

STORIA DELLA FISICA

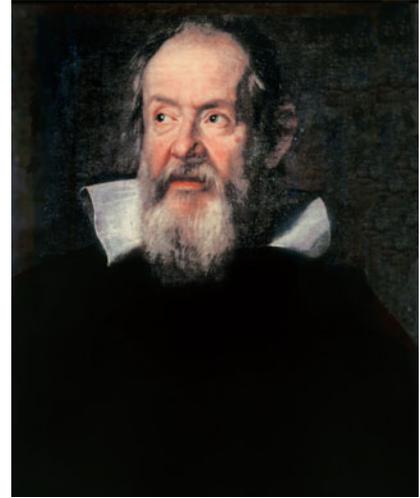
Galileo e la velocità della luce

All'inizio del XVII secolo molti scienziati pensavano che la luce non impiegasse intervalli di tempo, come tutte le altre cose, per propagarsi nello spazio, e che quindi bastasse accendere una lanterna per vederla risplendere all'istante in ogni luogo. Galileo Galilei aveva intuito che le cose non stavano esattamente così e ideò un esperimento con il quale intendeva misurare il tempo impiegato dalla luce per percorrere la distanza tra due colline.

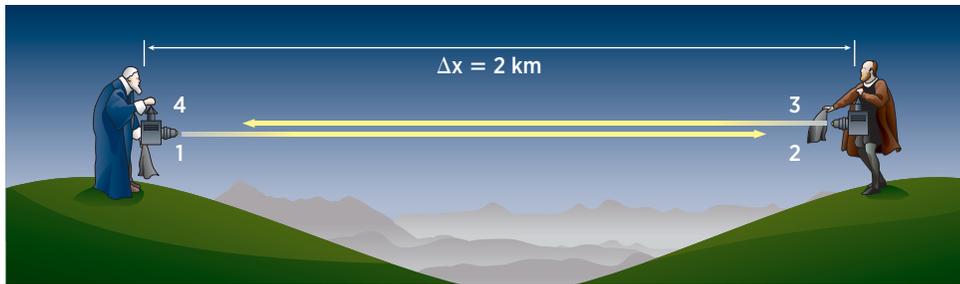
Salì su una collina con una lanterna coperta e inviò il suo assistente su un'altra collina a circa 2 chilometri di distanza. Quando l'assistente vide illuminarsi la lanterna di Galileo scoprì prontamente la sua: dal ritardo tra la ricezione del secondo segnale luminoso e la partenza del primo Galilei pensava di poter ricavare la velocità di propagazione della luce tra le due colline. In linea di principio il ragionamento era corretto – infatti la luce impiegava un certo tempo per partire dalla prima collina, raggiungere la seconda collina e tornare indietro –, ma di fatto era impossibile misurare un tempo tanto breve con gli strumenti dell'epoca.

Inoltre, in un calcolo del genere va considerato il tempo di risposta allo stimolo dello sperimentatore. Se invece di lampi di luce i due si fossero lanciati una palla l'errore sarebbe stato trascurabile, ma la luce si propaga a una velocità di circa 300 000 km/s, per cui il tempo che impiegò a compiere il percorso di andata e ritorno tra le colline era addirittura molto più piccolo del tempo impiegato da Galileo e dal suo assistente per reagire ai segnali luminosi.

L'esperimento ovviamente non riuscì, ma il suo fondamento era corretto e fu utilizzato con successo circa due secoli dopo dal francese Hippolyte Fizeau, con un apparato sperimentale più adatto alla delicatezza della misura.



Justus Suttermans, *Ritratto di Galileo Galilei*, 1636.



1. Galileo scopre la lanterna.
2. L'assistente vede la luce della lanterna di Galileo.
3. L'assistente scopre la lanterna.
4. Galileo vede la luce della lanterna dell'assistente.

L'intervallo di tempo totale è dato dalla somma dei tempi di percorrenze della luce avanti e indietro tra le colline, più i tempi di risposta agli stimoli degli sperimentatori.

