

La fisica galileiana

Galileo si fece assertore di una scienza coraggiosamente aperta a tutti i suggerimenti, a tutte le conquiste, a tutto il nuovo materiale che proveniva dalle osservazioni dei tecnici. Una volta riconosciuto esplicitamente che gli strumenti, le macchine, le osservazioni dei tecnici meritano di diventare oggetto di seria riflessione scientifica, è gioco forza riconoscere che la scienza deve impostare in modo totalmente nuovo le **proprie indagini**. Queste dovranno, sì continuare ad essere guidate dalla ragione, ma da una ragione che si adegua ai fatti, non da una ragione che pretende di imporsi alla natura per stabilire **a priori** come debbano svolgersi i processi naturali.

Per illustrare l'enorme portata di questa svolta, basterà soffermarsi brevemente su alcune conseguenze di carattere generale da essa derivabili, conseguenze che hanno segnato la via del progresso scientifico da Galileo ai nostri giorni.

1) **La stretta collaborazione fra scienza e tecnica ha significato liberazione della scienza da ogni ipotesi metafisica.**

Di fronte a questo nuovo stato di cose nessuna autorità potrà conservare l'illusione di dettare agli scienziati la strada della verità.

2) **Un'altra conseguenza della nuova concezione della scienza è stata una nuova interpretazione del concetto stesso di verità.**

Ogni verità deve diventare provvisoria, deve accettare di essere sempre sottoposta a nuovi controlli, a rettifiche, a profonde rielaborazioni.

In luogo del concetto di **verità immutabile** subentra quello di **verità feconda**, cioè di principio scientifico capace di dare luogo a sviluppi rapidissimi, che forse porranno in crisi la validità stessa del principio da cui erano stati ricavati.

Galileo stabilì sempre una netta distinzione tra la fedeltà all'insegnamento di Aristotele e fedeltà ai principi della fisica aristotelica come emerge dalla lettura di questo brano:

<< **Voglio aggiungere per ora questo solo : che io mi rendo sicuro che , se Aristotele tornasse al mondo , egli riceverebbe me tra i suoi seguaci molto più che moltissimi altri . E quando Aristotele vedesse le novità scoperte nuovamente in cielo , dove egli affermò quello essere inalterabile ed immutabile , perché niuna alterazione vi si era sino allora veduta , indubitanente egli , mutando opinione , direbbe ora il contrario; ché ben si raccoglie , che mentre ei dice il cielo essere inalterabile , perché non vi si era veduta alterazione , direbbe ora essere alterabile , perché alterazioni vi si scorgono . >>**

3) Se la scienza è interpretata come un ininterrotto susseguirsi di ricerche che possono sempre venire cancellate dalla lavagna , qualora non vengano di volta in volta ritrovate e riconfermate , ne segue che la sua costruzione non può essere opera di un solo intelletto , per elevato che questo sia , ma deve essere la conquista graduale di schiere di ricercatori che porranno in dubbio , rettificeranno , approfondiranno le conquiste dei loro predecessori .

Compiti e caratteri della scienza fisica

Secondo Galileo compito essenziale della fisica è la conoscenza della natura . Questa però non dovrà consistere , come ritenevano gli aristotelici , nella conoscenza delle essenze dei fenomeni, bensì nella determinazione delle leggi che regolano il loro corso . L'astronomia , per esempio , deve indagare le leggi meccaniche regolanti il moto di Giove e Saturno e non chiedersi a che cosa servono questi due pianeti , quale sia il loro scopo nei piani generali del creatore . Quanto ora detto non va inteso nel senso che la scienza deve avere il solo compito di **descrivere** i fenomeni . Al contrario , Galileo pensa che la scienza debba anche spiegarli . Spiegare un gruppo di fenomeni significa costruire una teoria di tipo matematico (costituita di definizioni generali , di assiomi , di teoremi) dalla quale possa venire dedotto il comportamento dei fenomeni stessi . Galileo sa molto bene che gli assiomi e le definizioni generali non saranno ,

tranne casi eccezionale , ricavati dall'esperienza . E' importante , però , che le conseguenze rigorosamente dedotte dalla teoria elaborata trovino conferma nell'esperienza . Con parole diverse possiamo dire che non è necessario che tutte le proposizioni della teoria risultino aderenti ai fatti ; è necessario che tutti i fatti del campo dei fenomeni studiati risultino inquadrabili nella teoria .

Teoria e pratica non debbono risultare più separate da un abisso : deve esistere un continuo interscambio fra esse . L'idea di una scienza sterile , puramente contemplativa è abbandonata : l'applicazione non è più considerata come un sottoprodotto della ricerca scientifica , ma inserita nella stessa scienza .

Possiamo quindi riassumere i caratteri della scienza galileiana in due punti fondamentali: **rigore dell'indagine scientifica e sua apertura verso il mondo della tecnica** . L'esigenza del rigore viene soddisfatta dall'uso sistematico della matematica nello sviluppo teorico della fisica , e dall'uso sistematico di apparecchi sperimentali sempre più potenti e precisi nel campo dell'osservazione .

