

The authorship of the Principle of Inertia

La paternità del Principio d’Inerzia

Luca Nicotra¹

Parte I

Abstract

According to some currents of modern historiography, Galilei's propensity for circular motion would have led him to consider this and not rectilinear motion as “natural motion”; therefore the principle of inertia could not be fully attributed to Galileo, which he would never have formulated. The question of the authorship of the principle of inertia certainly weighs on both nationalistic elements and returns of antigaleleism, while the question of its not explicit formulation as a principle is due to ignorance of the type of organization that Galileo intended to give to the exposition of his physics. The author, after having hinted at possible prodromes of the principle of inertia and having reported the adverse opinions of illustrious historians of science (A. Koyré, I. B. Cohen, P. M. Duhem, P. Rossi, G. Holton), through a careful analysis of the Galilean writings, conducted on the digital versions with the help of text analysis programs, firmly reaffirms Galileo's authorship of the principle of inertia and the consequent principle of classical relativity.

Sunto

Secondo alcune correnti della storiografia moderna, la propensione di Galilei per il moto circolare lo avrebbe portato a ritenere come “moto naturale” questo e non il moto rettilineo; quindi a Galileo non si potrebbe attribuire pienamente il principio di inerzia, che non avrebbe nemmeno mai formulato. Sulla questione della paternità del principio d’inerzia gravano certamente sia

¹ Ingegnere. Presidente dell’A. P. S. “Arte e Scienza”, Direttore responsabile di: «Periodico di Matematica», «Bollettino dell’Accademia di Filosofia delle Scienze Umane», «ArteScienza»; Rome, Italy; luca.nicotra1949@gmail.com.

elementi nazionalistici sia ritorni di antigaleismo, mentre la questione di una sua non esplicita formulazione come principio è dovuta all'ignoranza del tipo di organizzazione che Galileo intendeva dare all'esposizione della sua fisica. L'autore, dopo aver accennato a possibili prodromi del principio di inerzia e aver riportato le avverse opinioni di illustri storici della scienza (A. Koyré, I. B. Cohen, P. M. Duhem, P. Rossi, G. Holton), attraverso un'attenta analisi degli scritti galileiani, condotta sulle versioni digitali con l'aiuto di programmi di analisi del testo, riafferma con decisione la paternità di Galileo del principio di inerzia e del conseguente principio di relatività classica.

Keywords: Inertia, natural motion, principle of classical relativity.²

Parole chiave: Inerzia, moto naturale, principio classico di relatività.

1. Introduction

La formulazione del Principio d'Inerzia oggi corrente è la seguente: *un corpo non sottoposto ad azioni esterne, o a qualsivoglia numero di forze esterne la cui risultante sia nulla, persiste nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme*. Oppure in forma equivalente: *un corpo persiste nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, fin tanto che su di esso non agisce una forza esterna netta in grado di mutarne lo stato*.

Tale Principio, noto anche come Primo Principio della Dinamica, individua quindi nella forza la causa della variazione di velocità (accelerazione) e non della velocità stessa, come erroneamente affermato da Aristotele (384-322 a.C.) e confutato per la prima volta da Galileo Galilei (1564-1642). Tale legame causale è poi ancora più esplicitamente espresso in termini quantitativi nel Secondo Principio della Dinamica ($\underline{F} = m \underline{a}$), secondo il quale il vettore accelerazione $\underline{a} = \underline{F}/m$ è direttamente proporzionale al vettore risultante delle forze esterne \underline{F} e inversamente proporzionale alla massa m del corpo, detta pertanto "inerziale" in quanto esprime la tendenza o "inerzia" del corpo a conservare il suo stato di moto (o di quiete) ovvero la riluttanza a mutarlo.

² Received on January 12th, 2022. Accepted on May 12th, 2022. Published on June 30th, 2022. doi: 10.23755/rm.v39i0.5xx. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©The Authors. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

La paternità del principio d'inerzia

Nella formulazione del Principio d'Inerzia si sottintende l'esistenza di un riferimento in "quiete assoluta", al quale riferire lo stato di quiete o di moto del corpo. L'esistenza di tale riferimento implica l'ammissione di uno spazio assoluto, oggi decisamente negata dalla scienza contemporanea, dopo l'affermazione della teoria della relatività di Albert Einstein (1879-1955). Ma allora qual è il sistema di riferimento cui riferire sia la velocità (e quindi in particolare lo stato di quiete) sia le forze esterne, per poter applicare il

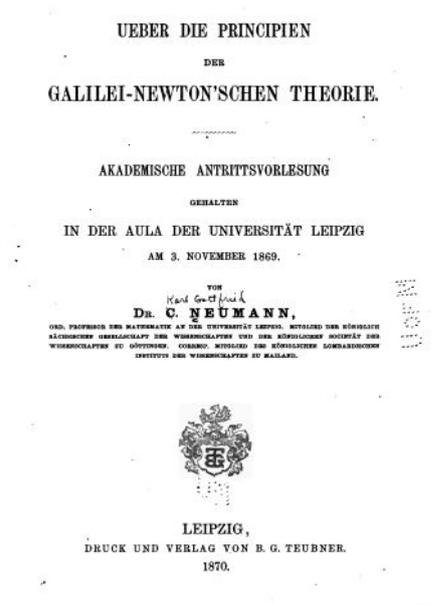


Figura 1 - *I principi della teoria galileo newtoniana* di Carl Neumann (1870).

Principio d'Inerzia? Nella meccanica classica galileo-newtoniana tale sistema è identificato con lo spazio solidale con le cosiddette stelle fisse, considerato da Galileo e Newton come effettivamente in quiete assoluta.

Il matematico tedesco Carl Gottfried Neumann³ (1832-1925) osservò che percepiamo praticamente come nulli i moti relativi, pur esistenti, di stelle enormemente lontane da noi che perciò sono dette 'stelle fisse'. Con tale ragionevole assunzione, nell'opera edita a Lipsia nel 1870 *Ueber die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie* (*I principi della teoria galileo newtoniana*) Carl Neumann propose d'intendere, per convenzione, come assolutamente fermo un sistema di riferimento (che chiamò "triedro alfa") immaginato con i suoi tre assi orientati nella direzione di stelle fisse, cui

³Figlio del più noto fisico e matematico Franz Ernst Neumann (1798-1895).

dev'essere riferito lo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme del Principio d'Inerzia. Pertanto il triedro alfa, e qualunque altro sistema di riferimento in quiete o in moto rettilineo uniforme rispetto ad esso, è detto "inerziale" o "galileiano" in quanto rispetto ad esso vale il Principio d'Inerzia. La "fissità" di tali stelle è oggi inaccettabile sia per l'esistenza di moti relativi fra esse, dimostrata dall'Astronomia moderna, sia per la messa al bando dello spazio assoluto, dovuta alla Relatività di Einstein. Oggi "convenzionalmente" si considera come sistema di riferimento assoluto un riferimento universale ottenuto da quello di Neumann con considerazioni statistiche. In tale ottica si considerano "reali" le forze riferite a tale sistema e "fittizie" quelle riferite a sistemi non inerziali, ovvero in moto non uniforme (vettorialmente) rispetto al Sistema Universale.

