrima d'incenso si farà un poco di fumo, vedrassi ascender in alto ed a guisa di nugoletta trattenervisi, e indifferentemente muoversi non più verso questa che quella parte.*

*E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'esser il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora, che per ciò dissi io che si stesse sotto coverta; ché quando si stesse di sopra e nell'aria aperta e non seguace del corso della nave, differenze più e men notabili si vedrebbero in alcuni de gli effetti nominati: e non è dubbio che il fumo resterebbe in dietro, quanto l'aria stessa; le mosche parimente e le farfalle, impedito dall'aria, non potrebbero seguir il moto della nave, quando da essa per spazio assai notevole si separassero; ma trattenendovisi vicine, perché la nave stessa, come di fabbrica anfrattuosa, porta seco parte dell'aria sua prossima, senza intoppo o fatica seguirebbon la nave, e per simil cagione veggiamo tal volta, nel correr la posta, le mosche importune e i tafani seguir i cavalli, volandogli ora in questa ed ora in quella parte del corpo; ma nelle gocciole cadenti pochissima sarebbe la differenza, e ne i salti e ne i proietti gravi, del tutto impercettibile”.*

La forma dell'opera è quella di una conversazione fra tre personaggi: Simplicio, difensore della scienza medievale e dunque ipotesi aristoteliche cui quella si richiama, Salviati, convinto sostenitore della nuova fisica e portavoce dello stesso Galilei, Sagredo, non ancora schierato che, con intelligenza e curiosità intellettuale pone domande, chiede chiarimenti, rende necessaria l'esplicitazione delle ragioni degli altri due interlocutori, indirizza verso nuovi sviluppi il ragionamento

A questo punto è importante introdurre qualche concetto matematico: un sistema di riferimento è una terna di assi cartesiani fissa. D'ora in poi quando diremo che due sistemi di riferimento sono in moto l'uno rispetto all'altro intenderemo che sono solidali con osservatori in moto l'uno rispetto all'altro (ad esempio il treno e la stazione).

Tornando all'esempio di prima se continui a sostenere che le cose cambierebbero se potessi guardare fuori...potremmo obiettare dicendo che quello che vedi guardando fuori dal finestrino è solo un paesaggio che scorre dietro di te.

Puoi da questo, dedurre con certezza che ti stai muovendo?

No davvero, potrebbe essere il paesaggio che si sta muovendo mentre tu sei assolutamente immobile.

Guardando fuori dal finestrino (v. quando è il treno a fianco che si muove) l'unica cosa che percepisci è uno spostamento del tuo treno relativamente all'altro, spostamento che può essere determinato in due modi del tutto equivalenti. O dal tuo treno che si muove in un verso, oppure dall'altro treno che si muove in verso opposto.

Sai dire, evitando di guardare la stazione, i pali della luce, ecc..., quale dei due treni si sta spostando in realtà?

La risposta è decisamente negativa se il moto avviene a velocità costante.

Se chiami S il tuo sistema di riferimento (ossia il sistema di riferimento solidale con il tuo treno), e S' l'altro sistema di riferimento (ossia quello solidale con l'altro treno), quello che davvero è successo

è che due punti  $x$  e  $x'$  (rispettivamente in  $S$  e in  $S'$ ), all'inizio coincidenti, dopo un pò di tempo sono invece distanti l'uno dall'altro.

L'allontanamento relativo di  $x$  e  $x'$  può essere giustificato altrettanto bene ipotizzando o un movimento di  $S$  in un verso, oppure un equivalente movimento di  $S'$  nel verso opposto.

Conclusione:

Due situazioni apparentemente diverse come la quiete e il moto rettilineo uniforme sono, dal punto di vista fisico, indistinguibili e perciò equivalenti.