Critica del principio d'autorità

Dalla concezione della scienza delineata nel paragrafo precedente si ricava che essa non può sottostare ad alcuna autorità diversa da quella della ragione . E' ben comprensibile che tutta la battaglia di Galileo per il trionfo della scienza implicasse una parallela battaglia contro il **principio d'autorità** . Tale principio era operante , all'epoca di Galileo , lungo due direttrici : quella della **tradizione religiosa** e quella della **tradizione filosofica** . Due sono gli aspetti della lotta tenacemente combattuta contro di esso dal nostro pensatore . Galileo si batte contro l'intrusione dell'autorità religiosa nella ricerca scientifica , ma non nega che l'autorità religiosa sia in possesso di un prezioso patrimonio di verità : quelle rivelatele direttamente da Dio . Ciò che egli nega , è che questo patrimonio esaurisca tutta la verità , e che pertanto i testi sacri ci offrano l'unica via per giungere al vero . Secondo Galileo oltre a questa via , e ben distinta da essa , vi è anche la via della ricerca scientifica .

Ma chi può escludere a priori un conflitto fra le due verità , quella religiosa e quella scientifica ? Galileo ritiene che esso sia oggettivamente impossibile proprio perché entrambe le vie possono condurci solo alla verità e non all'errore . In altre parole , egli sembra ammettere , con **Tommaso d'Aquino** , che le verità raggiunte dall'una e dall'altra via , là ove riguardino gli stessi argomenti , debbono in ultima istanza coincidere necessariamente fra di loro . Egli rovescia , però , la posizione del **pensatore medievale** : ritiene che se sorgesse tra le verità religiose e quelle scientifiche un apparente contrasto , l'uomo dovrebbe partire , per risolverlo , non già dalla presunzione **tomistica** che sia errata la scienza e vera la religione , ma dalla franca e completa accettazione dei risultati della scienza , con la riserva di rivedere l'interpretazione dei **testi sacri** cui si appoggiano i dogmi , potendo risultare , proprio essa , la causa del loro contrasto con la scienza .

A prima vista questa posizione può apparire moderata ed anzi piena di rispetto verso la chiesa ; in realtà essa esprimeva però il più franco ed assoluto riconoscimento del valore della scienza e della sua piena autonomia di fronte al dogma .

Passando al secondo aspetto della battaglia di Galileo contro il **principio di autorità** , basterà dire che egli rivendica alla ricerca scientifica una piena e completa autonomia , non solo rispetto al dogma , ma pure rispetto al patrimonio tradizione della filosofia ed in generale della cultura . **Autonomia** significa , per Galileo , **indipendenza** e non **opposizione** . **Egli non prova alcun senso d'insofferenza verso i grandi pensatori dell'antichità** . Li studia con il massimo scrupolo , e non solo Euclide ed Archimede , ma anche Platone ed Aristotele. Riserva tutto il suo disprezzo per i seguaci pedissequi di tali pensatori, cioè verso coloro i quali considerano gli antichi (in particolare Aristotele) depositari assoluti della verità . In realtà , obietta loro , il **vero discepolo** di Aristotele è lui (**Galileo**) , non essi (i **presunti aristotelici**) . Se Aristotele tornasse in vita , praticerebbe il suo metodo di indagine , non il loro : e cioè per conoscere la natura , interrogherebbe direttamente i fenomeni naturali , non i testi che parlano di tali fenomeni .

<< **Voglio aggiungere per ora questo solo : che io mi rendo sicuro che , se Aristotele tornasse al mondo , egli riceverebbe me tra i suoi seguaci molto più che moltissimi altri . E quando Aristotele vedesse le novità scoperte nuovamente in cielo , dove egli affermò quello essere inalterabile ed immutabile , perché niuna alterazione vi si era sino allora veduta , indubitamente egli , mutando opinione , direbbe ora il contrario; ché ben si raccoglie , che mentre ei dice il cielo essere inalterabile , perché non vi si era veduta alterazione , direbbe ora essere alterabile , perché alterazioni vi si scorgono . >>**

In altri termini : per autorevole che sia il libro di un filosofo o di un poeta , più autorevole di esso è il libro della natura , l'unico capace di fornirci delle verità realmente sicure quando sappiamo interpretarlo con rigoroso metodo scientifico.

Galileo scrive nel Saggiatore : << Parmi di scorgere nel Sarsi ^λ ferma credenza , che nel filosofare sia necessario appoggiarsi all'opinione di qualche celebre autore...; e forse stima che la filosofia sia un libro e una fantasia d'un uomo , come l'Iliade o l' Orlando furioso , libri nei quali la meno importante cosa è che quello che vi sia scritto sia vero . Sig. Sarsi la cosa non istà così . La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo) , ma non si può intendere se prima non s'impara a intendere la lingua , a conoscere i caratteri ,ne' i 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 intenderne umanamente parola ; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto >>

Lotta intransigente contro il **principio d'autorità** e lotta per l'attuazione di una scienza autenticamente fondata sulle **sensate esperienze** e sulle **certe dimostrazioni** , non sono che due facce della medesima battaglia per il rinnovamento del sapere .

