

ANCHE GALILEO PUÒ ERRARE

ANDREA FROVA

Dipartimento di Fisica, Università di Roma «La Sapienza»

1. Errori strategici

Nella sua vita, l'uomo Galileo di errori ne commise molti, più grande di tutti quello di essersi inimicato molti ecclesiastici,¹ e ancor più di aver sopravvalutato l'intelligenza e/o la statura morale della Chiesa. Galileo ritenne con grande ingenuità che, in fatto di moti del sistema Terra-Sole, essa si sarebbe lasciata persuadere dalla forza degli argomenti che egli era in grado di produrre. Se non altro per prudenza, onde non correre il rischio di vedersi presto clamorosamente smentita, con ripercussioni sulla sua credibilità (ma questo, a onor del vero, non sembra essere mai stato un elemento condizionante nelle pronunce della Chiesa, lo abbiamo anche oggi sotto gli occhi).

Galileo enunciò molto chiaramente questo principio di cautela nelle celebri «lettere copernicane» indirizzate a padre Benedetto Castelli e alla graduchessa Cristina di Lorena.² La sua fiducia e onestà intellettuale di scienziato furono puntualmente tradite, e lo sarebbero ancora oggi; basta pensare che la Commissione istituita da Giovanni Paolo II per la cosiddetta riabilitazione del Nostro – nata all'insegna di «... mai più un caso come quello di Galileo» – ha concluso che «la Chiesa si comportò in modo scientificamente più corretto dello stesso Galileo»; o anche ricordare che una quindicina di anni fa Joseph Ratzinger ha affermato pubblicamente che «la condanna di Galileo fu ragionevole e giusta». Ma non è di questo genere di errori, ben noti al vasto pubblico e pagati cari dell'interessato, che qui si vuole discutere, bensì di quelli, assai più rari e in certo senso preziosi, in cui egli incorse operando sul suo stesso terreno professionale.

2. Errori scientifici

Anche lo scienziato Galileo, pur nella sua grandiosa produzione scientifica, che a buon diritto lo fa definire in tutto il mondo «l'inventore della scienza», non fu esente da pecche, talvolta elementari, talvolta curiosamente in contraddizione con le sue stesse scoperte e invenzioni, talvolta proprio là dove più aveva diretto le sue potenti capacità di investigatore, vale a dire in merito alla mobilità della Terra e ai principi di inerzia e di relatività. O forse proprio per questo: da una parte, erano argomenti sui quali egli si sentiva così sicuro da esporli senza una doppia riflessione; dall'altra erano temi che gli stavano talmente a cuore da spingerlo su posizioni emotive dove la sua splendida mente, *una tantum*, poteva venire offuscata. Ma si tratta di evenienze così sporadiche da apparire soltanto eccezioni alla regola, atte quasi a evidenziare il suo abituale impeccabile rigore, così come una dissonanza dà risalto all'armonia dei suoni o il chiaroscuro al fulgore

della luce. E si tratta di errori benedetti per i comuni mortali, testimonianza di come persino gli eccelsi possano sbagliare, persino nel loro settore di competenza.

Gli errori, nella sua opera enciclopedica, vanno quindi cercati come gemme di gran pregio. Ve ne sono di più e di meno noti. Ad esempio, l'errata teoria delle maree – peraltro sotto certi aspetti geniale – è il suo abbaglio più conosciuto. In quel caso, Galileo decise di ignorare nozioni che pure erano diffuse sin dall'antichità, e precisamente il fatto che l'attrazione della Luna e del Sole sulle masse acquee gioca un ruolo cruciale. Da Aristotele in poi nessuno avrebbe negato tale ovvia constatazione. Già Dante, secoli prima, aveva scritto: «*E come l'volger del ciel de la luna cuopre e discuopre i liti sanza posa...*». È davvero stupefacente come il sacro fuoco che spingeva Galileo a cercare una prova sperimentale dei moti della Terra – rotazione sul proprio asse e rivoluzione attorno al Sole – possa avergli fatto commettere deliberatamente un simile fallo.

Un altro aspetto poco limpido è che Galileo si riferisce ai due moti circolari a velocità costante come a moti «equabili e uniformi» – laddove si tratta di moti uniformemente accelerati – pretendendo poi che una combinazione dei due dia luogo a un moto «disuniforme». Più che un concetto di inerzia circolare, come qualche storico ha suggerito, ciò indica l'assenza in lui della nozione di velocità come vettore, per cui si ha accelerazione anche quando il moto si limita a cambiare direzione.