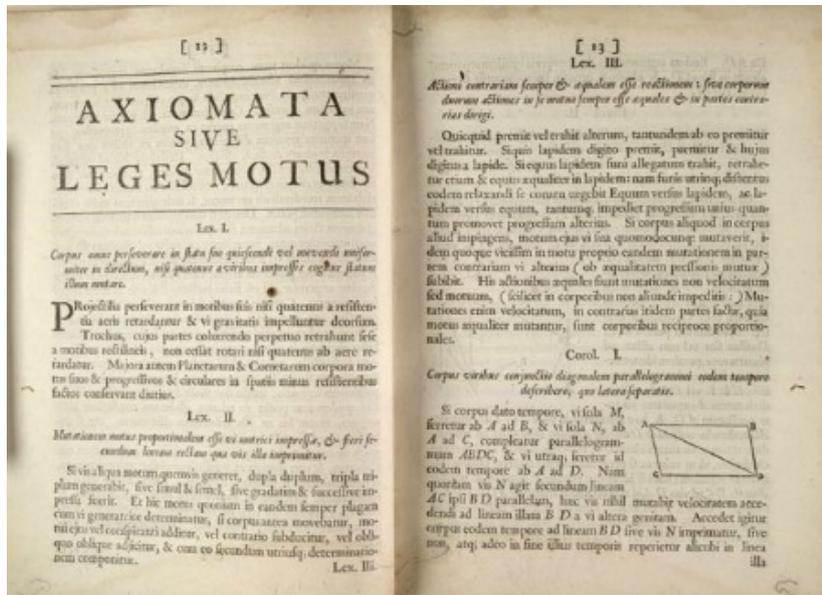


Figura 2 – Il capitolo “Assiomi o leggi del moto” in *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* di Isaac Newton (1687).

La prima formulazione esplicita e inequivocabilmente chiara del Principio d'Inerzia, nella forma che noi oggi conosciamo, si trova nei *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687) di Isaac Newton (1642-1726), che lo enuncia come la prima delle leggi fondamentali della dinamica:

La paternità del principio d'inerzia

Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud viribus impressis cogitur statum suum mutare.

(Legge I: Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, se ad esso non viene applicata una forza in grado di mutarne lo stato)

Tuttavia, seguendo l'indicazione di Newton stesso, il Principio d'Inerzia è generalmente attribuito a Galileo Galilei, che però non ne diede una enunciazione esplicita, di cristallina chiarezza come quella di Newton, bensì lo espresse in forma letteraria (come era nel suo stile) e soprattutto lo applicò. In realtà già prima di lui Giordano Bruno (1548-1600) lo espresse anch'egli in una forma letteraria molto simile a quella di Galilei, ma più oscura. Si obietta a Galileo di non avere mai espresso chiaramente l'inerzia come un principio fisico, sul quale poter costruire la sua meccanica come teoria deduttiva. Questo è vero, in quanto Galileo non volle mai dare alla esposizione delle sue ricerche un'organizzazione di tipo deduttivo, come invece si affermò nella trattatistica successiva. « La forma dialogica delle sue due ultime e principali opere⁴ indica con chiarezza che egli si pone al di fuori di ogni sistema deduttivo di cui ricercare i principi iniziali (benché egli conoscesse bene il modello aristotelico di scienza apodittica)» (Drago, 1997). L'organizzazione della teoria scientifica, in Galilei, più che deduttiva è piuttosto quella che pone un «problema cruciale e si indirizza secondo un principio metodologico» (Ibidem).

Vari storici della scienza (A. Koyré, I. B. Cohen, P. M. Duhem, P. Rossi, G. Holton) hanno espresso pareri contrari sulla attribuzione a Galileo della paternità del Principio d'Inerzia, soprattutto su basi linguistiche (alcuni termini di cui sarà trattato più avanti). Gli stessi storici che con tanto zelo si sforzano di denigrare Galileo, analizzando minuziosamente (ma non sempre comprendendo) i suoi scritti, potrebbero rivolgere la loro critica "linguistica" anche a Newton che, in maniera contraria al corretto concetto di forza, come causa del cambiamento di stato del moto, definisce l'inerzia prima come *vis insita* e poi esplicitamente come *vis inertiae*, portandosi dietro il retaggio dell'*impetus* medievale, nell'utilizzare il termine *vis*, che in latino significa forza.

Nella Definizione III dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton definisce la *vis insita*:

⁴ *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano* (1632); *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* (1638).

L. Nicotra

Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodq;, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.

(La forza innata della materia è il potere di resistenza, per cui ogni corpo, per quanto è in sé, persevera nel suo stato o di riposo o di moto rettilineo uniforme.)

che poi chiama *vis inertiae* specificandone meglio il significato («*Unde etiam vis insita nomine significantissimo vis inertiae dici possit*»):

Hæc semper proportionalis est suo corpori, neq; differt quicquam ab inertia Massæ, nisi in modo concipiendi. Per inertiam materiae fit ut corpus omne de statu suo vel quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine significantissimo vis inertiae dici possit.

Nella prima edizione inglese dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*' (1728) lo stesso brano, sopra riportato in latino, specifica ancora meglio il significato della *vis inertiae*, definendola esplicitamente e molto espressivamente come «*force of inactivity*»:

This force is ever proportional to the body whose force it is; and differs nothing from the inactivity of the mass, but in our manner of conceiving it. A body, from the inactivity of matter, is not without difficulty put out of its state of rest or motion. Upon which account, this "vis insita", may, by a most significant name, be called "vis inertiae", or force of inactivity.

È pertanto evidente che il significato che Newton dà al termine *vis inertiae* non può essere quello di “forza” propriamente detta, a lui ben chiaro e che chiama *vis impressa*,⁵ di agente in grado di mutare lo stato di quiete o di moto di un corpo, ma quello di “potere innato” (*potentia*), ovvero di “propensione” a mantenere il suo stato presente (*perseverat in statu suo*), sia esso di quiete (*vel quiescendi*) o di moto rettilineo uniforme (*vel movendi uniformiter in*

⁵ Chiaramente espresso, nella prima edizione inglese dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*' (1728), come azione esercitata su un corpo da un altro corpo:

DEFINITION IV.

An impressed force is an action exerted upon a body, in order to change its state, either of rest, or of moving uniformly forward in a right line. This force consists in the action only; and remains no longer in the body, when the action is over. For a body maintains every new state it acquires, by its vis inertiae only. Impressed forces are of different origins as from percussion, from pressure, from centripetal force.

Tale edizione non potè essere curata da Newton, essendo uscita due anni dopo la sua morte. Le edizioni, tutte in latino, curate da Newton sono la prima (1687), la seconda (1713) e la terza (1726).

directum).⁶ Il termine forza è usato evidentemente da Newton in un senso che potremmo dire “figurato” o meglio “mutuato”. L'inerzia non è una forza anche se, come insegna la meccanica razionale, si può parlare di forze d'inerzia, ma come forze fittizie (non esercitate realmente da alcun corpo in un sistema inerziale), per ristabilire il Principio di Inerzia in un sistema di riferimento non inerziale. È bene ricordare che il carattere “reale” delle forze è dovuto soltanto alla convenzione di riferirle al Riferimento Assoluto o a qualunque altro sistema di riferimento in moto traslatorio uniforme rispetto ad esso (sistema inerziale). La forza d'inerzia compare allorché si studia il moto in un sistema di riferimento solidale con il corpo (o il punto materiale) in moto vario, rispetto al quale esso è quindi in quiete. Quest'ultima scelta è particolarmente comoda perché consente di ridurre il problema dinamico a problema statico, soluzione spesso adottata nella meccanica applicata alle macchine. Considerando nel caso semplice di un punto materiale soggetto più in generale a forze reali costituite da forze attive di risultante \underline{f} e a forze reattive vincolari di risultante \underline{r} , la seconda legge fondamentale della meccanica, in un riferimento inerziale, si scriverebbe: $\underline{f} + \underline{r} = m\underline{a}$, dalla quale si ottiene $\underline{f} - m\underline{a} + \underline{r} = 0$ che è l'espressione della stessa legge nel riferimento non inerziale solidale col punto materiale, rispetto al quale, essendo esso in quiete, la risultante di tutte le forze deve essere nulla, se si vuole estendere a tale riferimento il Principio d'Inerzia.

