

## Il concetto di forza attraverso i secoli

Ricerca effettuata dagli alunni Colacurcio Vito , Lamberti Alfredo , Nargi Pietro , Porfido Barbara , Russo Antonio della classe IIIB , coordinati dal docente Salvatore Amico

Scoprire perché un corpo si muove è un problema affascinante che ha impegnato scienziati e filosofi di tutti i tempi . Di solito pensiamo che un corpo si muove perché su di esso agisce una forza . Ma cosa dobbiamo intendere per forza che agisce su un corpo ? L'esperienza fisica più vicina all'idea intuitiva di forza è quella associata allo sforzo muscolare . Ci possiamo chiedere quale effetto determina una forza che agisce su un corpo . Determina una velocità come sostiene Aristotele o determina una accelerazione come sostengono Galileo e Newton ? L'origine della forza è dovuta alla presenza di altri corpi o proviene da un qualche Motore Immobile di aristotelica memoria ? Possiamo porci la domanda se una forza agisce sempre e solo per contatto come quando si spinge un corpo , o anche a distanza , come sembra agire la gravità .Le forze gravitazionali come quelle magnetiche che si manifestano fra due calamite sembrano essere forze che agiscono a distanza . Tuttavia sorge spontanea la seguente domanda : un corpo avverte la presenza di un altro corpo senza che nessun agente fisico li colleghi in qualche modo , oppure tale azione si trasmette attraverso un mezzo del quale dobbiamo individuare le proprietà fisiche ? Passiamo rapidamente in rassegna le principali soluzioni che vennero storicamente date a questi problemi . Per i filosofi greci Talete , Anassimandro e Anassimene la natura è dotata di vita , è un organismo vivente e perciò la ragione del moto è in essa . Il moto è un fatto naturale , che non ha bisogno di spiegazioni . Empedocle afferma che esistono quattro elementi : la terra , l'acqua , l'aria ed il fuoco e due forze : l'amicizia che è responsabile della forza di attrazione e la discordia che è responsabile della forza di repulsione . Per Platone la materia ha un'anima e la forza è intrinseca alla materia . Per spiegare la gravità egli afferma che esiste una tendenza del simile ad unirsi col simile : la terra è attratta dalla terra , l'acqua dall'acqua . Per Aristotele il principio fondamentale che regola i moti naturali è la tendenza che presentano i quattro elementi costitutivi dei corpi ( terra , aria , acqua , fuoco ) a ritornare alla propria sfera di appartenenza . Di tutta la fisica aristotelica , la dinamica è quella che ha esercitato sul progresso scientifico l'influsso non solo più nocivo ma anche più dispotico . Aristotele ammette l'impossibilità dei corpi inanimati di muoversi senza l'intervento esterno e costante di un motore . Ne consegue che un corpo scagliato con violenza persiste nel suo moto forzato solo se l'aria che ha dietro di sé , continui a spingerlo nella direzione data .

Per Aristotele il moto è diviso in naturale e violento . Il moto naturale comprende il moto circolare uniforme dei corpi celesti e , sulla Terra , il moto rettilineo verticale governato dalla natura dei quattro elementi fondamentali .Tutti gli altri moti vengono classificati come violenti per i quali è richiesto un agente motore . I corpi inanimati necessitano di una forza applicata per contatto diretto e di una resistenza opposta dal mezzo in cui si muovono .

La loro velocità risulta direttamente proporzionale alla prima , ed inversamente proporzionale alla seconda . Da un punto di vista matematico , secondo le vedute moderne , possiamo scrivere :

$$v \propto \frac{F}{R} = \frac{\text{forza agente}}{\text{forza resistente}}$$

dove  $v$  è la velocità con la quale si muove il corpo ,  $F$  è la forza che agisce sul corpo ,  $R$  è la resistenza del mezzo nel quale il corpo si muove .

$F = 0 \Rightarrow v = 0$  Un corpo non soggetto a forze sta fermo

$R = 0 \Rightarrow v = \infty$  Questo risultato viene usato come prova dell'impossibilità dell'esistenza del vuoto .

Concludendo possiamo affermare che per Aristotele la forza su un corpo inanimato può agire in due modi , per trazione o per spinta . Esistono solo forze di contatto . Aristotele non concepisce l'azione a distanza . Per Aristotele l'effetto di una forza è una velocità e non una accelerazione come afferma la legge fondamentale di Newton . Democrito afferma che il vuoto esiste ed è infinito e Lucrezio aggiunge che in esso tutti i corpi cadono con la stessa velocità .