Sulla stessa problematica si innesta l'errata interpretazione degli alisei, i quali sono sì prova della rotazione terrestre, ma per tutt'altre motivazioni che non quelle avanzate dal Nostro. In confronto alle maree, si tratta qui di un abbaglio di modesta entità, dato che gli effetti della forza di Coriolis - quella forza fittizia che si manifesta sui corpi in movimento in un sistema non inerziale - erano a quei tempi del tutto inimmaginabili (benché, vedremo, Galileo avesse sottocchio un altro effetto - oltre agli alisei - che parlava chiaro in merito ai caratteristici fenomeni che si svolgono di un sistema rotante).

Se una certa confusione in fatto di una possibile inerzia circolare non era a quell'epoca un peccato capitale, nella descrizione che Galileo fa della tecnica di puntamento dei cacciatori agli uccelli in volo ci si imbatte invece in un diretto e inequivocabile errore di applicazione del principio di inerzia. Qui Galileo si dà letteralmente la zappa sui piedi, peraltro senza alcuna attenuante, visto che l'argomento è indubabilmente uno di quelli su cui più a lungo si è soffermato. Il brano è contenuto all'interno di un esauriente dialogo relativo ai principi di inerzia e relatività, ed è condito da tanti validissimi esempi - come la pietra in caduta dall'albero della nave o la freccia lanciata da una carrozza in corsa - per cui può accadere che passi inosservato.

Illustrerò i suddetti tre problemi, più quello relativo alla «forza del vuoto», lasciando da parte altri argomenti sui quali Galileo ha combinato pasticci, e cioè la teoria delle comete, dove l'aspra polemica con il padre Orazio Grassi, gesuita e suo grande nemico, gli fa sostenere tesi alquanto bizzarre, in particolare che le comete sarebbero effetti ottici dovuti ai riflessi della luce solare sui vapori che circondano la Terra, quindi a noi molto vicini. E poi le idee un po' ballerine sull'infinito e sugli infinitesimi, dove il suo volere la natura matematizzata a tutti i costi (insieme al timore di accuse di atomismo

e con esso di eresia eucaristica³) lo induce a tracciare una stretta corrispondenza tra segmenti geometrici/punti e materia aggregata/particelle costituenti. E anche alcune congetture assai curiose riguardanti le forze, ad esempio che tra le molecole dell'acqua non si eserciti forza alcuna in quanto essa è facilissimamente penetrabile.

3. Teoria delle maree: geniale ma errata

Cominciamo con il leggere un passo galileiano. Nel *Dialogo* egli fa dire a Salviati:⁴

Parleremo prima del periodo diurno, come quello che è il principale... Ora, ripigliando il nostro ragionamento, replico e rafferma, esser sin ora ignoto come possa essere che l'acque contenute dentro al nostro seno Mediterraneo facciano quei movimenti che far se gli veggono, tuttavoltaché l'istesso seno e vaso contenente resti immobile...

Due sorte di movimenti posson conferirsi ad un vaso, per li quali l'acqua, che in esso fusse contenuta, acquistasse facultà di scorrere in esso... Il primo sarebbe quando or l'una or l'altra di esse estremità si abbassasse... L'altra sorta di movimento è quando il vaso si muovesse... di moto progressivo, non uniforme, ma che cangiasse velocità, con accelerarsi talvolta ed altra volta ritardarsi... i quali effetti possiamo più apertamente dichiarare e manifestare al senso con l'esempio di una di queste barche le quali continuamente vengono da Lizzafusina, piene d'acqua dolce per uso della città.

Figuriamoci dunque una tal barca venirsene con mediocre velocità per la Laguna, portando placidamente l'acqua della quale ella sia piena, ma che poi, o per dare in secco o per altro impedimento che le sia opposto, venga notabilmente ritardata; non perciò l'acqua contenuta perderà, al pari della barca, l'impeto già concepito, ma, conservandoselo, scorrerà avanti verso la prua, dove notabilmente si alzerà, abbassandosi dalla poppa...

Sèguita ora che dimostriamo, come ed in qual maniera sia vero che il Mediterraneo e tutti gli altri seni, ed in somma tutte le parti della Terra, si muovano di moto notabilmente difforme, benché movimento nessuno che regolare ed uniforme non sia, venga a tutto l'istesso globo assegnato...