Il termine $-m\underline{a}$, dimensionalmente omogeneo con i rimanenti, può quindi essere interpretato come una forza che viene “detta” d'inerzia in quanto compare nell'estensione della validità del Principio d'Inerzia al sistema di riferimento non inerziale solidale col punto materiale “realmente” in moto rispetto al Riferimento Assoluto.

In questo articolo, attraverso un'attenta analisi degli scritti galileiani, condotta sulle versioni digitali con l'aiuto di programmi di analisi del testo, si confutano le principali obiezioni poste e si riafferma invece con decisione l'attribuzione a Galileo, nella sostanza piuttosto che nella forma, del Principio d'Inerzia e del conseguente Principio di Relatività Classica.

2. I prodromi del Principio d'Inerzia

Per ogni scoperta scientifica, l'atto di nascita viene attribuito alla prima pubblicazione ove la scoperta è espressa in termini sufficientemente chiari e

⁶ Si noti il termine *directum* utilizzato da Newton, non posto in dubbio dagli storici della scienza nel suo significato di “rettilineo”, al contrario di quanto hanno espresso nei riguardi dello stesso termine utilizzato da Galilei (vedi oltre in questo articolo), attribuendogli il significato di “lungo un meridiano”.

inequivocabili. Tuttavia, per ogni grande scoperta scientifica, esiste un periodo “prenatale” che potremmo chiamare di gestazione, per opera di diversi altri autori. In tale periodo, a volte antecedente anche di secoli rispetto alla prima enunciazione corretta della scoperta, è possibile trovare prodromi della scoperta, più o meno prossimi alla sua enunciazione finale.

Varie tracce del Principio d’Inerzia si trovano, a cominciare sin dall’antichità classica, in autori antecedenti a Galilei, ma in forme più o meno confuse e incomplete, lontane dalla attuale enunciazione.

I primi cenni al concetto di inerzia si trovano in Anassagora (496-428 a.C.), nei suoi tentativi di spiegazione del moto circolare del cielo stellato, moto che prosegue indefinitamente nel tempo. Anassagora lo faceva derivare da un moto rotatorio inizialmente impresso a un piccolo frammento di materia da una intelligenza divina⁷ (*Nous* o materia pensante). Tale moto prosegue spontaneamente “per inerzia”, trascinando quantità sempre più grandi di materia circostante e prolungandosi all’infinito nel tempo futuro.⁸ È sorprendente notare l’attualità delle intuizioni cosmologiche di Anassagora, che coincidono sostanzialmente con le moderne ipotesi sulla formazione dei corpi celesti, originati dall’aggregazione progressiva di materia per forza attrattiva e dai conseguenti movimenti rotatori.⁹

Furono gli atomisti a prolungare indefinitamente anche nel tempo passato il permanere del moto “naturale” per inerzia, eliminando così la necessità di un atto iniziale e con esso l’artificio del *Nous*. Per l’atomista Leucippo (inizio-prima metà del V secolo a.C. – terzo quarto del V secolo a.C) e il suo discepolo Democrito (460-370 a.C.), gli infiniti atomi si muovono nello spazio infinito, di moto naturale rettilineo ed eterno, in tutte le direzioni e dai loro “casuali” urti deriva la formazione di tutte le cose. A torto è stato attribuito agli atomisti l’introduzione del caso nella fisica, così come noi oggi lo intendiamo: assenza di qualunque legge. Al contrario, il solo frammento a noi giunto delle opere di Leucippo recita: «Niente si fa a caso, ma tutto avviene per ragione e necessità». Il caso, per gli atomisti, era quindi non negazione di qualunque legge, ma semplicemente ciò che è imprevedibile per «l’ignoranza in cui siamo di un vasto intreccio di cause molteplici e disparate» (Enriques,

⁷ «Ma, un giorno, io udii un tale leggere un libro, che affermava essere di Anassagora, il quale diceva che è l’Intelligenza che ordina e che causa tutte le cose.» (Platone, *Fedone*, 97 B).

⁸ Il prolungarsi del moto, all’infinito, soltanto nel futuro obbligò Anassagora ad ammettere l’esistenza del *Nous* come origine.

⁹ Secondo la moderna cosmologia, la formazione dei vari corpi celesti, siano essi stelle o pianeti o satelliti, sarebbe avvenuta con iniziali concentrazioni locali delle polveri primigenie dell’universo che, per effetto della conseguente crescente gravità, sarebbero aumentate sempre più e poste in moto rotatorio. Infatti, la gravità avrebbe impresso a tali concentrazioni originarie (protosole, protopianeti, ecc.) un movimento circolare attorno al centro di massa, conseguente alla combinazione dell’originario moto rettilineo con la forza di gravità.

La paternità del principio d'inerzia

De Santillana, 1937, p. 88). Il caso, inoltre, per gli atomisti è negazione del finalismo, ovvero delle “cause finali”, e al finalismo opponevano una visione puramente e necessariamente meccanica del mondo, determinata da “cause efficienti”. Leucippo e Democrito, con grande meraviglia di Aristotele,¹⁰ non si pongono la questione della causa dei moti degli atomi: infatti per loro questi moti sono eterni, e quindi non possono avere una causa, che presupporrebbe un principio. Giustamente Federigo Enriques¹¹ (1871-1946) vede in tale affermazione lo spirito della scienza moderna, libera da orientamenti metafisici e finalistici (Enriques e De Santillana, 1937, p. 85). Così dice Cicerone (n.d. , Liber I, VI, 17) di Democrito:

Ille atomos quas appellat, id est corpora individua propter soliditatem, censet in infinito inani, in quo nihil nec summum nec infimum nec medium nec intimum nec extremum sit, ita ferri ut concursu inter se cohaerescant, ex quo efficiantur ea, quae sint quaeque cernantur omnia; eumque motum atomorum nullo a principio sed ex aeterno tempore intellegi convenire. (Considera quelle cose che chiama atomi, cioè corpi non scindibili, per la loro solidità, in un vuoto infinito, in cui nulla è né più alto, né più basso, medio, più vicino, né lontano, in modo tale che scontrandosi si uniscano in modo che possano essere trasportati insieme, creando tutte le cose che sono visibili; e il moto degli atomi è inteso non avere un principio ma esistere dall'eternità).

¹⁰ Ma anche dello storico della filosofia Eduard Zeller (1814-1908), che seguendo Aristotele, e ignorando la vittoria di Galileo sugli aristotelici, considerava impossibile un moto senza una causa, non avendo compreso che la forza è causa della variazione di velocità ma non della velocità ovvero del moto stesso (Enriques e De Santillana, 1937, p. 85).

¹¹ È stato un grande matematico, storico e filosofo della scienza. È stato uno dei padri della geometria algebrica e anche un grande organizzatore di eventi e istituzioni scientifiche. Nel 1906, con Vito Volterra, fu tra i fondatori della rinata Società Italiana per lo Sviluppo della Scienza (SIPS). Nello stesso anno fondò la Società Filosofica Italiana e nel 1907 la rivista internazionale «Rivista di Scienza» (poi diventata «Scientia»). Nel 1909 fuse le due riviste «Rivista filosofica» e «Rivista di filosofia e scienze affini» in «Rivista di filosofia», che diventò l'organo ufficiale della SFI. Fu presidente della Mathesis dal 1919 al 1932, direttore del «Periodico di Matematiche» dal 1921 al 1946 (anno della sua morte). Nel 1923 fondò a Roma l'«Istituto Nazionale per la Storia delle Scienze Fisiche e Matematiche», nell'ambito del quale venne creata la “Scuola di storia delle scienze”. Fu socio di molte accademie scientifiche estere e anche dell'Accademia Nazionale dei Lincei. Ricevette ben cinque lauree honoris causa in università estere. Per approfondimenti cfr. Luca Nicotra, *Federigo Enriques: tra matematica e filosofia. Parte I*. Anno V, N. 10 dicembre 2018, pp. 5-34, [DOI:10.30449/AS.v5n10.085](https://doi.org/10.30449/AS.v5n10.085), *Parte II*. «ArteScienza», Anno VI, N. 12 dicembre 2019, pp. 5-36, [DOI:10.30449/AS.v6n12.101](https://doi.org/10.30449/AS.v6n12.101), *Parte III*, «ArteScienza», Anno VII, N. 13 giugno 2020, pp. 5-52, [DOI:10.30449/AS.v7n13.111](https://doi.org/10.30449/AS.v7n13.111).