Non è possibile sapere, in assoluto, quale sia la velocità di un sistema di riferimento o di un corpo, visto che non abbiamo indicatori fisici al riguardo. Non ha perciò senso parlare, in assoluto, di moto o di quiete di un sistema di riferimento o di un corpo. Ha senso parlare soltanto di moto o di quiete relativa di un sistema di riferimento rispetto ad un altro o di un corpo rispetto ad un sistema di riferimento.

Nel descrivere un moto relativo, ad esempio tra due sistemi di riferimento  $S$  e  $S'$ , è possibile ipotizzare  $S$  fermo e  $S'$  in moto rispetto a  $S$ , o, viceversa,  $S'$  fermo e  $S$  in moto rispetto a  $S'$ . In altre parole è possibile scegliere di osservare il moto relativo, indifferentemente da  $S$  (in questo caso, per noi, sarà fermo  $S$ ) o da  $S'$  (in questo caso, per noi, sarà fermo  $S'$ ).

Le descrizioni di uno stesso fenomeno fisico fornite dai diversi sistemi di riferimento sono sostanzialmente equivalenti.

Esaminiamo, allora più da vicino come uno stesso movimento viene "letto" da sistemi di riferimento in moto rettilineo uniforme l'uno rispetto all'altro, cercando di capire meglio in che senso tali "letture" possono essere ritenute equivalenti l'una, rispetto all'altra.

### **Legge di composizione delle velocità:**

Se  $S'$  è un sistema di riferimento in moto rettilineo uniforme con velocità  $\underline{u}$  rispetto a un altro sistema di riferimento  $S$ , e se  $\underline{v}'$  è la velocità di un punto materiale rispetto al sistema di riferimento  $S'$ , allora la velocità  $\underline{v}$  dello stesso punto materiale, rispetto al sistema di riferimento  $S$ , sarà data dalla relazione:

$$\underline{v} = \underline{v}' + \underline{u}$$

Nell'esempio precedente del treno  $\underline{u}$  era la velocità del treno rispetto alla Terra ossia un vettore orientato nel verso positivo dell'asse  $x$ , di modulo 10 km/h.

### **Le trasformazioni galileiane:**

Scriviamo ora le diverse leggi orarie di un generico punto materiale, visto da  $S$  e da  $S'$ .

Scegliamo i sistemi di riferimento  $S$  e  $S'$  in modo che abbiano origini coincidenti al tempo zero, che i loro assi siano paralleli e che la loro velocità relativa  $\underline{u}$  sia diretta, ad esempio, lungo l'asse  $x$  (una scelta astuta che semplifica i calcoli senza invalidare la generalità delle conclusioni...)

Consideriamo ora il caso in cui  $S'$  si muove, rispetto a  $S$  nel verso positivo dell'asse  $x$ .

Indichiamo con  $\underline{P}(t)$  e  $\underline{P}'(t)$  la posizione del punto materiale al generico istante  $t$  relativamente ai sistemi di riferimento  $S$  e  $S'$ ; tale posizione sarà ovviamente individuata da una terna di coordinate  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  in  $S$  e da una terna  $x'(t)$ ,  $y'(t)$ ,  $z'(t)$  in  $S'$ .

Poichè S e S' hanno origini coincidenti al tempo zero, le posizioni P(0) e P'(0) a quell'istante hanno uguali coordinate in S e in S'.

Dopo un tempo t, invece, il punto materiale avrà raggiunto una nuova posizione che avrà, certamente, qualunque sia stato il moto, uguali coordinate y e z in S e in S', poiché lungo queste due direzioni S e S' sono fermi l'uno rispetto all'altro.

Sarà perciò:

$$\begin{aligned}y'(t) &= y(t) \\z'(t) &= z(t)\end{aligned}$$

Nella direzione x, invece, interverrà la “correzione” determinata dal moto relativo di S e S'.