Due aviamo detto essere i moti attribuiti al globo terrestre... Dalla composizione di questi due movimenti, ciascheduno per se stesso uniforme, dico risultare un moto difforme nelle parti della Terra: il che, acciò più facilmente s'intenda, dichiarerò facendone la figura.

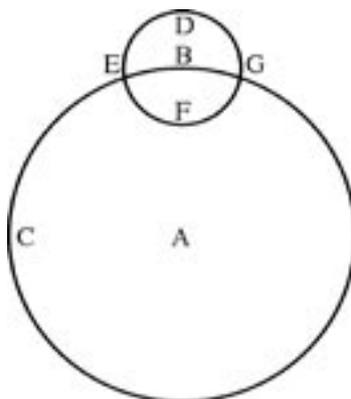


Figura 1.

Concludiamo per tanto, che sì come è vero che il moto di tutto il globo e di ciascuna delle sue parti sarebbe equabile ed uniforme quando elle si movessero d'un moto solo, o fusse il semplice annuo o fusse il solo diurno, così è necessario che, mescolandosi tali due moti insieme, ne risultino per le parti di esso globo movimenti difformi, ora accelerati ed ora ritardati...

L'esempio della barca di Lizzafusina mostra come a Galileo sia assolutamente chiaro che i corpi situati in sistemi accelerati sono soggetti a forze (quelle che oggi chiamiamo «forze fittizie»). Di più, egli si rende anche conto che un «flusso e reflusso delle acque» può solo aversi se l'accelerazione varia periodicamente nel tempo (questo è ciò che egli intende quando parla di «moto difforme»). Egli però commette i seguenti errori: 1. di ritenere che il moto circolare sia un moto uniforme, contraddicendo al suo stesso principio di inerzia; 2. che dalla combinazione di due moti uniformi se ne origini uno accelerato, contraddicendo al suo stesso principio di relatività. Collisione diretta, dunque, con le colonne portanti della scienza galileiana.

Nel pensare al moto combinato di rotazione e rivoluzione della Terra attorno al Sole, è lecito supporre che Galileo avesse presente il comportamento di un certo tipo di giostra complessa dove i sedili dei passeggeri ruotano attorno a un fulcro che a sua volta ruota su un raggio più grande grazie a una piattaforma girevole (si veda la figura 2). Se allora Galileo non era in grado di calcolarsi i parametri del moto e l'eventuale effetto di marea in un sistema del genere, oggi anche uno studente di liceo può farlo per lui. Evitando la derivazione, vediamo a quali risultati si perverrebbe.

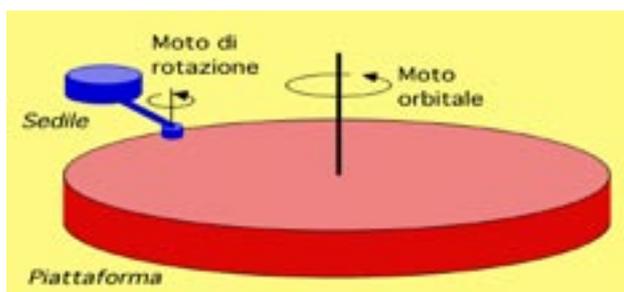


Figura 2 - La giostra complessa che simula il comportamento del sistema Terra-Sole.

Il moto del sedile del passeggero come risulta dal doppio moto circolare uniforme, per valori fissati dei periodi di rotazione T_1 e orbitale T_2 , e dei rispettivi raggi R_1 e R_2 , è una cicloide rappresentata in figura 3,

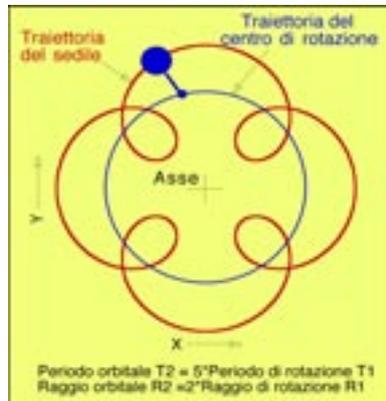


Figura 3 - Traiettoria cicloidale del sedile della giostra complessa, calcolata per valori dei raggi e dei periodi di rotazione che stanno nei rapporti mostrati.

e il risultante andamento dell'accelerazione nel tempo è illustrato in figura 4. Si vede che, come intuito da Galileo, l'accelerazione varia periodicamente nel tempo tra massimi e minimi. Se i due periodi individuali sono molto diversi, il periodo di tali oscillazioni è molto vicino al più piccolo dei due.