DOMANDA Quanto dovrebbero essere distanti due colline affinché il tempo di percorrenza della luce tra esse sia di 3 secondi, cioè circa 10 volte maggiore rispetto a un ipotetico tempo di risposta allo stimolo stimato in 0,3 s per ciascun osservatore?

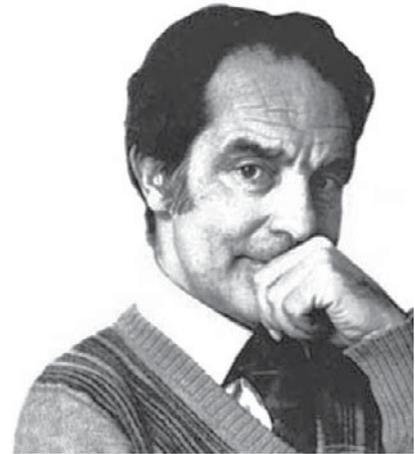
LETTERATURA

Gli anni-luce

Una notte osservavo come al solito il cielo con il mio telescopio. Notai che da una galassia lontana cento milioni d'anni-luce sporgeva un cartello. C'era scritto TI HO VISTO. [...] il mio E CON CIÒ? replicava al loro TI HO VISTO di duecento milioni di anni prima, ma non mi parve opportuno inserire nel cartello riferimenti più espliciti, perché se la memoria di quella giornata, passati tre milioni di secoli, si fosse andata offuscando, non volevo essere proprio io a rinfrescarla.

(Italo Calvino, *Le Cosmicomiche*, 1965)

Nel racconto *Gli anni-luce* lo scrittore Italo Calvino ha giocato con i concetti di spazio e di tempo creando una situazione paradossale, in cui abitanti di mondi lontani comunicano tra galassie per mezzo di surreali cartelli. Nell'arco di una vita umana sarebbe impossibile scambiare messaggi di qualsiasi tipo fra galassie, perché la luce impiega milioni di anni per raggiungere le galassie più vicine e nulla può viaggiare a una velocità maggiore di quella della luce nel vuoto.



Lo scrittore Italo Calvino in un celebre ritratto fotografico.

La velocità della luce

La velocità di propagazione della luce nel vuoto è una costante chiamata c , dal latino *celeritas*, e vale circa 300 000 km/s. In qualsiasi sistema di riferimento si misuri questo valore non cambia, a differenza di quanto accade per tutti gli altri oggetti in movimento. Se corriamo lungo il corridoio di un treno nella stessa direzione di marcia, un osservatore fermo alla stazione ci vedrebbe correre più velocemente del treno, mentre alla luce questo non succede mai: per qualsiasi osservatore la velocità della luce è sempre 300 000 km/s. Questo strano fatto è ben descritto dalla teoria della relatività ristretta di Einstein e rende possibile misurare le lunghezze avendo a disposizione un orologio e conoscendo la legge oraria del moto uniforme:

$$\Delta s = c \Delta t$$

Gli anni-luce

L'anno-luce è un'unità di misura di lunghezze ed è pari alla distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un anno:

$$\begin{aligned} 1 \text{ al} &= c \cdot 1 \text{ anno} \\ 1 \text{ al} &= 300\,000 \text{ km/s} \cdot 365 \text{ giorni} \cdot 24 \text{ h/giorno} \cdot 3600 \text{ s/h} = \\ &= 9,5 \times 10^{12} \text{ km} \end{aligned}$$

1 anno-luce corrisponde a circa 9500 miliardi di chilometri. Per misurare distanze terrestri non è molto pratico usare un orologio, perché si dovrebbero usare sottomultipli del secondo per tutte le distanze inferiori a 300 000 km; ma basta alzare gli occhi al cielo durante una notte stellata per vedere oggetti così lontani che la loro luce impiega moltissimi anni a raggiungerci.



La galassia Andromeda.