Contributi scientifici

Elenchiamo i principali contributi effettivamente dati da Galileo al progresso del saper scientifico . Le sue principali scoperte scientifiche riguardano la **meccanica** e l' **astronomia** . Per quanto concerne la **meccanica** , spetta a Galileo l'incomparabile merito di avere dato inizio alla **dinamica** nella sua struttura moderna. Fra quelli che oggi portano il nome di **principi fondamentali della dinamica** i primi due vennero sostanzialmente scoperti da Galileo .

Anche se egli non si preoccupò mai di dare l'enunciato generale del primo (**principio d'inerzia**) , è certo che ne afferrò la validità e l'importanza , vuoi parlando ripetutamente della costanza della velocità iniziale di un qualsiasi mobile (qualora non intervengano forze esterne a modificare il suo moto) , vuoi determinando come si compone questa velocità iniziale prodotte da forze acceleratrici estranee , sopraggiunte durante il corso del movimento .

Va tuttavia osservato che Galileo non si rese ancora perfettamente conto che il **moto circolare non è inerziale** , in quanto esso richiede la presenza di una forza centripeta. Altro fondamentale contributo di Galileo alla costruzione della meccanica moderna , **è la scoperta del secondo principio della dinamica** , cioè la scoperta che le forze applicate ai corpi non imprimono loro delle velocità , ma delle accelerazioni e che queste accelerazioni risultano direttamente proporzionali alle forze che le hanno causate .

Al secondo principio della dinamica sono connesse :

- 1) la determinazione del concetto di accelerazione come variazione di velocità
- 2) la determinazione del concetto di massa di un corpo , come rapporto di proporzionalità fra le forze ad esso applicate e le accelerazioni prodotte da tali forze .

Per quanto riguarda l'**astronomia** abbiamo già detto delle fondamentali scoperte compiute da Galileo puntando al cielo il suo famoso cannocchiale .

^λ Psudonimo di ORAZIO GRASSI

Tra le conseguenze , ricavabili dalle osservazioni celesti di Galileo , basti sottolinearne due : 1) la confutazione della teoria aristotelica della incorruttibilità dei cieli , ovviamente incompatibile con l'esistenza di macchie sul Sole e sulla Luna .

2) la dimostrazione dell'esistenza di moti celesti aventi un centro diverso dalla terra .

E' ovvio che le scoperte ora accennate costituivano altrettanti argomenti a favore dell'ipotesi copernicana . Ma esse non avrebbero potuto avere alcun valore probativo, se non si fosse riuscito ad eliminare le obiezioni mosse da Tolomeo alla mobilità della Terra . Ebbene , l'eliminazione di queste obiezioni è una conseguenza diretta della nuova meccanica galileiana : tale meccanica spiega infatti , con precisione matematica , la perfetta compatibilità del moto della Terra con i fenomeni da noi osservati nella caduta dei gravi .

Essa è dovuta al famoso principio , oggi universalmente noto come **principio della relatività galileiana** , il quale afferma che è impossibile decidere , sulla base di esperienze meccaniche compiute all'interno di un sistema , se esso sistema è in quiete o in moto rettilineo uniforme .

Eliminate anche le obiezioni di Tolomeo , e riconosciuti gli enormi vantaggi matematici dell'ipotesi di Copernico nella descrizione dei fenomeni celesti , la verità fisica della concezione copernicana del mondo era praticamente assicurata .

Va fatto presente che Galileo non prese mai in considerazione le scoperte compiute in quegli anni da Keplero circa la forma ellittica delle orbite dei pianeti ; da questo punto di vista egli rimase condizionato dall'astronomia tradizionale , che fra tutte le forme di moto privilegiava in modo inequivocabile il **moto circolare** .

La sua genialità ebbe modo di rivelarsi anche in problemi di matematica pura , come per esempio nell'esame dei paradossi dell'infinito . Galileo si soffermò in particolare sulle serie dei numeri naturali , sottolineando lo strano fatto che essa risultava altrettanto numerosa quanto la serie dei quadrati perfetti ; mentre questa risultava solo una parte di quella . Egli meditò a lungo sulla scomposizione di un segmento finito

in infiniti elementi indivisibili (**punti**) , dando notevoli contributi al sorgere dell'analisi infinitesimale .