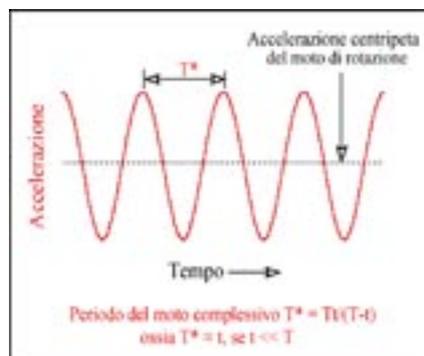


Figura 4 - Oscillazioni periodiche nell'accelerazione del sedile attorno al valore che compete al solo moto di rotazione del sedile.

Trasferiamo adesso il discorso al sistema Terra-Sole, considerando le due rotazioni in successione. Quanto a quella della Terra sul proprio asse, essa è $\omega = 7,27 \times 10^{-5}$ rad/s, e il suo raggio r varia tra zero (poli) e 6.360 km (equatore). L'accelerazione centripeta $-\omega^2 r$ di tale moto si oppone a quella di gravità $g = 9,81$ m/s², riducendola di fatto al valore «efficace» $g' = g - \omega^2 r$. La corrispondente forza centrifuga causa un alleggerimento di tutti i corpi, nullo ai poli e massimo all'equatore. Qui si calcola $\omega^2 r = 3,42 \cdot 10^{-3} \cdot g$ e quindi si ha un'accelerazione di gravità efficace che vale $0,9966 \cdot g$. Per quanto riguarda le acque, questo effetto produce una condizione di stabile rigonfiamento degli oceani presso l'equatore, o se preferiamo di schiacciamento ai poli, senza variazioni nel tempo.

Aggiungiamo adesso il termine di accelerazione centripeta derivante dal moto

orbitale (la cui velocità angolare è $\Omega = 0,020 \times 10^{-5}$ rad/s e il raggio $R=150$ milioni di km), che è circa eguale per tutti i punti della Terra. Si calcola $\Omega^2 R = 0,60 \cdot 10^{-3} \cdot g$, valore che va sommato alla precedente accelerazione alla mezzanotte e sottratto a mezzogiorno, come illustra la figura 5. All'equatore l'accelerazione di gravità efficace è allora

$$g' = g - \omega^2 r + \Omega^2 R = 0,9972 \cdot g \text{ a mezzogiorno}$$

$$g' = g - \omega^2 r - \Omega^2 R = 0,9960 \cdot g \text{ a mezzanotte}$$

con un'escursione $\Delta g/g$ pari allo 0,12% (ossia il peso di una massa di 1 grammo d'acqua varia di 1,2 mg-peso). Mentre la Terra gira, le acque continuano allora a fluire dall'emisfero illuminato della Terra, dove pesano di più, verso quello buio, dove pesano meno, ma l'effetto di marea così calcolato soffre di parecchi inconvenienti.

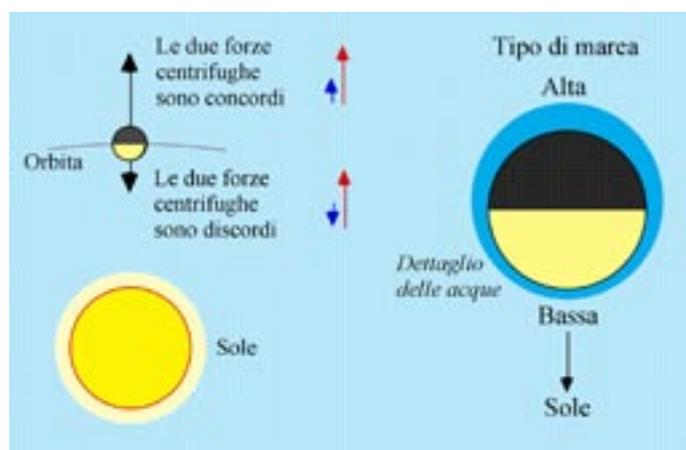


Figura 5 - L'effetto di marea calcolato secondo il modello proposto da Galileo presenta un solo massimo nelle 24 ore, e sempre di notte.