Domanda Andromeda, la galassia più vicina a noi, si trova a circa 2,5 milioni di anni-luce. Che cosa vedremmo se potessimo osservare la Terra da quella distanza

CON GLI OCCHI DI UN FISICO

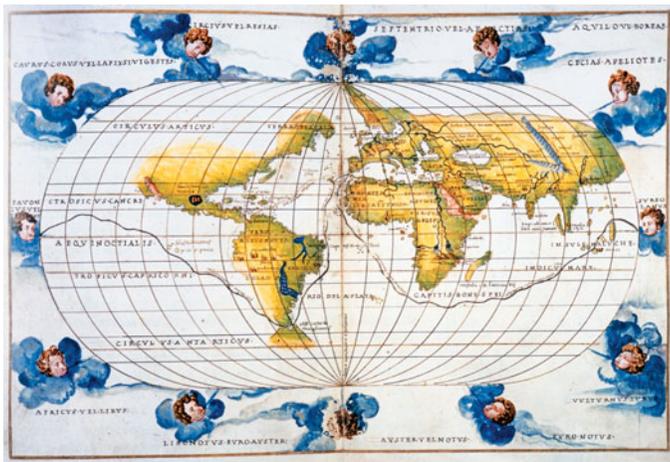
Velocità e progresso tecnologico

Intorno al mondo

Il 10 agosto 1519, dal porto fluviale di Siviglia, salparono 5 navi con un equipaggio di circa 250 uomini, guidati da Ferdinando Magellano. La spedizione impiegò tre anni a compiere la straordinaria impresa del primo giro del mondo della storia. Il 6 settembre del 1522, infatti, i 18 superstiti, a bordo dell'unica nave rimasta, rientrarono in Spagna.

Nel 1870 furono sufficienti 80 giorni per viaggiare intorno alla Terra e tornare al punto di partenza, con diversi mezzi, tra cui la mongolfiera: protagonista l'eccentrico miliardario statunitense George Francis Train, probabile ispiratore del celeberrimo romanzo di Jules Verne *Il giro del mondo in 80 giorni*.

L'enorme differenza tra i due viaggi è da ricercare nella differenza tra i mezzi di trasporto utilizzati: nel XVI secolo i viaggi via terra avvenivano utilizzando la trazione animale e richiedevano tempi lunghissimi, e perciò si preferiva la navigazione. Nel XIX secolo si affermò il motore a vapore nella navigazione, ma soprattutto nel trasporto ferroviario, decisamente più veloce delle diligence a cavalli. In questo modo era possibile percorrere lunghe distanze via terra in un tempo concorrenziale rispetto all'eventuale circumnavigazione del continente.



Il geografo italiano Antonio Pigafetta, testimone dell'impresa di Magellano, ne descrisse dettagliatamente in viaggio nella *Relazione del primo viaggio intorno al mondo* (1524).

Una gara emblematica

Nel 1830 fu inaugurata la prima linea ferroviaria per merci e passeggeri degli Stati Uniti, ma i dirigenti della compagnia erano propensi ad affidare i trasporti a carrozze trainate da cavalli piuttosto che a locomotive a vapore, come accadeva in Inghilterra. Il loro scetticismo verso le nuove macchine si dissolse il 28 agosto dello stesso anno, quando una piccola locomotiva costruita da Peter Cooper, chiamata Tom Thumb, partecipò a una gara di corsa contro una diligenza a cavalli.

Durante la gara il motore ebbe dei problemi e la Tom Thumb non ottenne la vittoria, ma era comunque ben chiara la superiorità della macchina rispetto alla trazione animale: le ferrovie iniziarono immediatamente a diffondersi negli Stati Uniti con le locomotive a vapore.



Le locomotive a vapore hanno rivoluzionato il trasporto terrestre riducendo notevolmente i tempi di percorrenza.

PAROLA CHIAVE **Velocità**

Comunemente diciamo che è «più veloce» quel mezzo che – a parità di tragitto – impiega meno tempo a percorrerlo; in fisica diciamo che la sua velocità media è maggiore.

- ▶ Qual è la definizione di velocità media?
- ▶ Qual è l'unità di misura della velocità media nel Sistema Internazionale?