Il metodo sperimentale

Siamo ora in grado di riprendere e di approfondire il concetto di **metodo sperimentale galileiano** . L'atteggiamento iniziale di Galileo è simile a quello utilizzato da Bacone ● : la natura non va soltanto ascoltata , ma va interrogata nel senso che occorre scoprire le **leggi dei fenomeni** , cioè le proporzioni matematiche tra fenomeno e fenomeno . Per parlare di proporzioni matematiche fra fenomeni occorre trovare il modo di fare corrispondere ad ogni fenomeno un particolare numero . Le correnti neoplatoniche e neopitagoriche avevano tentato di giungere a questa corrispondenza tra fenomeni e numeri , facendo appello al valore **magico-simbolico** posseduto , secondo tali correnti , dalla matematica . In base a questo valore , certi numeri o certe figure avrebbero la **virtù** di rappresentare simbolicamente certi fenomeni ; e tale virtù permetterebbe di ricavare senz'altro le proprietà dei fenomeni dallo studio dei numeri che li rappresentano . Galileo risolve il problema in modo completamente diverso : per fare corrispondere i numeri ai fenomeni , occorre , secondo lui , procedere alla misura dei fenomeni stessi . Soltanto la misura è in grado di creare una interazione fra esperienza e matematica , indispensabile al procedere scientifico .

Ma l'intervento della matematica nella scienza fisica non si esaurisce per intero nella misura ; la matematica esercita una funzione essenziale anche nella costruzione di una **teoria** , cioè nell'esatta enunciazione dei loro principi e nella rigorosa deduzione , da questi principi , delle conseguenze particolari da controllarsi sperimentalmente .

● Bacone elaborò un metodo empirico-sperimentalistico attento alla raccolta sistematica di dati , ma di carattere prevalentemente qualitativo

GALILEO eseguì numerosi esperimenti sostenendo che **la scienza si deve fondare sulle dimostrazioni certe e sulle esperienze sensate**, ovvero che la verità deve essere ricercata contemporaneamente con il metodo razionale della matematica e con il metodo empirico delle conoscenze sensoriali.

Le **sensate esperienze** sulle quali Galileo si basava non erano **puro empirismo**, ma dovevano raccogliere una serie di dati osservati in maniera rigorosa ed oggettiva, che però non parlavano da soli, ma necessitavano, per essere letti, delle **certe dimostrazioni** consistenti nella formulazione di un'ipotesi di tipo matematico, da verificare sperimentalmente. Gli esperimenti di Galileo non vengono impostati alla cieca, come pura osservazione: egli in qualche modo ha un'idea delle relazioni che dovrebbero emergere e per questo sono molto importanti anche **esperimenti ideali** come quelli invocati per stabilire il **principio d'inerzia**.

Nei suoi **DISCORSI e DIMOSTRAZIONI intorno a DUE NUOVE SCIENZE** Galileo fa uso sia di **esperimenti realmente effettuati** sia di **esperimenti pensati** (o **esperimenti ideali**) dei quali si suppone che siano eseguibili e che, se effettivamente realizzati, darebbero i risultati descritti.

Per dimostrare la **prima legge della dinamica** ■ Galileo fa ricorso ad un **esperimento ideale**. Noi sappiamo che il **primo principio della dinamica** stabilisce il comportamento di un corpo sul quale o non agisce alcuna forza o agiscono più forze che si fanno equilibrio. Galileo osservò che un corpo, messo nelle condizioni di risalire per effetto della velocità acquistata nella caduta, raggiunge la stessa altezza iniziale indipendentemente dalla traiettoria seguita. Un **pendolo** fissato ad un sostegno, portato dalla posizione di equilibrio ad una certa altezza e poi abbandonato, risale di nuovo raggiungendo quasi la stessa altezza. Le piccole differenze di altezza sono dovute agli attriti. Analogamente una sferetta che rotola giù per un piano inclinato risale su un secondo piano inclinato raggiungendo quasi la stessa altezza,

■ Un 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.

indipendentemente dalla sua inclinazione . Galileo osservò che un grave lasciato cadere lungo un piano inclinato scende con **moto rettilineo accelerato** . Se , invece , è messo in moto dal basso verso l'alto con una spinta, sale con **moto rettilineo decelerato** . Sulla base di queste considerazioni Galileo ideò un esperimento nel quale il grave prima scende naturalmente (**accelerando**) da una certa altezza **h** e poi , trovando in basso un altro piano inclinato , ed essendo animato da una certa velocità , risale (**decelerando**) il secondo piano inclinato . Fino a quale altezza risalirà ? Questo è il punto fondamentale su cui si esercita l'acume di Galileo : fino ad un'altezza **leggermente inferiore** a quella da cui era inizialmente disceso lungo il primo piano . Rendendo i piani sempre più levigati (diminuisce l'attrito) , l'altezza di risalita aumentava fino a divenire **quasi** quella di caduta . Galileo attribuisce esclusivamente all'attrito questa discrepanza tra le due altezze e si rende conto di un secondo fatto fondamentale : l'altezza di salita sul secondo piano inclinato non dipende , in assenza di attrito , dall'angolo dei due piani : a mano a mano che il secondo piano diminuisce la sua inclinazione rispetto ad un piano orizzontale , il grave dovrà percorrere su esso distanze sempre più lunghe , con moto sempre meno decelerato , per raggiungere l'altezza di caduta . Se il secondo piano è senza attrito ed è orizzontale , il grave (che ora non può né accelerare né decelerare) proseguirà con **moto rettilineo uniforme** fino all'infinito .