Primo, il ciclo avviene con un periodo dei massimi, sempre notturno, di 24 ore e 4 minuti, contro l'osservazione sperimentale, ben nota già a Galileo, di 12 ore e 25 minuti. Che il periodo così calcolato dovesse rivelarsi molto vicino a quello del giorno terrestre era qualitativamente prevedibile anche senza fare i conti e c'è veramente da chiedersi come Galileo, per solito così attento anche alle minime marcature dei fenomeni osservati, si sia fatto sfuggire questa così vistosa circostanza.

Secondo, l'escursione di marea che ne risulta è gigantesca, qualcosa dell'ordine di chilometri, contro il massimo mondiale di 16 m, osservato nella Baia di Fundy in Canada. Questo aspetto, però, era fuori dalla portata di Galileo, che se non era nella posizione di calcolarsi le accelerazioni, tanto meno poteva stimare le forze di marea e l'entità degli effetti conseguenti (ci vorrà parecchio tempo perché si arrivi a calcolare le reali accelerazioni in gioco, che corrispondono a valori assai più piccoli di quelli qui calcolati).

Terzo, non v'è alcun modo di prevedere le variazioni periodiche nelle escursioni di marea, per cui i massimi e i minimi si ripresentano nel tempo con valori diversi,

circostanza che a Galileo era ben nota. Strana negligenza, spiegabile solo con l'estrema foga di un uomo alla disperata ricerca di qualcosa che dimostri concretamente i moti della Terra, quasi fosse la prova determinante della sua innocenza.

L'inclusione delle forze gravitazionali esercitate da Sole e Luna sulle masse oceaniche, oltre alle accelerazioni che competono ai moti relativi nel sistema a due corpi Terra-Luna, risolve d'un colpo tutte le difficoltà. Il centro della Terra ha come traiettoria il luogo dei punti dove tutte le forze, reali e fittizie, si annullano, quindi alla sua superficie conta soltanto la differenza tra forze gravitazionali e forze centrifughe. Essa non è zero per via della loro diversa dipendenza dalla distanza tra i corpi, ma ovviamente è molto piccola. Nei punti sottostanti la Luna domina la forza gravitazionale (o se vogliamo prevale l'accelerazione gravitazionale), nei punti agli antipodi domina la forza centrifuga (o se vogliamo prevale l'accelerazione centripeta), come schematizzato in figura 6. In entrambi i casi si realizzano simultaneamente le condizioni per un massimo di marea, il cui periodo è di 12 ore e 25 minuti giacché, mentre la Terra fa mezzo giro su se stessa, la Luna si sposta di un po' nello stesso verso.

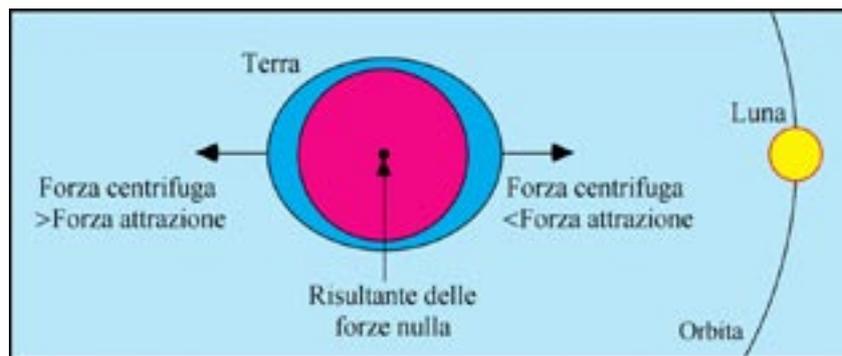


Figura 6 - Nel meccanismo corretto di produzione della marea contano soltanto le differenze tra forze reali e forze fittizie (ovvero tra le rispettive accelerazioni) e ciò riduce circa alla metà l'intervallo di tempo tra due massimi.

Evitando di fare i conti, peraltro molto semplici, nel passare da una condizione di minimo a una di massimo si trova una variazione relativa per l'accelerazione «efficace» pari a

$$\Delta g/g = 1,1 \cdot 10^{-7} \quad \text{per il contributo della Luna}$$

$$\Delta g/g = 0,51 \cdot 10^{-7} \quad \text{per quello del Sole}$$

quindi ben quattro ordini di grandezza inferiori a quella stimata in base al modello di Galileo. La Luna è quindi la principale responsabile dell'effetto, mentre al Sole spettano le variazioni nell'escursione di marea (massima escursione se i due astri sono in congiunzione o opposizione, marea delle *sizigie*, minima se con la Terra formano un angolo retto, marea delle *quadrature*).