Ma Aristotele non accettò la concezione democritea dell'inerzia, rifiutando sia l'idea del vuoto sia l'idea del moto rettilineo all'infinito. Le sue contestazioni, però, ci hanno fornito anche un'altra autorevole fonte delle idee di Democrito e degli atomisti, nella sua opera *Physica* (IV, 6-9). In contrapposizione alla teoria degli atomisti, elaborò una propria dottrina del moto, ispirata al senso comune, definendo come moto naturale quello per cui i corpi sono spinti da un "appetito" o forza attrattiva verso il proprio luogo naturale: in basso (o al centro della Terra), per i corpi pesanti, e in alto, per i corpi leggeri. I moti non naturali o forzati sono, invece, quelli dovuti alla presenza continua per contatto di un motore che dirige il mobile verso una direzione diversa da quella naturale.

Ma un particolare tipo di moto locale, quello dei proiettili (o delle frecce), costrinse Aristotele a modificare la sua teoria del moto. Una formalizzazione in termini moderni della sua "meccanica" evidenzia tale necessità:

$$\underline{F} = \lambda \underline{v}$$

essendo \underline{F} la forza applicata, λ una proprietà del corpo che descrive la sua resistenza al moto, \underline{v} la velocità del mobile. Formalmente identica a quella di Newton ($\underline{F} = m \underline{a}$) la $\underline{F} = \lambda \underline{v}$ mostra che la forza è causa della velocità e non della sua variazione (accelerazione) e quindi, nel caso di rimozione della forza \underline{F} , anche la velocità \underline{v} dovrebbe istantaneamente annullarsi, contrariamente all'esperienza. Aristotele allora, fedele al principio «*omne quod movetur ab alio movetur*», escogita una scappatoia: il movimento inizialmente impresso dal motore, una volta rimosso questo, è trasmesso al mezzo in cui il motore si trova a spostarsi, come l'aria o l'acqua. In virtù di tale "trasmissione" si creerebbero dei vortici nella parte posteriore del mobile che continuerebbero l'azione del motore rimosso. Il ruolo del mezzo, nel moto di un mobile, è ambivalente e contraddittorio in Aristotele, perché a quello propulsivo dei vortici si aggiunge quello dissipativo della resistenza che il mezzo oppone al moto (Espinoza, 2005). Il greco Giovanni Filopono (490-570)¹² nel secolo VI mosse ad Aristotele varie obiezioni molto logiche. Una era: per quale motivo nel momento della produzione del movimento il motore deve entrare in rapporto diretto con il mobile, anziché limitarsi a trasmettere il moto direttamente al mezzo (aria o acqua), visto che questo poi avverrà con la rimozione del motore? Un'altra riguardava proprio l'inconsistenza del duplice e contraddittorio ruolo del mezzo nel moto del mobile: il mezzo non può essere contemporaneamente propulsore e dissipatore. Sulla base di queste considerazioni, Filopono propose di modificare la teoria di Aristotele ammettendo la cessione di una parte della forza motrice direttamente al mobile

¹² È stato un filosofo, teologo, scienziato e grammatico vissuto ad Alessandria d'Egitto, dove guidò la scuola filosofica alessandrina dopo la morte di Ammonio.

La paternità del principio d'inerzia

e che, invece, il mezzo offra una certa resistenza a tale movimento e non una spinta.

Le obiezioni di Filopono alla teoria aristotelica del moto furono riprese dall'arabo Abū' Ali ibn Sina, detto in Occidente Avicenna (980-1037), dall'inglese Ruggero Bacone (1214 circa–1292) e dall'italiano Tommaso d'Aquino (1225-1274). Il contributo di Avicenna fu il più vicino al corretto concetto di inerzia, in quanto distingueva fra “inclinazione” e “forza” di un proiettile, affermando che il moto del proiettile è dovuto non a una forza ma a una “inclinazione” comunicata ad esso nel momento del lancio, arrivando poi ad affermare che il suo moto nel vuoto (privo di alcuna resistenza) proseguirebbe all'infinito. Siamo quindi in presenza di un chiaro presagio dell'inerzia, concetto però verso il quale Avicenna appare rinunciatario, in quanto rifiutava l'idea di un moto infinito e quindi riteneva impossibile il moto nel vuoto da lui ipotizzato soltanto come caso limite.

Ma la distinzione di Avicenna fra inclinazione e forza non ebbe seguito nelle discussioni sulla teoria aristotelica del moto del secolo XIV, dove continuò a sussistere l'idea di una forza residua impressa al proiettile durante il lancio, che fu chiamata dal frate francescano italiano Francesco di Marchia (1290-1344), nel 1323, *virtus derelicta* (forza rimanente) poi ridenominata *vis impressa*.¹³ La *virtus derelicta*, sostiene il frate francescano, è applicata al proiettile e non al mezzo: «sed contra hoc [contro la posizione aristotelica] arguo et ostendo, quod huiusmodi virtus prius sit in lapide vel in quocumque alio gravi moto, quam in medio» (*Sententiae*, IV, 1).¹⁴ Francesco di Marchia specifica la natura della *virtus derelicta* («*qualis sit huiusmodi virtus*»): essa è dotata di una certa durata, ma non permanente, non è né imperitura né destinata a dissiparsi quasi immediatamente, è una forza intermedia che perdura in un tempo finito. Per spiegare questa qualità, Francesco di Marchia la paragona al calore generato da un fuoco nell'acqua: «*Potest dici quod nec est forma simpliciter fluens, sed quasi media, quia per aliquod tempus permanens, sicut caliditas ab igne genita in aqua non habens esse permanens simpliciter sicut in igne, nec simpliciter etiam fluens ut calefactio ipsa, sed habet esse permanens ad determinatum tempus*» (*Sententiae*, IV, 1).

Fu il filosofo e logico francese Giovanni Buridano (1300-1361),¹⁵ Magnifico Rettore della “Sorbona” di Parigi, a codificare questa tesi, cambiando la denominazione di *vis impressa* in *impetus* e relazionandola a due grandezze, la quantità di materia e la velocità del proiettile, ovvero alla moderna quantità di moto. In questo modo si spiegava perché il lancio dei

¹³ Da non confondersi con la *vis impressa* di Newton.

¹⁴ Francesco di Marchia scrisse le sue osservazioni sulla teoria aristotelica del moto violento nel suo commento a *I Quattro Libri delle Sentenze* (*Libri Quattuor Sententiarum o Sententiae*), un trattato di teologia scritto da Pietro Lombardo intorno al 1150.