Nasce così il **primo principio della dinamica o principio di inerzia** o , meglio , **prima legge della dinamica** .

Questa conclusione fu intuata da Galileo il quale , dopo avere osservato che la sferetta in discesa accelera ed in salita decelera , così continua rivolgendosi ai suoi interlocutori : »

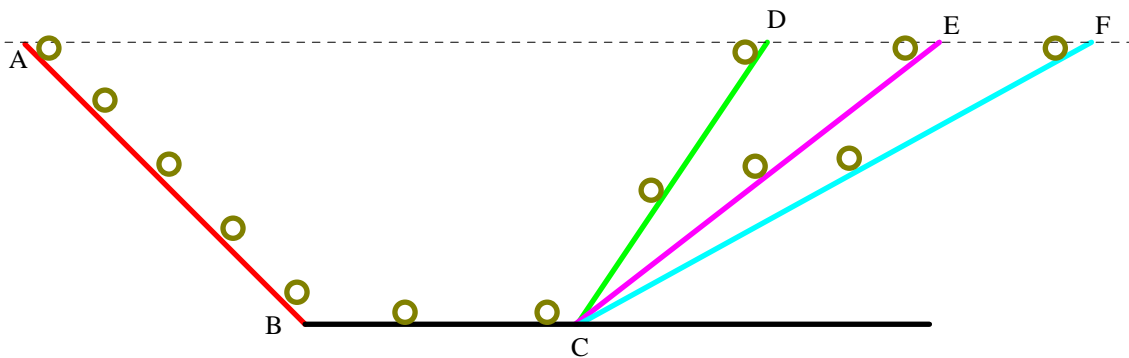
<< **Or ditemi , quel che accadrebbe del medesimo mobile sopra una superficie che non fosse né acclive né declive** >> ottenendo come risposta << **che esso sarebbe perpetuo** >>

Ora le forze agenti sulla sferetta . quando questa è posta su un piano orizzontale , sono il peso \vec{P} e la reazione vincolare \vec{Z} del piano di appoggio e questa due forze si fanno equilibrio in quanto costituiscono un sistema di forze a risultante nullo .

Naturalmente questo è assolutamente vero se il piano orizzontale è privo di attrito .

Deduciamo che la sferetta , soggetta ad un sistema di forze a risultante nullo , possiede una velocità che si mantiene costante nel tempo .

Perveniamo così ad una importante conclusione : la **velocità non è l'effetto di una forza costante , come erroneamente sosteneva Aristotele .**



	<p>Una sferetta posta su un piano inclinato è soggetta ad un sistema di forze a risultante nullo , precisamente alla forza peso \vec{P} equilibrata dalla reazione vincolare \vec{Z}</p>
--	--

Una volta chiariti i punti in cui la matematica interviene nel processo sperimentale , resta ancora aperto il problema se Galileo scorgesse davvero nella verifica di una legge sui dati empirici una garanzia sufficiente della sua validità .

Non è possibile che l'esperienza ci inganni , facendosi credere che la natura sia regolata da certe leggi (quelle verificate sperimentalmente) mentre in realtà è regolata da leggi del tutto diverse ?

Galileo risponde affermando che **l'esperienza ,intelligentemente predisposta e scrupolosamente realizzata , non ci inganna .**

La contrapposizione galileiana alla fisica aristotelica è netta e può essere condensata in 7 punti :

1) Per **Aristotele** i corpi corruttibili tendono a perdere il moto ad essi comunicato , se nessuna causa esterna (**forza**) agisce sopra di essi . Per **Galileo** i corpi tendono a conservare la velocità acquistata fino a quando non intervenga una causa esterna (forza) .

2) Per **Aristotele** il **moto circolare uniforme** dei corpi celesti si conserva perché il moto circolare è perfetto ed i corpi celesti sono incorruttibili . Per **Galileo** il moto circolare muta continuamente in direzione ed è quindi dovuto all'azione continua di cause esterne .

3) per **Aristotele** per mantenere un corpo in moto è necessaria l'azione continua di una forza . Per **Galileo** un corpo non soggetto a forze o soggetto ad un sistema di forze a risultante nullo conserva la sua velocità vettoriale . Tale velocità può mutare solo se sul corpo agisce una forza , la quale determina una accelerazione .

4) Per **Aristotele** se un corpo cadesse nel vuoto dovrebbe muoversi di **moto uniforme** , per **Galileo** dovrebbe muoversi di **moto uniformemente vario** .

5) 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 , gli toglie ad ogni istante dei gradi di velocità rallentandolo .