Ipparco rimuove la necessità di una forza applicata in continuazione come condizione per il moto ,ma mantiene la velocità proporzionale alla forza . Giovanni Filopono , detto il Grammatico , confuta l'idea che la resistenza del mezzo sia necessaria al moto e considera la velocità del corpo non più proporzionale ad  $\frac{F}{R}$  bensì ad  $F - R$  . Per Copernico la gravità è

dovuta alla simpatia in virtù della quale le varie parti tendono ad unirsi al tutto al quale appartengono . E' evidente l'origine platonica di questa teoria . Nel 500 si forma l'idea che i molteplici corpi presenti nell ' Uinverso si influenzano reciprocamente e si perviene alla concezione che le leggi naturali sono immanenti ed autonome rispetto alle influenze umane o divine . Telesio introduce la forza come causa di moto e di quiete .Per Telesio tutte le forze attive sono dilatazioni o contrazione e considera le forze come entità fisiche . Ciò che manca nel 500 è una descrizione matematica del concetto di forza . Il salto qualitativo nella concezione della forza si ha con Keplero , il quale tenta di formulare una teoria quantitativa della forza .

Keplero con la sua seconda legge afferma che la velocità di un pianeta è inversamente proporzionale alla distanza dal Sole e tutto questo è dovuto all'azione di una forza . Egli individua questa forza nell'attrazione da parte del Sole . La natura di questa forza è di origine magnetica : i pianeti sono magneti e sono attratti dal Sole in virtù dell'azione di una forza magnetica . Galileo considera la gravità come una tendenza ad avvicinarsi al centro del mondo . Però dichiara di non volere indagare sull'essenza dei concetti , ma piuttosto descrivere matematicamente le relazioni fra le grandezze fisiche . Indagando sulle modalità di azione delle forze , concepisce l'idea che questa consista nell'aumento di velocità , preparando il terreno alla concezione moderna di forza come causa della variazione della velocità nel tempo . Egli giunge alla formulazione del principio d'inerzia dimostrando che la velocità non presuppone più la presenza di una forza . Galileo formula il principio d'inerzia nella seguente maniera : << *a principiar il moto è ben necessario il movente , a a continuarlo basta il non aver contrasto* >> . Perviene a questo rivoluzionario risultato attraverso il seguente ragionamento . Poiché un corpo su un piano inclinato è accelerato quando si muove verso il basso e decelerato quando si muove verso l'alto , il suo moto lungo un piano orizzontale non può essere né accelerato né decelerato e quindi deve continuare indefinitamente nel tempo con velocità vettoriale costante ( in assenza di attrito ) .

La contrapposizione galileiana alla fisica aristotelica è condensata nei seguenti sette punti :

- 01) Per Aristotele i corpi corruttibili tendono a perdere il moto ad essi comunicato se nessuna causa esterna agisce sopra di essi . Per Galileo i corpi tendono a conservare il moto ricevuto e non possono modificarlo né in grandezza , né in direzione senza l'azione di una causa esterna .
- 02) Per Aristotele il moto circolare dei pianeti si conserva immutabile perché è un moto perfetto ed i pianeti sono incorruttibili . Per Galileo il moto circolare muta continuamente in direzione ed è dovuto all'azione continua di una causa esterna , cioè all'azione di una forza centripeta .
- 03) Aristotele sostiene che anche il moto rettilineo uniforme è dovuto ad una forza . Galileo afferma il contrario sostenendo che il moto rettilineo uniforme non presuppone la presenza di una forza la quale , se agisce su un corpo libero di muoversi in tutte le direzioni , determina sempre una accelerazione .
- 04) Per Aristotele il moto dei gravi è un moto rettilineo uniforme , per Galileo è un moto rettilineo naturalmente accelerato .

05) Per Aristotele l'aria , che si chiude sul grave cadente , gli imprime ad ogni istante un aumento di velocità . Per Galileo l'aria , entro la quale il corpo si muove , determina una diminuzione della velocità del corpo .

06) Per Aristotele la velocità di caduta è direttamente proporzionale al peso dei gravi cadenti . Per Galileo la velocità di caduta è uguale per tutti i corpi , qualunque sia il suo peso .

07) Per Aristotele la velocità di caduta è direttamente proporzionale allo spazio percorso . Per Galileo la velocità di caduta è direttamente proporzionale al tempo trascorso .