¹⁵ In francese Jean Buridan; in latino Ioannes Buridanus.

corpi pesanti consentisse di coprire distanze maggiori di quelli leggeri. L'*impetus*, però, era una qualità che veniva “consumata” dalla resistenza di un ostacolo o del mezzo (aria o acqua) in cui si svolge il moto del mobile, per cui veniva estrapolata l’idea che nel vuoto assoluto il mobile avrebbe continuato a muoversi con la stessa velocità senza mai arrestarsi. La teoria dell’impeto¹⁶ ebbe molto successo nel Medioevo, soprattutto presso gli scolastici dell’Università di Parigi.¹⁷

Niccolò Cusano¹⁸ (1401-1464), rifacendosi probabilmente a Democrito, enuncia l’idea che una sfera perfetta, lanciata sopra un piano orizzontale privo di attrito, dovrebbe continuare all’infinito il suo moto di rotolamento (*Dial. de ludo globi*, I, p. 123, in *Opera*, I, Basilea 1625).

Leonardo da Vinci (1452-1519), come è ben noto, aveva una predilezione per la meccanica, da lui stesso chiamata «il paradiso delle scienze matematiche, perché in quella si perviene al frutto matematico». Le sue scoperte nel campo della meccanica applicata sono ben presenti nell’immaginario collettivo e non è qui il caso nemmeno di accennarle (Nicotra, 2019). Meno noti invece sono i suoi contributi alla meccanica teorica - noi oggi diremmo “meccanica razionale” – (Severi, 1954, pp. 148-158). Tali contributi sono stati accuratamente analizzati da due grandi studiosi, Pierre Duhem¹⁹ e Roberto Marcolongo,²⁰ ai quali si deve la scoperta di Leonardo come scienziato,²¹ essendo stato noto fino ai primi del XX secolo quasi esclusivamente come artista.

Considerazioni di Leonardo relative al moto, nelle quali è possibile ravvisare tracce del concetto dell’inerzia, sono contenute in due brani, l’uno nel *Codice sul volo degli uccelli* (f. 13 r) e l’altro nel *Codice Atlantico* (f. 109 v.a.).

Il primo:

¹⁶ Tale idea sembra possa attribuirsi già al grande astronomo Ipparco, vissuto nel II secolo a. C. (Enriques, Gentile ju., 1933).

¹⁷ Fra questi Nicola d’Oresme (1323-1382), che è stato un matematico, fisico, astronomo, filosofo e vescovo francese; Alberto di Sassonia o di Rickmersdorf (1316 – 1390), è stato un filosofo e vescovo cattolico tedesco, Magnifico Rettore della Sorbona di Parigi.)

¹⁸ Detto anche Nicola o Niccolò da Cusa. Nome latinizzato del nome tedesco Nikolaus Krebs von Kues o Nikolaus Chrypffs. È stato un cardinale, teologo, filosofo, umanista, giurista, matematico e astronomo tedesco.

¹⁹ Pierre Maurice Marie Duhem (1861– 1916). Fisico-matematico, filosofo e storico della scienza francese.

²⁰ Roberto Marcolongo (1862–1943). Matematico italiano e storico della scienza e in particolare della meccanica. Fu professore di Meccanica Razionale nelle università di Messina (1859) e Napoli (1908). Ben noto, assieme a Cesare Burali-Forti, per avere introdotto e diffuso i metodi del calcolo vettoriale. Si occupò anche di questioni di meccanica classica e di teoria dell’elasticità. Fu uno dei maggiori sostenitori della Teoria della Relatività di Albert Einstein in un periodo in cui essa trovava molti autorevoli oppositori.

²¹ Gli studi di Marcolongo su Leonardo durarono un ventennio, dal 1919 al 1939.

La paternità del principio d'inerzia

Ogni moto attende al suo mantenimento, ovvero ogni corpo mosso sempre si move, in mentre che l'impressione della potentia del suo motore in lui si riserva, addunque il moto di tale alia, con furia inverso la coda, riservando nel suo fine ancora parte della predetta inpressione, non potendo per sè (co) seguitare il già principiato moto, viene a muovere con seco tutto l' ucello, insino a tanto che l' inpeto della mossa aria è consummato.

Il secondo:

Ogni moto seguirà tanto la via del suo corso per linea retta, quanto durerà in esso la natura della violenza fatta dal suo motore.

Marcolongo, pur riconoscendone la lontananza dalla formulazione corretta della legge d'inerzia, ritiene che «è in fondo evidente che il Vinci aveva della legge un concetto chiaro, se non il più generale possibile e ch'egli sapeva farne giuste e rette applicazioni...» (Severi, 1954, p.150). Altri studiosi di Leonardo sono di parere contrario, come per esempio Raffaele Giacomelli (1878-1956). Tuttavia lo stesso Marcolongo pensa che Leonardo aderisse alla teoria dell'*impetus*, opinione condivisa da Federigo Enriques e Giovanni Gentile junior (1906-1942)²² (Enriques, Gentile ju., 1933).

Tutti i tentativi di formulazione del Principio d'Inerzia finora ricordati hanno in comune l'errata ammissione che l'inerzia vada "consumandosi" per effetto di forze contrarie al moto. Si potrà arrivare alla corretta comprensione del Principio d'Inerzia soltanto quando ci si renderà conto che invece l'inerzia non si esaurisce, ma si compone con forze esterne, anche quando queste siano di verso contrario al moto. In altri termini, l'inerzia continua a esistere anche nel moto dei corpi soggetti a forze e non soltanto in assenza di esse: è soltanto l'effetto che è diverso nei due casi:

Il primo passo in questo senso sembra essere compiuto nella "Nuova Scienza" del Tartaglia (Venezia 1537), dove è corretto il vieto errore che la traiettoria dei proiettili si scinda in parti distinte, ove dominano successivamente il moto impresso e il moto naturale. L'uso delle armi da fuoco ha fornito occasione e ragione d'esperimentare largamente su tali fenomeni (Enriques, Gentile ju., 1933).

²² Figlio del filosofo Giovanni Gentile fu un fisico teorico, molto amico di Ettore Majorana di cui fu compagno di studi.

Ma il passo decisivo per affermare che l'inerzia si compone con le forze esterne a un corpo, senza esaurirsi, è stato possibile grazie alle discussioni intorno alle argomentazioni di Aristotele contro il moto della Terra.

Aristotele nel *Del cielo e mondo* (e gli aristotelici poi) si opponeva alla teoria copernicana del moto della Terra attorno al proprio asse e al Sole, mostrando che l'ammissione di tali moti portava a una conclusione assurda: facendo un salto in alto dovremmo cadere in un punto del terreno più ad occidente,²³ rispetto al punto da cui abbiamo spiccato il salto, mentre invece ricadiamo nello stesso punto.²⁴ Ma questo evidentemente non accade, e allora - concludevano gli aristotelici - la Terra non si muove!

Niccolò Copernico (1473-1543), Johannes Kepler (1571-1630) e Tommaso Campanella (1568-1639) non riuscirono a dare una risposta a tale argomentazione, a danno della piena affermazione della teoria eliocentrica.

Il merito di riuscire definitivamente a controbattere quell'obiezione aristotelica al moto della Terra spetta a Giordano Bruno e Galileo Galilei, con l'enunciazione del Principio di Inerzia e del conseguente Principio di Relatività.

Come anticipato, in entrambi non è possibile trovare una formulazione esplicita "da trattato", per le ragioni già dette.

Tuttavia, il Principio di Inerzia, in tutti i suoi elementi, anche se non espresso esplicitamente, è chiaramente applicato da Giordano Bruno nella confutazione dell'argomentazione di Aristotele contro il moto della Terra.

²³ Se consideriamo, per esempio, i punti della Terra che si trovano al 45° parallelo (che in Italia corrisponde circa alla latitudine di Torino), si calcola facilmente che essi si muovono da occidente verso oriente alla velocità di circa 1175 chilometri all'ora, pari a circa 326 metri al secondo. Inoltre, approssimando l'orbita ellittica della Terra ad una circonferenza (da cui in realtà poco differisce), un altro semplice calcolo ci rivela che ci muoviamo nello spazio assieme alla Terra e attorno al Sole alla vertiginosa velocità di circa 30 chilometri al secondo! Componendo il moto proprio di rotazione della Terra con quello di rivoluzione attorno al Sole – affermavano gli aristotelici - un uomo che spiccasse in alto un salto, la cui durata complessiva di salita e discesa fosse di un secondo, si troverebbe ad 'atterrare' in un punto più ad occidente, rispetto a quello da cui ha spiccato il salto, di ben 30 chilometri e 326 metri!