6) Per **Aristotele** la **velocità di caduta** di un grave è **direttamente proporzionale al peso del grave che cade** . Per **Galileo** la velocità di caduta è uguale per tutti i corpi , qualunque sia il loro peso e qualunque sia la loro natura .

7) Per **Aristotele** la **velocità di caduta** è **direttamente proporzionale allo spazio percorso** . Per **Galileo** la **velocità di caduta** è **direttamente proporzionale al tempo impiegato** .

La **grandezza di Galileo Galilei** non sta nei singoli risultati ottenuti , che sono di straordinaria importanza , ma nella **invenzione del metodo sperimentale** .

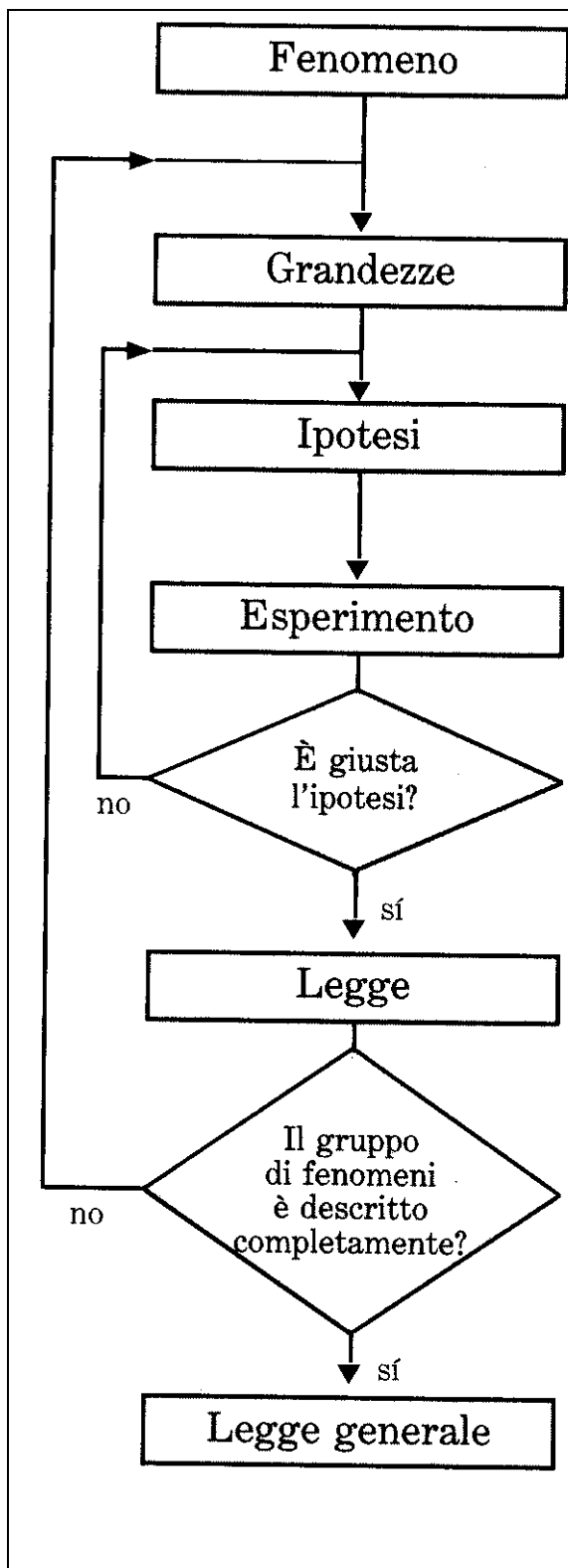
Ed in questo settore possiamo affermare che non ha avuto **precursori** .

Nello studio dei fenomeni fisici ci chiediamo **COME** e **PERCHE'** essi avvengono .

Da Galileo abbiamo imparato che è importante chiedersi prima il COME e poi il PERCHE' .

Invertire quest'ordine è stato il limite mentale della filosofia greca e delle teologie : l'inversione significa costruirsi un modello mentale del mondo , uno schema aprioristico delle cose che ci condiziona nella ricerca delle relazioni che intervengono nei fenomeni della natura e spesso ci conduce ad erronee conclusioni .

Il metodo sperimentale



Lo scopo della fisica è quello di descrivere correttamente i fenomeni che si verificano attorno a noi .

Spetta a Galileo Galilei il merito di avere costruito il **metodo sperimentale** , l'unico capace di farci interpretare correttamente la realtà che ci circonda

Quello indicato a fianco è uno **schema a blocchi** capace di mettere in evidenza tutte le fasi necessarie per una corretta applicazione del **metodo sperimentale** .

Il **metodo sperimentale** è caratterizzato dalle seguenti attività :

- 1) Individuazione del **fenomeno** che vogliamo studiare .
- 2) osservazione del fenomeno
- 3) scelta delle grandezze
- 4) formulazione di ipotesi
- 5) esperimento per la verifica delle ipotesi
- 6) formulazione della legge

Dopo avere trovato la legge che descrive un singolo fenomeno bisogna vedere se è possibile una sua generalizzazione che coinvolga una gamma più vasta di fenomeni.