In generale , nella prima metà del seicento , gli scienziati sono convinti che il Sole esercita sui pianeti una forza attrattiva , ma non riescono a spiegarsi perché essi non cadano sul Sole . Soltanto Newton , che conferma e precisa rigorosamente il tipo di attrazione che il Sole esercita sui pianeti , riuscirà a spiegare il motivo per il quale i pianeti non cadono sul Sole . I pianeti sono soggetti a forze gravitazionali di natura attrattiva che sono in parte tangenziali ed in parte centripete . La sintesi e la nuova formulazione del concetto di forza si hanno con Newton . L'inerzia è concepita da Newton come una forza interna al corpo che si oppone al moto : nasce appena è applicata una forza esterna e diventa impulso se il corpo è già in moto . La forza esterna impressa è definita come azione che modifica la quantità di moto di un corpo e determina su di esso una accelerazione e non una velocità come aveva sostenuto Aristotele . La terza legge stabilisce che la forza si manifesta in modo duale come azione e come reazione . Egli inoltre precisa che le forze sono grandezze vettoriali e come tali si compongono con la regola del parallelogramma .

#### **Prima legge della dinamica o principio d'inerzia**

Ogni corpo non soggetto a forze o soggetto ad un sistema di forze a risultante nullo o sta fermo o si muove di moto rettilineo uniforme .

#### **Seconda legge della dinamica o legge fondamentale della dinamica**

Ogni forza  $\vec{F}$  , applicata ad un corpo libero di muoversi in tutte le direzioni , produce un'accelerazione  $\vec{a}$  del corpo , il cui modulo è direttamente proporzionale all'intensità della forza e inversamente proporzionale alla massa inerziale  $m$  del corpo . La forza agente  $\vec{F}$  e l'accelerazione  $\vec{a}$  prodotta hanno la stessa direzione e lo stesso verso e solo legate tra loro dalla seguente relazione vettoriale :  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

#### **Terza legge della dinamica o principio di azione e reazione**

Se un corpo A esercita sul corpo B una forza  $\vec{F}_{BA}$  , allora il corpo B esercita sul corpo A una forza  $\vec{F}_{AB}$  uguale e contraria .  $\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$  cioè  $\vec{F}_{BA} + \vec{F}_{AB} = \vec{0}$

Alla legge di gravitazione universale espressa dalla relazione  $F = G \cdot \frac{Mm}{r^2}$  Newton giunse confrontando l'accelerazione centripeta della Luna con l'accelerazione di gravità di un corpo sulla superficie terrestre . Nel 1687 Newton , nell'opera Principia Mathematica , così si esprime : <<.....Dedussi che le forze che mantengono i pianeti nelle loro orbite dovessero essere inversamente proporzionali al quadrato delle loro distanze dai centri attorno ai quali ruotano : quindi paragonai la forza necessaria a mantenere la Luna nella sua orbita con la forza di gravità alla superficie terrestre e trovai che corrispondono abbastanza bene . >>

Con la sua concezione Newton non solo sciolse l'enigma millenario del moto dei pianeti , ma spiegò altri importanti fenomeni . Come l'azione dell'accelerazione gravitazionale terrestre si estende fino alla Luna e ad ogni altra parte dell'universo , così debbono giungere ovunque , anche sulla Terra , le accelerazioni provenienti da altri corpi celesti ai quali dobbiamo attribuire le stesse caratteristiche . La gravitazione non è un fenomeno locale ma un fenomeno generale , valido in ogni punto dell'universo e per tutti i corpi dotati di massa . Il concetto intuitivo di forza come origine del moto di un corpo sembra imèlicare la presenza di un mezzo in grado di trasmettere l'azione della forza da una posizione iniziale ad una finale senza soluzione di continuità .Questo avviene sicuramente quando spingiamo un corpo . Questo in sintonia con una massima della scolastica secondo la quale << nihil agit in distans nisi prius agit in medium >>. In che modo si esercita la forza di attrazione tra due corpi quando questi non sono a diretto contatto come avviene per il Sole e la Terra ? Newton non riesce a chiarire la natura della forza gravitazionale e non riesce a spiegare come essa possa agire istantaneamente ed a distanza senza un contatto diretto . Circa la natura della forza gravitazionale Newton afferma quanto segue : << io non pretendo di conoscere la causa della gravità ( hypotheses non fingo )... >> Secondo Newton il modello matematico che esprime una legge fisica non deve essere spiegato . La sua validità poggia sulla sua capacità di correlare dei fatti empirici . Possiamo dire che Newton rifugge le ipotesi gratuite e, sebbene in cuor suo sia convinto che l'azione tra un corpo ed un altro debba essere mediata da un qualche ente fisico , afferma che importante è l'apparato matematico , capace di correlare i fenomeni osservati . Noi oggi sappiamo che l'ente fisico che trasmette l'azione a distanza è il campo gravitazionale , cioè la perturbazione fisica che qualsiasi massa genera nello spazio circostante . Secondo le vedute moderne il contatto diretto c'è ed è dovuto,secondo la teoria del campo gravitazionale , alla modifica delle proprietà fisiche determinata dalla presenza nello spazio delle masse dei corpi .