Un particolare curioso: Galileo era così incredibilmente convinto della bontà del

suo modello, da voler dare al libro, che pure copriva un'enorme varietà di temi, il titolo *Flusso e refluxo del mare*, anziché quello definitivo di *Dialogo sopra i due massimi sistemi*. Fu papa Urbano VIII a opporsi minacciando di non concedere l'*imprimatur*, una volta tanto venendo involontariamente in aiuto dello scienziato.

Questo terzo svarione di Galileo, ossia il non tener conto degli effetti della gravitazione, fu in parte motivato dalla sua innata (e salutare) diffidenza verso tutto quel bagaglio di antiche superstizioni che attribuivano agli astri un ruolo determinante sulla vita degli uomini e sulla natura. Galileo non crede ai miracoli, non crede ai sortilegi e alle magie, tanto da negare aprioristicamente qualsiasi fenomeno che appaia scarsamente tangibile e implausibile nell'ambito delle leggi di natura conosciute. Lo professa in varie occasioni, una per tutte quella in cui, nel *Dialogo*, mette in bocca (imprudentemente) a Salviati, in risposta all'idea di Simplicio che la velocità nel moto accelerato aumenti per salti:

Io non ho detto, né arderei dire, che alla natura e a Dio fusse impossibile il conferir quella velocità, che voi dite, immediatamente; ma dirò bene che de facto la natura non lo fa; talché il farlo verrebbe ad esser operazione fuora del corso naturale, e però miracolosa.

4. I venti alisei

Per gli aristotelici una delle prove dell'immobilità della Terra era l'assenza di vento. Ignorando il principio di conservazione del momento angolare per cui l'atmosfera, non essendo soggetta a forze esterne, deve muoversi solidalmente con il globo condensato da cui ha tratto origine, Galileo si trova in grande difficoltà. Tuttavia, avendo appena formulato il principio di inerzia, egli non dovrebbe accettare facilmente l'idea che un sistema isolato, libero da azioni esterne, possa avere dei comportamenti così differenziati nelle sue parti (forse qui pretendo troppo, al tempo di Galileo a nessuno veniva in mente di interrogarsi sulla nascita dei pianeti).

Invece, avendo avuto notizia dell'esistenza degli alisei, venti costanti che spirano sulle distese oceaniche, anziché andare alla ricerca di un principio generale che giustificasse il trascinarsi dell'atmosfera, carica su di essi tutto il peso della questione. I venti sarebbero assenti laddove la Terra presenta delle asperità, quali i rilievi montuosi, che avrebbero l'effetto di bloccare il flusso dell'aria, ma si manifesterebbero sulle grandi distese d'acqua. Nelle parole di Galileo:

dove la superficie del globo avesse grandi spazii piani [...] cesserebbe in parte la causa per la quale l'aria ambiente dovesse totalmente obbedire al rapimento della conversion terrestre.

Particolare significativo: i naviganti riportavano che la velocità degli alisei era poco più di una decina di chilometri all'ora, mentre fin dall'antichità si sapeva che la velocità di movimento dei punti alla superficie terrestre era circa cento volte maggiore (Galileo dice esplicitamente «nel cerchio massimo del globo è poco meno di mille miglia per ora»⁵). Molto più grande ancora è la velocità che competerebbe ai presunti venti

associati al moto della Terra lungo l'orbita solare⁶. Discrepanza ben dura da mandar giù. Su questo punto è indubbio che Galileo sorvola con eccessiva leggerezza, trascinato dalla sua foga dimostrativa.

Ed ecco un grazioso passo del *Dialogo* che illustra una delle conseguenze del «rapimento» dell'atmosfera ad opera delle asperità del suolo:⁷

SAGREDO: «Ma questi uccelli, che ad arbitrio loro volano innanzi e 'ndietro e rigirano in mille modi, e, quel che importa più, stanno le ore intere sospesi per aria, questi, dico, mi scompigliano la fantasia, né so intendere come tra tante girandole e' non ismarriscano il moto della Terra, o come e' possin tener dietro a una tanta velocità...».