Osservazione del fenomeno

La prima tappa nell'interpretazione del fenomeno inizia con l'osservazione e la focalizzazione del problema che vogliamo analizzare. Per questo si richiede una mente critica e capacità di separare i fatti essenziali da quelli di disturbo.

È noto, per esempio, quanto sia complesso il movimento di caduta di una piuma, mentre al confronto è molto più semplice lo studio della caduta di una sfera metallica. La caduta dei corpi in generale è dovuta all'attrazione della Terra ed è disturbata dalla resistenza dell'aria, che influenza molto di più il moto della piuma che quello della sferetta. Pertanto, se vogliamo studiare la caduta dei corpi, è naturale rendere minima la resistenza dell'aria. È proprio su questo punto che le idee di Galileo si manifestarono in forma diversa da quelle di Aristotele.

Se lasciamo cadere da una certa altezza una sfera metallica e una piuma, osserviamo che la sfera arriva a terra prima e con maggiore velocità. A una prima osservazione sembra perciò che i fatti diano ragione ad Aristotele.

Al contrario, Galileo intuì che se due corpi impiegano tempi diversi per cadere a terra, ciò è dovuto alla resistenza dell'aria, il cui effetto varia col peso e la forma dei corpi. Nella sua opera *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla Meccanica & i Movimenti Locali*, così scrive: "Aristotele dice: 'Una palla di ferro di cento libbre, cadendo dalla altezza di cento braccia arriva in terra prima che una di una libbra sia scesa di un sol braccio'; io dico che'ell'arrivano nello stesso tempo; voi trovate, nel farne l'esperienza, che la maggiore anticipa due dita la minore, cioè che quando la grande percuote in terra, l'altra ne è lontana due dita".

La minima differenza dei tempi di caduta delle due sfere fu attribuita alla resistenza dell'aria che ne ostacola il moto. Ovviamente la resistenza dell'aria è molto più grande nel caso di una piuma o di un foglio di carta che cada di piatto che per un corpo sferico.

Scelta delle grandezze

Per uno studio quantitativo del fenomeno è necessario scegliere le grandezze interessate. Per esempio, nella caduta di un grave possiamo scegliere il tempo di caduta e lo spazio percorso e domandarci in che modo lo spazio percorso dipende dal tempo. È necessario perciò ricorrere a opportuni dispositivi che permettano di misurare sia lo spazio sia il tempo; la misura diventa in tal modo componente fondamentale dell'osservazione.

Formulazione di ipotesi

Nel metodo sperimentale assume un ruolo fondamentale la formulazione di ipotesi suggerite dall'esperienza oltre che da un'analisi qualitativa del problema. Ogni ipotesi è sempre una spinta nell'ignoto, in quanto estende il pensiero oltre i fatti conosciuti. D'altra parte le ipotesi sono importanti nello sviluppo della scienza, in quanto senza ipotesi le ulteriori ricerche mancherebbero di obiettivi e di orientamenti.

Nel caso della caduta di un grave possiamo formulare, per esempio, le due ipotesi alternative:

- *lo spazio percorso e il tempo di caduta sono direttamente proporzionali, cioè se l'altezza da cui il grave è lasciato libero di cadere diventa il doppio, il triplo, ... anche il tempo di caduta diventa doppio, triplo, ...;*
- *lo spazio percorso e il quadrato del tempo di caduta sono direttamente proporzionali, cioè se il tempo di caduta diventa il doppio, il triplo, ... l'altezza diventa quattro, nove, ... volte più grande.*