²⁴ In realtà, la caduta libera di un grave sulla Terra, se studiata rispetto alla Terra, deve tenere conto del fatto che il sistema di riferimento è in tal caso non inerziale per effetto del moto rotatorio della Terra attorno al proprio asse. Pertanto, alla forza peso devono essere aggiunte due forze fittizie: la forza centrifuga e la forza centrifuga composta o forza di Corioli, per effetto delle quali il grave cade in un punto leggermente ad oriente e anche verso l'equatore (in entrambi gli emisferi). In prima approssimazione si può trascurare la deviazione verso l'equatore. Giovanni Battista Guglielmini (1760-1817), nel 1791, eseguì più volte un raffinato esperimento che dimostrò tale deviazione nella caduta libera di un grave. Dalla sommità della Torre degli Asinelli a Bologna (alta 97 m) fece cadere più volte delle sfere di piombo che raggiunsero il suolo 1,7 centimetri ad oriente rispetto alla verticale stabilita con il filo a piombo. I calcoli invece danno come risultato 2,35 cm.

La paternità del principio d'inerzia

Bruno, nel dialogo terzo de *La cena de le ceneri*,²⁵ per dare una prova della falsità delle argomentazioni di Aristotele, a sostegno invece del sistema del mondo di Copernico, immagina due esperimenti.²⁶ Nel primo immagina un uomo sulla Terra che lancia un sasso. Nel secondo costruisce un complesso esperimento “mentale”, quello della nave, già usato in forme più semplici da Buridano, Oresme e Niccolò Cusano: due uomini, uno sulla nave e uno sulla terraferma, lasciano cadere una pietra nello stesso istante e dallo stesso punto.

Bruno riprende così l'argomentazione per bocca di Smitho:

(Smitho) - M'avete sufficientissimamente soddisfatto, ed altamente aperto molti secreti de la natura, che sotto questa chiave sono ascosi. Da quel che rispondete a l'argomento tolto da venti e nuvole, si prende ancora la risposta del altro, che nel secondo libro Del cielo e mondo apportò Aristotele, dove dice che sarebbe impossibile che una pietra gittata a l'alto, potesse per medesima rettitudine perpendicolare tornare al basso: ma sarrebbe necessario che il velocissimo moto della terra se la lasciasse molto a dietro verso l'occidente. Perché, essendo questa proiezione dentro la terra, è necessario che col moto di quella si venga a mutar ogni relazione di rettitudine ed obliquità: perché è differenza tra il moto della nave e moto de quelle cose che sono nella nave. Il che se non fusse vero, seguitarrebbe che, quando la nave corre per il mare, giamai alcuno potrebbe trarre per dritto qualche cosa da un canto di quella a l'altro, e non sarebbe possibile che un potesse far un salto e ritornare co' piè onde le tolse.

Qual è la soluzione che per primo Bruno propone, per spiegare ciò che in realtà avviene? Eccola, sempre dal dialogo terzo de *La Cena de le ceneri* (Bruno, 1584) per bocca di Teofilo, che comincia subito a far notare che il

²⁵ Quinta proposta di Nundinio.

²⁶ L'idea del dialogo come forma di comunicazione delle proprie convinzioni filosofiche e conoscenze scientifiche fu adottata da Bruno prima di Galilei e così pure l'uso del volgare al posto del latino, per facilitarne la diffusione. In particolare, poi, nel caso de *La cena de le ceneri* e del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, le analogie sono impressionanti e sostanziali: gli interlocutori in entrambi i dialoghi sono tre e, a parte i nomi diversi, impersonano gli stessi personaggi: Teofilo e Salviati sono l'*alter ego* di Bruno e Galilei, Smitho e Sagredo sono l'uomo curioso di apprendere discutendo, Prudenzio e Simplicio rappresentano l'erudito pedante irrimediabilmente condizionato da antichi pregiudizi religiosi e culturali, e in particolare aristotelici (accanto a Prudenzio troviamo ne *La cena* un quarto personaggio, Frulla, che però ha una partecipazione molto limitata). La nave de *La cena* di Bruno diventa il «gran navilio» nel *Dialogo* di Galilei e anche l'esperimento della caduta del sasso dalla cima dell'albero della nave è lo stesso nelle due opere. Troppe analogie per non sospettare che Galilei conoscesse l'opera di Bruno! Sospetto ancora più verosimile considerando che molto probabilmente i due si incontrarono a Padova, dove alla fine del 1591 troviamo Bruno nella speranza di ottenere la cattedra di matematica, che gli fu negata e assegnata invece nel 1592 a Galilei.

movimento della Terra non può essere rilevato dal movimento dei corpi che si trovano su di essa, perché il moto della Terra non altera i moti dei corpi ad essa appartenenti, in quanto essi partecipano dello stesso moto della Terra («*Con la terra dunque si muovono tutte le cose che si trovano in terra*»). Ciò equivale ad affermare che i fenomeni meccanici avvengono nello stesso modo in due riferimenti in moto rettilineo²⁷ l'uno rispetto all'altro con velocità costante («*muovasi quantosivoglia la nave, pur che non faccia degl'inchini*») e quindi da essi non si può arguire quale dei due è fermo e quale si muove:

(Teofilo) - Con la terra dunque si muovono tutte le cose che si trovano in terra. Se dunque dal loco extra la terra qualche cosa fusse gittata in terra, per il moto di quella perderebbe la rettitudine. Come appare nella nave A B [fig. 6], la qual, passando per il fiume, se alcuno che se ritrova nella sponda di quello C venga a gittar per dritto un sasso, verrà fallito il suo tratto per quanto comporta la velocità del corso. Ma posto alcuno sopra l'arbore di detta nave, che corra quanto si voglia veloce, non fallirà punto il suo tratto di sorte che per dritto dal punto E, che è nella cima de l'arbore o nella gabbia, al punto D che è nella radice de l'arbore, o altra parte del ventre e corpo di detta nave, la pietra o altra cosa grave gittata non vegna. Cossì, se dal punto D al punto E alcuno che è dentro la nave, gitta per dritto una pietra, quella per la medesima linea ritornerà a basso, muovasi quantosivoglia la nave, pur che non faccia degl'inchini.

(Smitho) - Dalla considerazione di questa differenza s'apre la porta a molti ed importantissimi secreti di natura e profonda filosofia; ...

(Teofilo) - Or per tornare al proposito: se dunque saranno dui, de quali l'uno si trova dentro la nave che corre, e l'altro fuori di quella, de quali tanto l'uno quanto l'altro abbia la mano circa il medesimo punto de l'aria; e da quel medesimo loco nel medesimo tempo ancora, l'uno lascie scorrere una pietra, e l'altro un'altra, senza che gli donino spinta alcuna: quella del primo senza perdere punto né deviar da la sua linea, verrà al prefisso loco; e quella del secondo si troverrà tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra che esce dalla mano del uno che è sustentato da la nave, e per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha tal virtù impressa quale non ha l'altra che procede da la mano di quello che n'è di fuori, benché le pietre abbino medesima gravità, medesimo aria tramezzante, si partano (se possibil fia) dal medesimo punto, e patiscano la medesima spinta. Della qual diversità

²⁷ Nell'esperimento della nave il moto, per piccole distanze può essere ottimamente approssimato a rettilineo, pur muovendosi la nave sulla superficie sferica della Terra. E il percorso della nave, nel brevissimo tempo necessario per la caduta del sasso dalla cima dell'albero, si discosta da quello rettilineo per quantità veramente trascurabili.