Prendiamo in considerazione due casi diversi di moto lungo la direzione x (e quindi abbandoniamo i vettori e lavoriamo con gli scalari!!!):

a) moto rettilineo uniforme

$$\begin{aligned}x(t) &= x(0) + v_x t \quad \text{rispetto a S,} \\x'(t) &= x(0) + (v_x - u)t = x(t) - ut \quad \text{rispetto a S'}\end{aligned}$$

b) moto uniformemente accelerato

$$\begin{aligned}x(t) &= x(0) + v_{0x}t + (1/2)a_x t^2 \quad \text{rispetto a S} \\x'(t) &= x(0) + (v_{0x} - u)t + (1/2)a_x t^2 = x(t) - ut \quad \text{rispetto a S'}\end{aligned}$$

Il moto a) è rettilineo uniforme sia in S che in S' e il moto b) uniformemente accelerato in S rimane tale anche in S'.

Se, in particolare, un moto rettilineo uniforme rispetto a S si trasforma, a causa della dipendenza della velocità iniziale dal sistema di riferimento, in una situazione di quiete rispetto a S sappiamo, grazie a Galilei, che le due situazioni sono in realtà equivalenti in quanto la quiete può essere pensata come “caso limite” di moto rettilineo uniforme ( $v = \text{cost} = 0$ )

In conclusione:

$$\begin{aligned}x'(t) &= x(t) - ut \\y'(t) &= y(t) \\z'(t) &= z(t) \\v' &= v - u\end{aligned}$$

### **Principio di relatività galileiano:**

Tutti i sistemi di riferimento in moto rettilineo uniforme l'uno rispetto all'altro sono equivalenti per quanto concerne la descrizione di un fenomeno di moto; non è quindi possibile associare alcun significato alle nozioni di moto o di quiete assoluti, ma solo a quelle di moto o quiete relativi.

Le trasformazioni galileiane rappresentano gli strumenti indispensabili per passare da un sistema di riferimento a un altro in moto rettilineo uniforme rispetto al primo: se si conoscono posizione e velocità di un punto materiale in uno dei due sistemi, saremo sempre in grado, grazie alle trasformazioni galileiane, di individuare posizione e velocità di quel punto nell'altro sistema, purché sia nota la velocità relativa dei due sistemi di riferimento.

Per capire il significato della relazione in tutta la sua evidenza, consideriamo il seguente problema che mette in risalto il carattere vettoriale della relazione stessa:

“Un fiume scorre con velocità di modulo  $u=3\text{km/h}$  rispetto alla riva. Da una sponda del fiume parte una barca che si dirige in direzione dell'altra sponda con velocità, rispetto all'acqua, di modulo  $v'=4\text{km/h}$ . Qual è la velocità  $\underline{v}$  della barca rispetto a un osservatore seduto sulla riva del fiume?”

Il vettore  $\underline{v}$  è dato, come dice la formula, dalla somma vettoriale dei vettori  $\underline{v}'$  e  $\underline{u}$  ossia l'osservatore seduto sulla riva vedrà la barca muoversi con una velocità di modulo pari a  $5\text{ km/h}$  e con un'inclinazione di circa  $53^\circ$  rispetto alla sponda del fiume da cui parte la barca.

## NEWTON

Nato a Woolsthorpe (1642), nella contea inglese del Lincolnshire, dopo aver frequentato le scuole superiori a Grantham, nel 1661 fu ammesso al Trinity College di Cambridge, dove iniziò gli studi matematici sotto la guida di Isaac Barrow. Conseguì nel 1665 il titolo accademico di baccelliere, in quello stesso anno, a causa di una pestilenza, fu costretto a far ritorno al paese natale. Qui, nel biennio 1665÷1666, concentrandosi a fondo nelle ricerche già avviate, elaborò il nucleo fondamentale di tutte le sue più importanti future scoperte matematiche e fisiche. Tornato a Cambridge nel 1667, due anni dopo assunse la cattedra di matematica che era già stata del suo maestro Barrow. Al 1672 risale la memoria, inviata alla Royal Society, sulla composizione della luce bianca. A partire dal 1679, approfondì gli studi di dinamica e cosmologia, che sfociarono poi nella stesura di una delle più grandi opere nella storia della scienza: i “*Philosophiae naturalis principia mathematica*” (Principi matematici della filosofia naturale), la cui prima edizione uscì nel 1687.

