

# Galileo Galilei e la caduta libera

**Galileo Galilei** (d'ora innanzi **G.**) (1564-1642): ha portato come contributo principale allo studio della fisica il *riavvicinamento fra Cielo e Terra*<sup>1</sup>. Partiamo da questo punto.

Allargando il concetto di Natura, includendovi anche *l'imperfetto e mutevole* mondo terrestre, occorre definire nuovi criteri di verità, nuovi criteri di validità delle leggi scientifiche: criteri basati sulla *ragione umana e non più sulle certezze divine*<sup>2</sup>: **la matematica** diventa lo strumento fondamentale della nuova scienza.

La concezione che ha G. della matematica fonde due tendenze: quella legata alla tradizione greca, in particolare *platonica*, che la considera un codice d'accesso alla verità; e quella *rinascimentale* che vede nella matematica uno strumento utile nelle tecniche artigianali.

**Il Metodo** (da prendere "con le molle": non è così schematica la realtà)

**0.** Il punto di partenza di **G.**, la sua **ipotesi**<sup>3</sup> **principale**, consiste nell'affermare che *la natura ha un carattere di fondamentale semplicità: il libro della natura è stato scritto da Dio in caratteri matematici e geometrici*. La matematica è quindi sì uno strumento costruito dall'uomo per fini pratici ma non a caso: essa esprime l'intima essenza del mondo.

**1.** Il primo passo della conoscenza scientifica consiste nell'**osservazione** dei fatti. Tale osservazione non avviene *ad occhio nudo*, ma attraverso la *lente di uno schema matematico, (o mediante esperimenti)*: lo scienziato *interroga la Natura* per giungere a scoprire, dietro l'apparente complessità dei fenomeni, le leggi fondamentali: semplici e scritte in linguaggio aritmetico e geometrico, che ipotizza esistano.

**2.** La lettura dei dati raccolti con l'osservazione conduce alla formulazione di una **tesi** (**G.** la chiama ipotesi), *espressa sempre in termini matematici*.

**3.** La tesi dovrà essere *verificata* attraverso un **esperimento** (il "cimento"). Con quest'esperimento la Natura viene messa, usando macchine o artifici umani, nelle *migliori condizioni di rispondere agli interrogativi* che lo scienziato le sta rivolgendo. Nel "cimento" lo scienziato, mette in relazione le grandezze caratterizzanti il fenomeno, cioè misura la variazione dell'una in relazione alle variazioni dell'altra.

**4.** La manipolazione matematica condurrà alla determinazione di **formule semplici**, adeguate a *descrivere e spiegare il fenomeno studiato*.

L'**obiettivo**, definito da **G.** e proseguito dai suoi successori, è quello di ottenere **descrizioni quantitative** (mediante numeri e relazioni fra numeri) dei **fenomeni fisici**, indipendentemente da qualsiasi spiegazione del *perché* i fenomeni accadano.

---

<sup>1</sup> La fisica medievale (che si basa sulla sintesi compiuta da parte di Tommaso D'Aquino fra la fisica di Aristotele e quanto scritto nella Bibbia; detta perciò "**Sintesi tomistica**") pone una **netta contrapposizione fra Terra**, regno della corruzione (e della generazione), e **Cielo**, regno della perfezione; attribuendo solo ai fenomeni celesti la possibilità di una descrizione quantitativa: geometrico-aritmetica.

I corpi celesti infatti erano ritenuti avere come *moto naturale* un moto circolare uniforme perenne attorno al centro dell'Universo, che coincideva con il centro della Terra.

<sup>2</sup> Questo il vero nodo dello scontro fra Galilei e la Chiesa del suo tempo.

<sup>3</sup> L'**ipotesi**, nelle scienze diversamente che nel linguaggio naturale, è costituita dall'insieme dei **dati** del problema: dei punti di partenza. La **tesi** è quel che il problema chiede di determinare: la **domanda**.