Sempre più veloci

In seguito a una trovata editoriale per incrementare le vendite del giornale *New York World*, nel 1889 le due giornaliste americane Nellie Bly ed Elizabeth Bisland furono inviate a partecipare a una gara di velocità intorno al mondo, da effettuarsi sullo stesso percorso ma in senso opposto. Vinse Bly, dopo 72 giorni, 6 ore e 11 minuti di viaggio, percorse per nave, in treno e a cavallo.

Negli anni successivi numerosi altri personaggi sfidarono il tempo in gare e imprese intorno al mondo, con mezzi sempre più efficienti e veloci. Il passo decisivo fu l'introduzione – negli anni Venti del XX secolo – degli aeroplani, con i quali i tempi di viaggio si ridussero significativamente.

Nel 1957 tre aerei militari statunitensi, bombardieri nucleari B-52, volarono ininterrottamente intorno al globo per 45 ore e 19 minuti. In questo caso l'obiettivo non era battere un record o vincere una gara, ma dimostrare al nemico la superiorità tecnologica e militare.

Jurij Gagarin, con una velocità media di circa 27 000 km/h, girò letteralmente intorno al pianeta raggiungendo un'altezza di oltre 300 km dalla superficie: impiegò 89 minuti. Era il 12 aprile 1961 e si apriva l'era dei viaggi dell'uomo nello spazio.



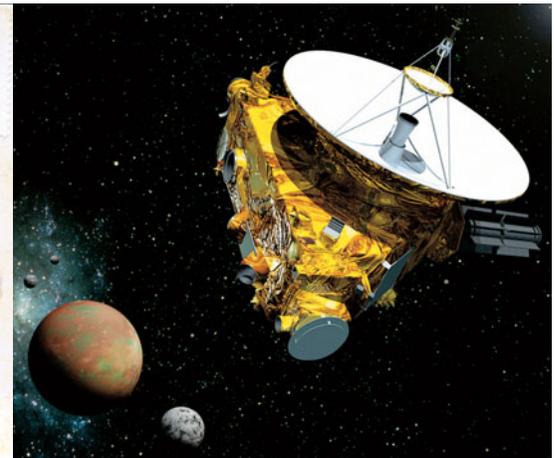
Jurij Gagarin fu il primo uomo a volare nello spazio, il 12 aprile 1961.

Verso nuove frontiere

Oggi non siamo più interessati a gare di velocità intorno al mondo, e siamo abituati a spostarci in aereo in poche ore da un punto all'altro del pianeta, senza più stupircene. Le problematiche energetiche e ambientali hanno tuttavia fatto emergere la necessità di associare al progresso una nuova motivazione: la sostenibilità.

I satelliti ci forniscono immagini di ogni angolo della Terra, e non abbiamo bisogno di imbarcarci in imprese epiche per scoprire luoghi inesplorati: la nostra curiosità geografica si è spostata nello spazio interplanetario. Nella progettazione dei viaggi spaziali la fisica la fa da padrona: le traiettorie e le leggi orarie delle sonde sono matematicamente determinate. Solo in questo modo, infatti, possiamo essere ragionevolmente sicuri che i veicoli spaziali passino nelle posizioni desiderate nell'istante in cui, per esempio, sta passando di lì un pianeta da esplorare.

Il 19 gennaio 2006 la sonda *New Horizons* ha iniziato il suo viaggio verso i confini del Sistema Solare. La sua legge oraria è stata accuratamente programmata e si prevede che raggiungerà Plutone il 14 luglio 2015.



La sonda *New Horizons*.

Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute (JHU/APL/SwRI)

PAROLA CHIAVE

Legge oraria

La traiettoria di Gagarin a bordo della navicella spaziale Vostok 1 era un'ellisse, matematicamente determinata da un'equazione.

- Come si chiama l'equazione matematica che fornisce istante per istante la posizione della Vostok 1 sull'ellisse?

PAROLA CHIAVE

Moto rettilineo uniforme

Scrivi un testo di 10 righe in cui confronti i viaggi spaziali con i viaggi terrestri, mettendo in evidenza le diverse possibilità di utilizzo della matematica per la loro descrizione.

- In quale dei due casi è necessario fare maggiori approssimazioni?