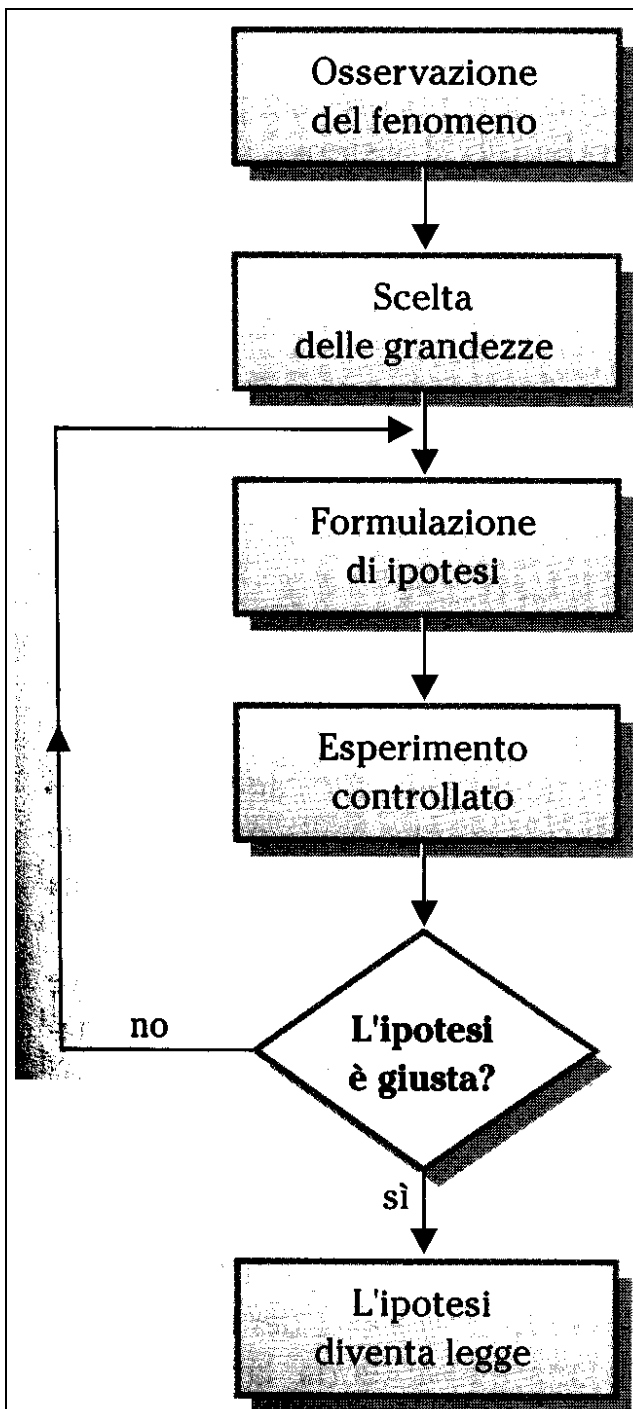


Fig. 5 - Diagramma di flusso (*flow-chart*)
del metodo sperimentale.

Esperimento per la verifica delle ipotesi

Per la misura dei parametri necessari allo studio del fenomeno, lo scienziato ricorre a un **esperimento controllato**, sottoponendo in tal modo a verifica sperimentale le ipotesi già formulate.

Nel caso della caduta di un grave è opportuno, per quanto già osservato, mettersi in condizioni in cui la resistenza dell'aria sia nulla, cioè sperimentare in un ambiente in cui sia stato fatto il vuoto, oppure in prima approssimazione sperimentare con oggetti sferici, sul cui moto la resistenza dell'aria non ha molta influenza, almeno per piccoli intervalli di tempo.

In tal modo dopo l'invenzione della pompa da vuoto si riuscì, in accordo con le previsioni di Galileo, a dimostrare che tutti i corpi nel vuoto, indipendentemente dal peso e dalla forma, lasciati liberi di cadere dalla stessa altezza, giungono a terra contemporaneamente. Celebre a riguardo è l'esperienza fatta col tubo di Newton (fig. 3): corpi diversi, leggeri e pesanti, messi in questo tubo, in cui è fatto il vuoto, cadono contemporaneamente da un estremo all'altro del tubo.

Alle stesse conclusioni si perviene sperimentando in aria, per qualche frazione di secondo, con sfere di peso diverso in caduta libera, come dimostra la fotografia stroboscopica di figura 4.

Stabilito così in modo qualitativo che i gravi in assenza di resistenza dell'aria cadono nello stesso modo, è necessario esaminare il fenomeno in modo quantitativo, al fine di verificare se una delle due ipotesi già formulate sia vera. Pertanto, fissata l'altezza e misurato il tempo di caduta, è necessario ripetere l'esperimento con altezze diverse per verificare se l'altezza di caduta è direttamente proporzionale al tempo, oppure al quadrato del tempo.

Formulazione della legge

L'ipotesi, se confermata dall'esperimento, diventa legge. Al contrario, se l'ipotesi non è verificata, è necessario formulare nuove ipotesi e sottoporle a verifica sperimentale.

Così, nel caso della caduta di un grave nel vuoto, e comunque in condizioni in cui l'effetto della resistenza dell'aria sia minimo, si trova che lo spazio è direttamente proporzionale al quadrato del tempo; inoltre la relazione, per quanto già osservato, è indipendente sia dal peso che dalla forma del grave.

Fu proprio Galileo a scoprire sperimentalmente la legge di caduta di un grave con esperimenti eseguiti su un piano inclinato.

In figura 5 abbiamo rappresentato il metodo sperimentale attraverso un *flow-chart* (o *diagramma di flusso*); il rombo rappresenta simbolicamente la scelta semplice tra due alternative contrapposte. La scelta viene presa in base al valore di verità della condizione: "L'ipotesi è giusta?" Se l'esperimento dimostra che la risposta è *no*, è necessario procedere alla formulazione di un'ipotesi diversa da sottoporre al vaglio dell'esperienza. Il procedimento continua finché non si trova un'ipotesi giusta che, in tal caso, diventa legge.