Successivamente alla pubblicazione dei Principia, Newton partecipò attivamente alla vita pubblica, venendo eletto deputato al parlamento e ricoprì in seguito la carica di direttore della zecca di Londra.

Nominato membro delle maggiori accademie scientifiche europee, presidente della Royal Society (1703) e baronetto (1705), Newton divenne la personalità scientifica più influente d'Inghilterra. Morì nel 1727 e venne sepolto nell'abbazia di Westminster.

L'importanza dell'opera di Newton nella storia della scienza è capitale. I suoi studi sono fondamentali per la nascita dell'ottica moderna, del calcolo infinitesimale, della meccanica che, non a caso, viene detta "newtoniana", nonché della cosmologia.

Con la sua opera, Newton fu in grado di unificare, in una sintesi armonica ed omogenea, il mondo terrestre con quello celeste: egli dimostrò, infatti, che i corpi che cadono "naturalmente" sulla Terra e i moti dei corpi celesti obbediscono ad una sola grande legge: la legge di gravitazione universale.

Alla radice di questa prodigiosa sintesi stavano dei presupposti di carattere filosofico, attinenti ad una generale considerazione del tempo e dello spazio, qualificati entrambi come "assoluti".

Il "tempo assoluto" era, secondo Newton, la "durata" indefinita entro cui si collocava la successione relativa degli eventi, mentre lo "spazio assoluto" costituiva, a sua volta, lo scenario che accoglieva il determinarsi di qualunque fenomeno fisico dell'universo.

In tal senso, lo spazio veniva a connotarsi nei termini di un infinito contenitore tridimensionale vuoto che accoglieva ogni cosa. Uno spazio vuoto era, dunque, per Newton, non solo ammissibile, ma anzi assolutamente imprescindibile ai fini della costruzione della nuova fisica, rappresentando la "vacuità" la caratteristica saliente della nozione stessa di spazio.

***Da : "Principi matematici della filosofia naturale", I. Newton***

*Spazio e tempo assoluti*

*"Fin qui è stato indicato in quale senso siano da intendere, nel seguito, parole non comunemente note. Non definisco, invece, tempo, spazio, luogo e moto, in quanto notissimi a tutti. Va notato, tuttavia, come comunemente non si concepiscano queste quantità che in relazione a cose sensibili. Di qui nascono i vari pregiudizi, per eliminare i quali conviene distinguere le medesime quantità in assolute e relative, vere e apparenti, matematiche e volgari.*

*I. 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; quello 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*

*II. Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile; 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; così la dimensione di uno spazio sotterraneo o aereo o celeste viene determinata dalla sua posizione rispetto alla Terra. Lo spazio assoluto e lo spazio relativo sono identici per grandezza e specie, ma non sempre permangono identici quanto al numero.*

#### *Il moto rispetto allo spazio assoluto*

*"Il moto assoluto è la traslazione di un corpo da un luogo assoluto in un luogo assoluto, il relativo da un luogo relativo in un luogo relativo. Così in una nave spinta dalle vele, il luogo relativo di un corpo è quella parte della nave in cui il corpo giace, ossia quella parte dell'intera cavità che il corpo riempie e che dunque si muove insieme alla nave: e la quiete relativa è la permanenza del corpo in quella medesima parte della nave o parte della cavità. Ma la quiete vera è la permanenza del corpo nella medesima parte di quello spazio immobile nella quale la stessa nave si muove insieme alla propria cavità e all'intero suo contenuto. Di conseguenza, se la Terra è realmente in quiete, il corpo che è in quiete relativa sulla nave, si muoverà di moto reale ed assoluto con la stessa velocità con la quale la nave si muove sulla Terra*