La paternità del principio d'inerzia

non possiamo apportar altra ragione, eccetto che le cose che hanno fissione o simili appartenenze nella nave, si moveno con quella: e la una pietra porta seco la virtù del motore, il quale si muove con la nave; l'altra di quello che non ha detta partecipazione.

Nelle parole di Teofilo si può leggere chiaramente, se non il Principio d'Inerzia, certamente la sua applicazione: la pietra lasciata cadere all'interno della nave cade perpendicolarmente rispetto a questa, perché, non essendo ad essa applicata nessuna forza in grado di modificarne il moto nella direzione della rotta della nave, anche quando è in aria tende a mantenere il moto rettilineo uniforme che condivideva con la nave prima del lancio («*le cose che hanno fissione o simili appartenenze nella nave, si moveno con quella: e la una pietra porta seco la virtù del motore*»).

LA CENA DE le Ceneri.

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderationi, Circa doi
soggetti.

All' unico refugio de le Muir. l' Illustriffi. Michal
di Catharino. Sig. di Mauillier. Conoscuto
di l'orilla. Cavalier del ordine del Re Christiano.
Comandante del suo primo consiglio. Capitano di
50. uomini d'arme. Governator et Capitano di
S. Dredano. et Ambasciator alla
Reale. Regina di In-
ghilterra.

L' universale intentione e' dichiara-
ta nel proemio.
1584.



Figura 3 – La figura 6, menzionata nel dialogo terzo di *La Cena de le ceneri* di Giordano Bruno, ad illustrazione dell'esperienza della nave. Stranamente non figurano le lettere A, B, C, D, E menzionate nel testo.

3. Il fascino del cerchio in Galileo Galilei

È noto a tutti quello che molti storici chiamano “l'errore di Galileo”, «uno dei pochissimi nella splendida *opera omnia* di Galileo», come dice **il centenario fisico e storico della scienza Gerald Holton (n. 1922- vivente)**: il rifiuto delle orbite ellittiche dei pianeti, che Keplero stesso era stato costretto a

ipotizzare in seguito all'analisi dei suoi numerosissimi e accurati dati osservativi, in parte ereditati dal suo maestro Tycho Brahe (Holton, 1993). Una grave rinuncia da parte di Galilei, perché proprio le leggi di Keplero gli avrebbero fornito validissime argomentazioni a favore del copernicanesimo.

Ma perché Galilei rifiutò di prendere seriamente in considerazione le leggi di Keplero, che oltretutto era un suo grande ammiratore? Dice il fisico e storico della scienza Giorgio de Santillana (1902-1974): «Devono aver fatto scattare nella mente [di Galileo] un meccanismo protettivo». Dunque la ragione sarebbe sepolta nei meandri imperscrutabili dell'inconscio o del subconscio. È uno storico dell'arte a illuminarci in proposito, Erwin Panofsky (1892-1968), che rifacendosi proprio alla robusta educazione umanistica di Galilei, ha ipotizzato che il rifiuto delle leggi di Keplero non fosse altro che il rifiuto dell'ellisse, figura geometrica che contrastava con i suoi gusti estetici, legati saldamente al classicismo rinascimentale (Panofsky, 1956). Galileo, infatti, aborrisce il Barocco, almeno nelle sue espressioni artistiche, e probabilmente avrebbe condiviso il giudizio di Leonardo Sinigalli (1908-1981):²⁸

*Il Barocco è un'irritazione della pazienza classica, un dubbio sull'olimpicità, una saetta nell'empireo della stasi. [...] disgusto alessandrino del pacifico letargo euclideo.*²⁹

In particolare è documentata la sua avversità verso il Manierismo, che con il suo anticlassicismo e le sue distorsioni artistiche gli ripugnava. Al Manierismo – sostiene Panofsky – Galilei forse, nel subconscio, associava proprio l'ellisse, che alla sua estetica rinascimentale imbevuta di razionalità, semplicità e armonia, doveva apparire probabilmente come un'inaccettabile deformazione della circonferenza, paragonabile nella musica a una dissonanza. La circonferenza, curva senza inizio e fine, tratta equamente tutti i suoi punti,

²⁸ Laureato in ingegneria a Roma, fu invitato da Enrico Fermi nel 1929 a far parte del suo famoso gruppo di ricerca noto come i "ragazzi di via Panisperna". Malgrado le sue notevoli capacità scientifiche, preferì tuttavia dedicarsi all'altra sua passione: la poesia. Diversi volumi di sue poesie sono stati pubblicati dalla casa editrice Mondadori. È stato *art director* presso l'Olivetti, Pirelli ed ENI, per la quale creò il famoso logo del cane a sei zampe. È stato un poeta, saggista e critico d'arte. È noto come "Il poeta ingegnere" o "Il poeta delle due muse", per il fatto che in tutte le sue opere ha sempre fatto convivere cultura umanistica e cultura scientifica. Per la sua versatilità è stato definito in (Bischi, Nastasi, 2009) "un Leonardo del Novecento" in quanto è stato narratore, pubblicitario, direttore artistico, direttore di riviste, documentarista, autore radiofonico, disegnatore. Da ricordare in particolare «Civiltà delle Macchine», la prestigiosa rivista aziendale da lui creata per Finmeccanica, che rappresentò un esempio unico di rivista interdisciplinare ad altissimo livello divulgativo, nella quale confluirono interessi umanistici e le nuove scoperte della tecnologia, grazie ai contributi dei maggiori scienziati e letterati dell'epoca.

²⁹ Riportato in (Bischi, Nastasi, 2009, p. 133).

La paternità del principio d'inerzia

ciascuno dei quali può vantarsi d'essere inizio, fine e punto medio. Ma questa parità di cittadinanza è anche di qualunque altra curva chiusa. Allora cos'ha di più la circonferenza? Fra le curve chiuse essa è l'unica che non concede nessun altro particolare privilegio ai suoi punti, essendo tutti ugualmente distanti dal suo "unico" centro di curvatura. Fu Leon Battista Alberti (1404-1472), nell'opera *De re aedificatoria*, a teorizzare il primato del cerchio e delle figure poligonali centrali nelle piante delle chiese, tutte inscrivibili nella circonferenza: quadrato, esagono, ottagono, decagono e dodecagono regolare.

Galileo subì certamente il «fascino della circolarità», che ebbe una notevole influenza non soltanto sul suo rifiuto delle orbite planetarie ellittiche ma anche, secondo la più recente storiografia della scienza, sulla sua fisica, non permettendogli di formulare correttamente il principio d'inerzia (Rossi, 2006, vol. 1°, pp. 214-218).

4. La questione del moto naturale

Secondo tale lettura, infatti, il «fascino della circolarità» avrebbe fatto asserire a Galileo che il "moto naturale", cioè quello in assenza di una forza esterna,³⁰ è un moto uniforme circolare e non rettilineo, come invece vuole il principio d'inerzia nella formulazione già citata, attualmente accettata, che ne diede Isaac Newton nei suoi *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

Sulla questione della paternità del Principio d'Inerzia gravano certamente sia elementi nazionalistici sia ritorni di antigaleleismo. Galilei, in vita, dovette fronteggiare molti nemici: l'antigaleleismo della sua epoca culminò con René Descartes (1596-1650) ed ebbe termine soltanto quando Newton, che notoriamente non era molto incline a riconoscere i meriti altrui, affermò, senza mezzi termini, che il principio d'inerzia e il secondo principio della dinamica erano scoperte di Galilei. Nella sua monumentale opera, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, presentata alla Royal Society a Londra il 25 aprile 1685,³¹ nello scolio del capitolo *Axiomata sive Leges Motus (Assiomi o Leggi del moto)*, contenente i tre principi della dinamica, Newton (1687, 2001 p. 69) afferma:

Hactenus principia tradidi a Mathematicis recepta & experientia multiplici confirmata. Per leges duas primas & Corollaria duo prima adinvenit Galilæus descensum gravium esse in duplicata ratione temporis, & motum projectilium fieri in Parabola, conspirante experientia, nisi quatenus motus illi per aeris resistentiam aliquantum

³⁰ Per forza esterna s'intende più in generale la risultante delle forze esterne: pertanto il moto naturale è sia quello in assenza di qualunque forza esterna sia quello in presenza di quante si vogliano forze esterne la cui risultante sia però nulla.