SALVIATI: «Quando gli uccelli avessero a tener dietro al corso de gli alberi con l'aiuto delle loro ali, starebbero freschi; e quando e' venisser privati dell'universal conversione, resterebbero tanto indietro, e tanto furioso apparirebbe il corso loro verso ponente, a chi però gli potesse vedere, che supererebbe di assai quel d'una freccia... Ma la verità è che il moto proprio de gli uccelli, dico del lor volare, non ha che far nulla co 'l moto universale, al quale né apporta aiuto né disaiuto: e quello che mantiene inalterato cotal moto ne gli uccelli, è l'aria stessa per la quale e' vanno vagando, la quale, seguitando naturalmente la vertigine della Terra, sì come conduce seco le nugole, così porta gli uccelli ed ogn'altra cosa che in essa si ritrovasse pendente: talché, quanto al seguir la Terra, gli uccelli non v'hanno a pensare, e per questo servizio potrebbero dormir sempre».⁸

Nella prima metà dell'Ottocento, l'ingegner Coriolis ci spiega come i corpi in movimento su sistemi non inerziali, qual è la Terra, siano soggetti alla forza che porta il suo nome. Come conseguenza della rotazione terrestre, il flusso d'aria che costantemente soffia dal Polo all'equatore, piega verso Ovest e questa è la vera origine degli alisei. Merita sottolineare che il verso è lo stesso che avrebbero nella spiegazione galileiana, ma il meccanismo fisico, tutto diverso, porta a un valore appropriato della velocità del vento; i controalisei, che si manifestano in alta quota, soffiano in senso contrario, un aspetto che ovviamente non è spiegabile nell'ambito dell'ipotesi galileiana.

5. Colpire bersagli in volo

Con questo esempio Galileo - forse fuorviato da uno sprovveduto cacciatore - demolisce in brevi parole una delle sue glorie, il principio d'inerzia. Leggiamo, sempre dal *Dialogo*, il suo suggerimento di come si debba puntare e tirare agli uccelli in volo:

Ed ora [...] vengo a intender la ragione di un problema venatorio di questi imberciatori che con l'archibuso ammazzano gli uccelli per aria: e perché io mi era immaginato che per còrre l'uccello fermassero la mira lontana dall'uccello, anticipando per certo spazio, e più o meno secondo la velocità del volo e la lontananza dell'uccello, acciò che sparando ed andando la palla a dirittura della mira venisse ad arrivar nell'istesso tempo al medesimo punto, essa co 'l suo moto e l'uccello co 'l suo volo, e così si incontrassero;⁹ domandando ad uno di loro se la lor pratica fusse tale, mi rispose di no, ma che l'artificio era assai più

facile e sicuro, e che operano nello stesso modo per appunto che quando tirano all'uccello fermo, cioè che aggiustano la mira all'uccel volante, e quello co 'l muover l'archibuso vanno seguitando, mantenendogli sempre la mira addosso sin che sparano, e che così gli imberciano come gli altri fermi. Bisogna dunque che quel moto, benché lento, che l'archibuso fa nel volgersi, secondando con la mira il volo dell'uccello, si comunichi alla palla ancora... sì che la palla abbia dal fuoco il moto diritto in alto, e dalla canna il declinar secondando il volo dell'uccello... Il tener dunque la mira continuamente indirizzata verso lo scopo fa che il tiro va a ferir giusto...

Chiarezza vuole che si illustri con un piccolo schema il discorso errato di Galileo, e poi quello corretto (figura 7). Se si sparasse come suggerisce Galileo, tenendo il fucile sempre puntato sull'uccello e seguendone il volo, le prede se la caverebbero senza

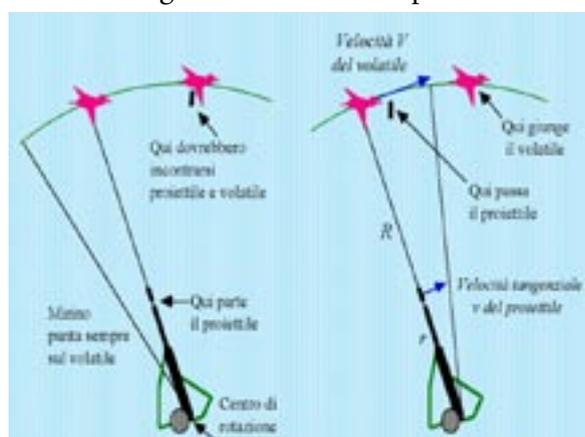


Fig. 7 - Puntamento del cacciatore: a sinistra la descrizione di Galileo, a destra quello che corrisponde a una corretta applicazione del principio d'inerzia.

danno, poiché si lascerebbero i proiettili alle spalle. Uscendo dalla canna, infatti, la velocità tangenziale v del proiettile deve conservarsi. Ma la velocità V del volatile è molto maggiore, essendo data da quella del proiettile moltiplicata per il rapporto dei raggi $R/r \gg 1$, quindi proiettile passa parecchio *dietro* il volatile. Si tratta di un semplice esercizio di applicazione del principio di inerzia e Galileo vi inciampa come un principiante! Una bella consolazione per noi comuni mortali, e un monito a dubitare sempre anche delle nostre certezze più salde.