*Se invece si muove anche la Terra, il moto vero ed assoluto del corpo nascerà in parte dal moto vero della Terra nello spazio immobile, in parte dal movimento relativo della nave sulla Terra: e se anche il corpo si muove di moto relativo sulla nave, il suo moto vero nascerà in parte dal moto vero della Terra nello spazio immobile, in parte dai moti relativi sia della nave sulla Terra, sia del corpo sulla nave; da questi movimenti relativi nascerà il movimento relativo del corpo sulla Terra.*

*(Se quella parte della Terra, che la nave occupa, si muove verso oriente con una velocità di 10010 parti, e la nave viene trasportata dalle vele e dal vento verso occidente con una velocità di dieci parti; se, inoltre, un marinaio si muove verso oriente, sulla nave, con una velocità pari ad una parte: allora il marinaio si muoverà di moto vero e assoluto nello spazio immobile, verso oriente, con 10001 parti di velocità, e sulla Terra si muoverà di moto relativo, verso occidente, con nove parti di velocità.)*

### **Conclusione**

Dato il carattere introduttivo e collegato alle prossime conferenze della mia esposizione, piuttosto che concludere il discorso in sé, in attesa dei prossimi incontri vorrei proporre due interventi, uno di M. Friedman sui rapporti tra scienza e filosofia, l'altro di ... sulle implicazioni tecnologiche che mi paiono

significativi spunti di sviluppo e approfondimento dei temi presentati oggi.

SCIENZA E FILOSOFIA  
(Michael Friedman, su "Il Sole 24 ore")

In tutta la nostra storia intellettuale scienza e filosofia sono sempre state intimamente associate. Sono nate insieme, nell'antica Grecia, e insieme sono fiorite durante la rivoluzione scientifica del Cinquecento e del Seicento che ha inaugurato la scienza e la filosofia moderna come le pratichiamo oggi.

Per Galileo come per Cartesio, per esempio, enunciare una nuova concezione matematico-meccanica della natura era tanto importante quanto combattere la filosofia aristotelico-scolastica che faceva da sfondo alla nuova scienza della natura (e alla nuova filosofia). All'epoca infatti non esisteva ancora una differenziazione netta tra filosofia e scienza. I primi pensatori moderni come Cartesio e Leibniz hanno dato contributi fondamentali sia a quella che oggi viene detta filosofia sia alla nuova scienza nascente. L'assenza di distinzione risulta chiara dal fatto che si chiamasse ancora filosofia naturale quella che oggi per noi è la fisica, e che Newton intitolasse *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* quello che oggi è per noi un capolavoro di fisica matematica. Il nuovo quadro della natura dato da Galileo e da Cartesio divenne noto come filosofia meccanicistica. Invece che nei termini di "forme sostanziali" e "qualità occulte" invocati dalla scolastica aristotelica, tutti i cambiamenti naturali erano spiegati in termini di moti e di urti reciproci dei corpuscoli invisibili ed elementari che compongono la materia.

Tuttavia la fisica matematica di Newton sembrava rompere decisamente con la filosofia meccanicista, poiché ritraeva l'interazione gravitazionale come un'azione a distanza immediata attraverso lo spazio vuoto. Per i meccanicisti ogni interazione fisica doveva invece prodursi per urto o contatto, perciò deploravano che proprio Newton avesse introdotto una "qualità occulta", in questo caso un'attrazione primordiale. La fisica matematica di Newton sollevava problemi ancora più gravi: infatti, come si sa, Newton si richiama esplicitamente a concetti di spazio, tempo e moto assoluto. Dal punto di vista della filosofia meccanicistica, il moto e perciò anche lo spazio e il tempo sono soltanto relativi: il moto va sempre definito in relazione a un corpo materiale o a un sistema di riferimento. Come può lo spazio assoluto newtoniano, una sorta di grande "contenitore" vuoto in cui si trova la totalità dei corpi materiali, avere un senso razionale?