Lo **spazio**, da **G.** in poi, sarà considerato un *continuo geometrico uniforme* in cui si misurano le *posizioni dei corpi a partire da un sistema di riferimento dato*. Nella fisica aristotelica invece, lo **spazio** è un insieme di *luoghi* occupati da corpi (vedi più avanti).

Paradossale percorso intellettuale quello della scienza moderna che, per avvicinarsi di più alla realtà, alla natura, deve farsi più astratta! Per impadronirsi delle leggi della Natura è necessario infatti abbandonare le descrizioni **qualitative** della scienza medievale, per descrizioni **quantitative**, basate su concetti come lo **spazio astratto**, il punto materiale, il **piano inclinato senza attrito**, ecc.

### Il moto di caduta libera studiato da Galilei

**Aristotele** riteneva che ogni corpo fosse composto dalla combinazione delle quattro sostanze fondamentali: *Terra, Acqua, Aria e Fuoco*<sup>4</sup>, le quali, disposte secondo *cerchi concentrici*, corrispondono a quattro **luoghi**.

Lo stato naturale di un corpo consiste nel rimanere in quiete nel proprio luogo naturale. Gli oggetti terreni che non si trovano nel loro *luogo naturale*, e che non sono disturbati da *forze* esterne, *ricercheranno* spontaneamente tale *luogo*. In questo consiste il *moto naturale*<sup>5</sup>

**G.** capì che, fra tutti i moti osservabili in Natura, proprio quello di caduta libera avrebbe permesso di elaborare gli strumenti per interpretare qualsiasi moto di qualsiasi corpo.

Inoltre l'approccio da parte di Galileo allo studio di questo fenomeno è un ottimo esempio di **applicazione del Metodo Scientifico**.

- Innanzitutto **G.**, osservando il comportamento di diversi oggetti in caduta libera, **ipotizzò** che la velocità di caduta dei corpi fosse indipendente dalla forma e dalla massa, in assenza d'aria. Cioè che due corpi, di forma e massa differenti, lasciati cadere (cioè con iniziale nulla:  $v_0 = 0$ ), nel vuoto, toccano terra nello stesso istante<sup>6</sup>.
- Poi, **teorizzò** che il moto di caduta libera avvenisse con un incremento di velocità costante nel tempo, quindi con **accelerazione** costante<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> Le lettere maiuscole indicano l'idealizzazione, di tali elementi, rispetto ai corrispettivi *reali*.

<sup>5</sup> Quando un corpo sarà scagliato, spinto, trascinato, il *moto* sarà *violento*. **A.** indica con il termine "proiettore" il *motore prima* del *moto violento* e con il termine "proietto" il *mobile*.

Il *proiettore* imprime allo strato del *mezzo* in cui si muoverà il *proietto*, adiacente a questo, una "*virtù movente*" ovvero la capacità di essere *motore*: la capacità di mettere in moto qualcos'altro. Questa *virtù* sarà così trasmessa via via agli strati successivi che spingeranno il *proietto* finché tale *virtù* (anche a causa dell'azione frenante degli strati antecedenti dello stesso mezzo) non si esaurirà.

<sup>6</sup> Nella fisica moderna l'espressione "caduta libera" indica infatti una caduta nella quale agisce solo la **forza di gravità**, mentre l'attrito dell'aria è *trascurabile*. Pochi anni dopo la morte di **G.**, l'invenzione della pompa a vuoto permise di dimostrare quest'ipotesi.

<sup>7</sup> Nei "**Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze**", Giornata prima, Salviati afferma: "[...] *se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie discenderebbero con eguali velocità*". Infatti in assenza d'attrito tutti i corpi in caduta libera sono soggetti all'accelerazione di gravità **g** costante per altezze dal suolo non troppo elevate.

Questa legge (dimostrata da **G.** con un raffinato ragionamento per assurdo, piuttosto che lasciando cadere dalla torre di Pisa -come vuole la leggenda- oggetti di diverse dimensioni) è in netta contrapposizione con **A.** che afferma invece che il moto di caduta avviene a **velocità costante** e proporzionale alla **massa** del corpo.