Infatti un corpo qualsiasi , per il semplice fatto di possedere una massa, genera nello spazio circostante una perturbazione fisica ( il campo gravitazionale ) che si propaga istantaneamente in tutte le direzioni ed anche nel vuoto . Questa perturbazione, quando investe un altro corpo di massa  $m$  ,si manifesta come la forza gravitazionale espressa dalla formula  $F = G \cdot \frac{Mm}{r^2}$  .

Ecco così spiegata la forza gravitazionale che agisce istantaneamente e ,solo apparentemente , a distanza . Il contatto tra i due corpi c'è ed è dovuto al campo gravitazionale presente nello spazio che contiene i corpi che interagiscono . Concludendo possiamo affermare che Newton definisce in modo preciso i concetti di forza e massa rendendo la Meccanica ,le cui fondamenta sono le tre leggi che portano il suo nome, una delle teorie fisiche più complete e perfette , sia per il suo coerente assetto logico , che per le molteplici verifiche sperimentali cui ha dato luogo . .Egli immagina che esistano uno spazio ed un tempo assoluti , uguali per tutti gli osservatori e non influenzati dalla distribuzione della materia . Le equazioni del moto sono completamente valide solo se riferite allo spazio assoluto . Per Leibniz il prodotto  $m \cdot v^2$  è la forza che agisce sul corpo ed a tale prodotto , he esprime il doppio dell'energia cinetica posseduta dal corpo , assegna il nome di forza viva . Per Cartesio la forza è la quantità di moto  $m \cdot \vec{v}$  . Eulero rifiuta l'azione a distanza e cerca di spiegare la gravitazione , le forze elettriche e quelle di coesione ipotizzando l'esistenza di un etere che permea tutto lo spazio . Nei primi decenni dell'800 è abbastanza diffusa la concezione meccanica dell'azione che un corpo esercita sull'altro . Si ritiene che tra i corpi vi sia una sostanza , l'etere , dotata di proprietà meccaniche , estensione , massa ,moto e forza capace di trasmettere l'azione .Questa concezione da luogo a parecchi inconvenienti ed é in contrasto con alcuni fenomeni fisici . Inoltre l'idea della pura e semplice azione a distanza non ha mai convinto la stragrande maggioranza dei fisici . Le teorie dell'etere e della pura azione a distanza vengono superate dalla teoria dei campi , cioè dalla nascita di perturbazioni fisiche ( grandezze fisiche ) da parte di corpi posti nello spazio . Un corpo , posto in una regione dello spazio , per il fatto di possedere una massa o delle cariche elettriche genera nello spazio circostante un campo gravitazionale o un campo elettromagnetico . I campi così introdotti non sono degli enti di comodo che hanno come unico obiettivo quello di spiegare i fenomeni che si verificano in natura . Essi sono delle realtà concrete e rappresentano delle grandezze fisiche presenti in natura . Maxwell si convince che il campo è una grandezza reale quando riesce a dimostrare che , all'interno di regioni prive di materia , le sue equazioni prevedono dei valori di  $\vec{E}$  e di  $\vec{B}$  diversi da zero e che queste due grandezze sono collegate all'energia presente in quella zona dello spazio .

Le equazioni di Maxwell collegano  $\vec{E}$  a  $\vec{B}$  ed alle coordinate spazio-temporali e non fanno alcun riferimento ad un misterioso etere ed alle sue proprietà meccaniche . Noi oggi sappiamo che le forze nascono come interazioni tra corpi e si manifestano che forze gravitazionali , elettromagnetiche , nucleari forti , nucleari deboli . Queste interazioni si generano perché i corpi possiedono una massa , possono essere dotati di cariche elettriche , possono occupare delle posizioni all'interno dei nuclei degli atomi . Queste forze , dette fondamentali , imprimono ad un corpo libero una accelerazione e ad un corpo vincolato una deformazione . In natura non esistono forze diverse dalle fondamentali .