Nel Settecento, è questo il problema concettuale di base che fa da sfondo alla "filosofia trascendentale" di Immanuel Kant. Uno dei principali obiettivi della *Critica della ragion pura* era quello di mostrare che il modello relazionale di spazio e di moto introdotto da Leibniz era riconciliabile con la concezione assoluta di Newton. Nella soluzione data da Kant, lo spazio ha un'esistenza indipendente dalla materia, come voleva Newton, ma non è una sorta di entità metafisica, un grande "contenitore" infinito, che esiste al di là dei fenomeni fisici che conosciamo in natura. È invece una forma a priori della nostra esperienza percettiva, entro la quale ordiniamo i fenomeni di natura per trarne un senso razionale. La scienza naturale e quella che ora chiamiamo filosofia vengono chiaramente separate per la prima volta nella "filosofia trascendentale" di Kant.

Nel Settecento, per Kant come per chiunque altro, i *Principia* di Newton danno alla scienza la sua forma definitiva. Il compito precipuo della filosofia non è di aggiungere altro al suo contenuto, ma piuttosto di spiegare come sia possibile questa scienza - la scienza naturale newtoniana - e che cosa la renda un modello o un paradigma di una comprensione razionale della natura. Rispetto alla scienza naturale, la filosofia diventa una metadisciplina che ha per oggetto non i fenomeni di natura ma la scienza usata per descriverli, ed è questo che Kant intendeva nel definire "trascendentale" la propria filosofia.

Com'era prevedibile, l'Ottocento ha rimesso in discussione sia il paradigma newtoniano di scienza naturale sia la concezione kantiana di filosofia. Newton e Kant presumevano entrambi che lo spazio in cui la scienza naturale descrive il moto - in cui collochiamo i fenomeni celesti, per esempio - fosse descritto dalla geometria euclidea, l'unica esistente fino al 1830 circa. Ma l'arrivo delle geometrie non euclidee ha creato gravi problemi e per la fisica newtoniana e per la filosofia kantiana.

Per la prima, perché il suo quadro dello spazio-tempo è collocato nello spazio euclideo: la linea lungo la quale l'interazione gravitazionale istantanea si propaga nel vuoto è una retta euclidea. Per la "filosofia trascendentale" kantiana, la minaccia è ancora più grave. Kant presumeva che lo spazio euclideo in cui percepiamo i fenomeni di natura fosse una "forma a priori di intuizione" la cui struttura è data una volta per sempre dalla natura delle nostre facoltà cognitive: esiste perciò una sola geometria capace di descrivere questa struttura, che nessuna scoperta empirica può modificare.

Queste erano soltanto minacce concettuali, o "filosofiche", ma all'inizio del Novecento si realizzarono. Albert Einstein diede alla fisica matematica un nuovo paradigma, la teoria della relatività, che descrive spazio, tempo, moto e interazione entro un quadro non newtoniano, e il fenomeno della gravitazione con una geometria non euclidea e non come l'azione immediata a distanza di una forza. Lungi dall'essere una forma stabilita a priori della nostra intuizione dello spazio, la geometria euclidea non è nemmeno una descrizione veritiera della natura.

La particolare concezione che Kant aveva dato della filosofia basandosi, come abbiamo visto su una difesa razionale di una fisica specificamente newtoniana, non poteva essere giusta. Ma non ne consegue che fosse sbagliata la concezione kantiana del ruolo precipuo della filosofia quale metadisciplina "trascendentale" rispetto alla scienza.

Al contrario, i filosofi che per primi si sono dati il compito di fare l'apologia filosofica della fisica einsteiniana si collocano proprio nella tradizione kantiana. Kant voleva dimostrare che la fisica newtoniana era un modello o un paradigma della comprensione razionale della natura, e gli empiristi logici riuniti nel Circolo di Vienna hanno tentato di fare altrettanto per la fisica relativistica. Come Kant, ritenevano che rispetto alla scienza la filosofia fosse una metadisciplina, e la chiamarono *Wissenschaftslogik*.