In effetti l'**aria** esercita sui corpi in caduta una **forza d'attrito**, dipendente dalla velocità, dalla viscosità del mezzo e dalla forma del corpo, il cui effetto è quello di frenarne la caduta e perciò, dopo un'accelerazione iniziale, un corpo

Ai tempi di **G.** era impossibile *misurare direttamente* la **velocità** di un corpo che sta per toccare terra.

**G.** non si scoraggiò e, innanzitutto, cercò di trasformare la tesi da dimostrare,  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = cost$ , in

una relazione fra grandezze più facili da misurare: spostamento e tempo, cioè:  $\Delta s = \frac{1}{2} at^2$ <sup>8</sup>.

- Verificare se  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = cost$  o se  $\frac{\Delta s}{t^2} = cost$ , è dunque equivalente.

Ai tempi di **G.** era però molto difficile misurare anche il tempo di caduta perciò dovette escogitare un'ingegnosa **verifica indiretta**. E, per questo, introdurre un'*ipotesi ausiliaria*:

*“... se un corpo in caduta libera si muove di accelerazione costante, allora una palla perfettamente sferica, che rotola lungo un piano inclinato perfettamente liscio, avrà anch'essa un'accelerazione costante, anche se minore”*

**G.** descrisse l'esperimento relativo alla legge di caduta dei gravi nel modo seguente: (**ESERCIZIO**: traduci la situazione descritta, aiutandoti con il dizionario, in linguaggio moderno e scrivendo una vera e propria scheda di laboratorio. Aiutati con **disegni**):

*“In un regolo di legno, lungo circa 12 braccia, e largo per un verso mezzo braccio e per l'altro 3 dita, si era in questa minor larghezza incavato un canaletto, per più largo d'un dito; tiratolo drittissimo, e, per averlo ben pulito e liscio, incollatovi dentro una carta pecora zannata e lustrata al possibile, si faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotolata e pulita.*

*Costruito che si era il detto regolo pendente, elevando sopra il piano orizzontale una delle sue estremità un braccio o due ad arbitrio, si lasciava scendere per il detto canale la palla, notando [...] il tempo che consumava nello scorrerlo tutto, replicando il medesimo atto molte volte per assicurarsi bene della quantità del tempo, nel quale non si trovava mai differenza né anco della decima parte d'una battuta di polso.*

*Fatta e stabilita precisamente tale operazione, facemmo scender la medesima palla solamente per la quarta parte della lunghezza di esso canale; e misurato il tempo della sua scesa, si trovava sempre puntualissimamente essere la metà dell'altro: e facendo poi l'esperienza di altre parti, esaminando ora il tempo di tutta la lunghezza col tempo della metà, o con quello delli duo terzi, o in conclusione con qualunque altra divisione, per esperienze ben cento volte replicate sempre si incontrava, gli spazii passanti essere tra di loro come i quadrati dei tempi, e questo in tutte le inclinazioni del piano, cioè del canale nel quale si faceva scender la palla [...].*

Per giungere a dimostrare la legge di caduta libera, dovrai ripetere l'esperimento con differenti inclinazioni del piano inclinato.

Viste le cose che sai, dovresti saper descrivere completamente qual è la forza agente sulla biglia che rotola e in che modo tale forza dipende dall'inclinazione del piano, vero?

Per i gruppi che non siano riusciti a scrivere una scheda di laboratorio soddisfacente, ne avrò pronta una io, ma quei gruppi partiranno con un voto in meno.

Buon lavoro!

---

in caduta libera raggiunge una velocità limite  $v$  costante e proporzionale al peso del corpo, proprio come asseriva **Aristotele** (ignorando però quell'accelerazione iniziale che invece è fondamentale...)!

<sup>8</sup> **N.B. G.** non utilizzava la scrittura simbolica che utilizziamo noi ma esprimeva i concetti “ a parole”.