6. L'inesistente «forza del vuoto»

Un altro curioso qui-pro-quo in cui Galileo incorre è che sussista una «forza del vuoto», concetto di aristotelica memoria, forza che Galileo ritiene addirittura di misurare come la resistenza offerta all'estrazione di un pistone da un vaso cilindrico. Non si rende conto che invece sta determinando il valore della pressione atmosferica esterna, la cui esistenza avrebbe dovuto essergli conosciuta, visto che aveva di persona effettuato un esperimento per mostrare che l'aria ha un peso. L'idea della forza del vuoto nasce dall'osservazione che occorre fare uno sforzo per separare due lastre ben levigate. Se una viene sollevata rapidamente, l'altra la segue come se fosse incollata ad essa. Galileo

ripete un esperimento di Aristotele, nel quale si misurava la forza necessaria per estrarre uno stantuffo da un cilindro a tenuta.

Oggi l'esperimento può essere rapidamente eseguito con una siringa farmaceutica - come mostrato in figura 8 - appendendo un secchiello allo stantuffo e riempiendolo gradualmente di sabbia finché non comincia a scendere. Si trova un risultato molto vicino a quello noto per il peso della colonna atmosferica che insiste sulla sezione dello stantuffo (Galileo, con mezzi assai più laboriosi aveva misurato circa la metà). Sarà il suo allievo Torricelli, solo qualche anno più tardi, a capire la vera origine del fenomeno e allora il passo di lì all'invenzione del barometro sarà brevissimo.



Figura 8 - Come misurare la pressione atmosferica dalla forza necessaria per estrarre lo stantuffo da una siringa chiusa alla sommità.

NOTE

¹ Il padre Grienberger del Collegio Romano dei Gesuiti così si esprime: «Se il Galileo si avesse saputo mantenere l'affetto dei Padri di questo Collegio, vivrebbe glorioso al mondo e non sarebbe stato nulla delle sue disgrazie, e harebbe potuto scrivere ad arbitrio suo d'ogni materia, dico anco di moti della terra, etc.» (Lettera di Galileo del 1634 a Elia Diodati, Ed. Naz. XVI, p. 115).

² Se ne possono leggere ampi stralci ad esempio in bibliografia [1].

³ Occorre dire che le concezioni atomistiche alla Democrito (che Galileo nel *Saggiatore* aveva mostrato di condividere), postulando che le varie sostanze fossero costituite da un unico tipo di particelle solo diversamente figurate e combinate, erano all'epoca considerate inconciliabili con la dottrina cattolica, in quanto avrebbero contraddetto il dogma della transustanziazione, appena stabilito nel Concilio di Trento. In effetti Galileo fu denunciato presso il Sant'Uffizio - da un anonimo facilmente individuabile nel gesuita Orazio Grassi - per eresia eucaristica [2].

⁴ *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Giornata quarta, Ed. Naz. VII, p. 442 e segg.

⁵ Per l'esattezza 1660 km/h, come si calcola subito dal periodo di rotazione della Terra e dal suo raggio.

⁶ Il suo valore è di 107.500 km/h.

⁷ *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, Ed. Naz. V.

⁸ Lo stesso concetto, altrove, si trova espresso in maniera più greve: «... è meraviglia che altri possa urinare, correndo noi così velocemente dietro all'urina; o almanco ci doveremmo urinare giù per le ginocchia». (Postilla di Galileo a *Contro il moto della Terra* di Lodovico delle Colombe, Ed. Naz. III, p. 255).

⁹ Si noti che questo è proprio il meccanismo corretto!

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Frova e M. Marenzana, *Parola di Galileo*, RCS-Libri, Superbur Saggi, Milano 1998 (si veda, in particolare, il Cap. 11).
- [2] P. Redondi, *Galileo eretico*, Einaudi, Torino 1983.