A sua volta, il modello di filosofia scientifica trasmesso dagli empiristi logici ha dovuto lasciare il posto a un altro. La struttura delle rivoluzioni scientifiche di Thomas Kuhn, ha messo in discussione i modelli puramente logici della struttura della scienza e li ha sostituiti con uno modello storico e dinamico, secondo il quale la natura fondamentale della scienza è precisamente illustrata da trasformazioni concettuali rivoluzionarie - la transizione dalla fisica di Newton a quella di Einstein, per esempio - in cui un quadro o paradigma omnicomprensivo viene scalzato da un altro, radicalmente diverso. Il quadro della scienza dato da Kuhn è ora anch'esso il fulcro di una nuova disciplina accademica, detta storia e della filosofia della scienza, una metadisciplina che negli ultimi anni ha suscitato una sempre maggiore attenzione. Nella prospettiva essenzialmente storica dello sviluppo scientifico data da Kuhn, l'intima e necessaria interazione tra scienza e filosofia acquista un particolare risalto, soprattutto nelle grandi rivoluzioni scientifiche.

Nel corso della prima, nel Cinquecento e Seicento, la filosofia meccanicistica era essa stessa inscindibilmente radicata in un nuovo paradigma scientifico, nel tentativo fatto da Galileo e da Cartesio per sbaragliare una volta per sempre Aristotele e gli scolastici. Quando la filosofia meccanicistica è stata a sua volta compromessa dal nuovo paradigma fisico ideato da Newton, Kant ha provato il bisogno di mettere a punto un paradigma filosofico radicalmente nuovo: la "filosofia trascendentale". Il quadro di Newton-Kant si è logorato per tutto l'Ottocento fino a quando, nei primi anni del nostro secolo, la fisica ha conosciuto un'ulteriore trasformazione fondamentale con la teoria della relatività di Einstein, il nuovo paradigma fisico che ha portato alla filosofia dell'empirismo logico. E così via.

È chiaro quindi che né la scienza né la filosofia possono fare a meno l'una dell'altra. Nei momenti di profonda rivoluzione concettuale, la scienza ha un particolare bisogno della filosofia. Quando un

paradigma generalmente condiviso cede il posto a un altro o, per dirla con Kuhn, attraversa una "crisi" o passa da una fase di "scienza normale" a un'altra, abbiamo bisogno di una fonte di idee e di una guida situate a un livello diverso e per così dire metascientifico. Dobbiamo uscire dalla "scienza normale" per entrare nel regno di quella che oggi chiamiamo filosofia.

Lo stesso Einstein ha detto che non avrebbe mai potuto formulare la teoria della relatività senza lo stimolo e gli orientamenti forniti dalla filosofia scientifica dell'Ottocento, dalle idee di Helmholtz, Mach, e Poincaré nate nel quadro della sintesi di Newton e Kant. Non c'è da meravigliarsi quindi se nella nota collana editoriale "Library of Living Philosophers", il volume dedicato a Einstein ha per titolo Albert Einstein: Philosopher-Scientist. Quando e come avverrà la prossima grande rivoluzione scientifica? Non lo sappiamo, ma sappiamo che non può avvenire senza la fitta interazione tra scienza e filosofia che ha contrassegnato in maniera indelebile la nostra vita intellettuale dalla prima rivoluzione scientifica a oggi. Perciò la disciplina chiamata storia e filosofia della scienza richiama un'attenzione crescente al di qua e al di là dell'Atlantico: è importante non solo per capire il nostro passato ma anche per valutare il meglio possibile il nostro futuro intellettuale.

## SCIENZA E TECNOLOGIA

Ancora oggi l'orologio ci abitua ad una misura del tempo organizzata come una successione di periodi numerabili, in quanto equivalenti, la cui continua somma ci indica il passare del tempo.

Il significato di tale misurazione appartiene alla concezione temporale idealizzata dalla fisica classica, per la quale lo spazio ed il tempo sono assoluti, anziché relativi; lo spazio infatti è considerato in guisa di un contenitore vuoto statico ed infinito, nel quale un tempo matematico ed astratto scorre linearmente ed uniformemente senza nessuna interazione con qualsiasi evento esterno

Dato che oggi il sistema elettronico di comunicazioni ci permette di delocalizzare la nostra attenzione in una dimensione globale, è importante capire la traccia della evoluzione dei concetti di spazio e tempo, per contemporaneizzarla in modo che sia utile a comprendere le condizioni di vita e di sviluppo dell'era digitale.

Le concezioni relativistiche che si sono affermate nella scienza del secolo scorso hanno diametralmente rovesciato le precedenti concezioni della fisica classica.

Il tempo, come lo misuriamo con orologi stazionari in base ad una successione di durate temporali prestabilite, ha un valore significativo del tutto convenzionale, appropriato soltanto ad una osservazione a dimensione locale di eventi macroscopici sensorialmente accessibili, tali da poter considerare spazio e tempo, come in possesso di un carattere assoluto e pertanto estraneo alle reali dimensioni relativistiche dei fenomeni naturali.

L'impostazione causale è del tutto arbitraria se viene estesa al di fuori di un universo meccanico locale, proprio in quanto fa assumere l'idea di una generale relazione esatta tra spazio tempo e causalità, che in ultima analisi significa concepire il futuro perennemente come prosecuzione lineare degli eventi passati, anziché essere per sua natura indeterminato, proprio in quanto in quanto viene ad essere funzione delle azioni che non sono la sintesi di attività simultanee e compresenti, ma che in vero possono appartenere sia alla sfera del passato, ma anche e quella della intuizione percettiva ovvero dell'immaginazione del futuro.

Oggi è necessario il superamento della concezione dualistica dello spazio e del tempo, considerati entità distinte di per se stesse esistenti, indipendentemente cioè dalle attività di percezione del soggetto.

Diviene assurdo mantenere una interpretazione dell'evento come se fosse una semplice estensione in modo sensoriale localizzato e simultaneo, al quale da tempo siamo stati abituati a pensare come fosse

reale .

La mancanza di coerenza tra concezioni e condizioni di vita provoca una deprivazione, che può generare intense ed estese dissociazioni psichiche tra noi e il mondo di informazione globale in cui siano immersi.

Errori possibili:

- considerare il movimento solamente come un trasferimento di forme invarianti osservabili entro una dimensione localizzata;
- scambiare la distanza, che dipende dalla velocità del moto, con la misura statica della lunghezza tra due eventi;
- fermarsi al tempo relativistico, rigido e linearmente immutabile, anziché riconoscere che esso diviene, con la relatività spazio-temporale, intrinsecamente flessibile essendo relativo alla percezione dell'osservatore.

Come esempio di inapplicabilità delle concezioni statiche nell'ambito di eventi dinamici, si consideri la corrente elettrica.

Le cariche elettriche statiche degli elettroni, essendo tutte negative, dovrebbero respingersi creando una resistenza molto intensa al fluire delle cariche in un filo metallico; se infatti esse fossero concepite come il trasporto di una successione di singole particelle statiche, la resistenza al moto sarebbe elevatissima; ma effetti induttivi della dinamica di sviluppo del campo elettromagnetico variano la resistenza prodotta dalle cariche elettriche dello stesso segno, diminuendo la resistenza media del flusso di elettricità.

Il campo elettromagnetico non è infatti definibile come somma delle proprietà statiche di singole particelle cariche, ma viene a dipendere dalle loro interazioni dinamiche per le quali spazio e tempo appartengono allo stesso indistinguibile insieme.