³¹ Ma stampata nel 1687.

L. Nicotra

retardantur. Ab iisdem Legibus & Corollariis pendent demonstrata de temporibus oscillantium Pendulorum, suffragante Horologiorum experientia quotidiana.

(Tutti questi principi sono accettati da ogni matematico, e confermati da molteplici esperienze. Per mezzo delle due prime leggi [cioè il principio d'inerzia e il secondo principio della dinamica o legge fondamentale della dinamica, n.d.A.], Galileo trovò che la discesa dei gravi è proporzionale al quadrato del tempo, e che il moto dei proiettili è parabolico; il che è confermato dall'esperienza, quando si tenga conto che tali moti ritardati alquanto dalla resistenza dell'aria).

Se Galileo avesse veramente considerato come naturale il moto circolare uniforme, e non quello rettilineo, sarebbe stata possibile proprio da parte di Newton, che era notoriamente sempre molto severo nei giudizi delle opere altrui, l'attribuzione del Principio di inerzia a Galileo? Dopo tale autorevole riconoscimento, Galilei fu universalmente considerato il “padre della scienza moderna” anche nella stessa Francia, che tanto ostile gli si era mostrata.

Tuttavia, nel tardo Ottocento si è avuta una recrudescenza di antigaleleismo da parte di storici positivisti.

Ma sono stati soprattutto i francesi, con Pierre Maurice Duhem, ad avanzare rivendicazioni nazionalistiche di paternità riguardo la nascita della scienza moderna, attribuendo il primo sviluppo della meccanica, fondata sul principio d'inerzia, ai francesi Giovanni Buridano (filosofo e rettore dell'Università di Parigi) e al suo successore Nicola Oresme, nel secolo XIV. Secondo Duhem, quest'ultimo avrebbe formulato per primo le leggi sulla caduta dei gravi, sul moto dei proiettili e sull'accelerazione di gravità. Tale tesi, però, è stata contestata da molti studiosi italiani e stranieri, i quali hanno dimostrato come fosse una conseguenza di un errore d'interpretazione di concetti fisici di età ancora medievale (fra cui la teoria dell'impetus di Buridano). Fra tali studiosi si è particolarmente distinto il russo-francese Alexandre Koyré (1892-1964), il quale, tuttavia, nei suoi *Études galiléennes* (1939), ha defraudato per primo Galilei del Principio d'inerzia, affermando che nelle sue opere parla sempre di “inerzia circolare”. Koyré, invece, rivendica al connazionale Descartes la prima formulazione esatta del principio d'inerzia e definisce suo primo inventore Bonaventura Cavalieri (1598-1647), ignorando che questi lo aveva desunto proprio da Galilei, suo Maestro (Galati, 1991, pp. 302-303, Altieri Biagi, 1998, pp. 41,42).

Infatti, in diverse redazioni, che si collocano nei periodi, 1588-1592, 1604-1609, 1611-1615, Galileo scrisse in latino l'opera *De motu locali* (Altieri Biagi, 1998, p. 41), suddivisa in tre libri: *De motu aequabili*, *De motu naturaliter accelerato*, *De motu proiettorum*. In quest'ultimo Galileo spiega il moto parabolico dei proiettili come risultante dalla composizione del moto

La paternità del principio d'inerzia

d'inerzia “rettilineo” orizzontale e del moto uniformemente accelerato verticale dovuto alla gravità. Com'era nelle sue abitudini, prima ancora di pubblicarlo, dette da leggere il suo manoscritto al Cavalieri, suo fedele allievo. Il *De motu locali*, infatti, sarà pubblicato (in latino) molti anni dopo, nel 1638 a Leida, come terza e quarta giornata dell'opera “*summa*” di Galileo, i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica ed i movimenti locali*, stilati, per le altre giornate, nel magnifico volgare galileiano. Ma il Cavalieri, senza citare il Maestro, espose i risultati già contenuti nel *De motu proiettorum* nella sua opera *Specchio Ustorio*, pubblicata nel 1632 (lo stesso anno del *Dialogo* galileiano) suscitando un fortissimo risentimento da parte di Galilei, che fece rimozioni sull'accaduto a Cesare Marsili (1592-1633),³² in una lettera dell'11 settembre 1632:

Tengo lettere dal P. Fra Buonaventura, con avviso come S. P. ha nuovamente stampato un trattato dello specchio ustorio, nel quale con certa occasione dice havervi inserito la proposizione e dimostrazione della linea descritta da i proietti, provando come è una linea parabolica. Io non posso nascondere a V. S. Ill.ma, tale avviso essermi stato di poco gusto, nel vedere come di un mio studio di più di 40 anni, conferitone buona parte con larga confidenza al detto Padre, mi deva ora esser levato le primizie, e sfiorata quella gloria che tanto avidamente desideravo e mi promettevo da sì lunghe mie fatiche; perchè veramente il primo mio intendimento, che mi mosse a specular sopra 'l moto, fu il ritrovar tal linea, la quale se ben, ritrovata, è poi di non molto difficile dimostrazione, tuttavia io, che l'ho provata, so quanta fatica vi ho hauto in ritrovar tal conclusione: e se il P. F. Buonaventura m'havesse, innanzi la pubblicazione, significato il suo pensiero (come forse la civil creanza richiedeva), io l'havrei tanto pregato, che mi harebbe permesso che io havessi prima stampato il mio libro, dopo il quale poteva egli poi soggiugner quanti trovati gli fusse piaciuto. Starò attendendo di veder ciò che ei produce; ma gran cosa certo ci vorrebbe a temperare il mio disgusto e di quanti miei amici hanno ciò inteso, da i quali per mia maggior mortificazione mi vien buttato in occhio il mio troppo confidare. Porta la mia stella che io habbia a combattere, et anco con perdita, la roba mia.³³

Il Marsili insegnava a Bologna ed era collega di Cavalieri, il quale, saputo della lettera, risponde dieci giorni dopo, il 21 settembre, al vecchio Maestro, scusandosi in mille modi e giustificandosi dell'accaduto con il timore che, citandolo come autore della scoperta della legge sul moto dei proiettili,

³² Amico di Galilei, per il quale progettò diversi strumenti scientifici.

³³ Lettera 2300 di Galileo a Cesare Marsili dell' 11 settembre 1632, in (Favaro, 1968, vol. XIV, pp. 386-387).

avrebbe potuto attribuirgli involontariamente e ingiustamente degli errori di esposizione:

È ben vero ch'ella dirà forsi ch'io dovevo spiegare un puoco più chiaro che il pensiero della detta linea parabolica fosse di V. S. Ecc.ma; ma sappi che il dubbio ch'havevo di non concordarmi forsi onninamente con la sua conclusione, fece che io non ardisi con parole specificate di ascriverli quello che havebbe poi havuto lei a rigettare come cosa non sua; fece, dico, ch'io mi raportassi alle parole generali dette alla pag. 152, dove io nomino ancora il P. D. Benedetto, non già perchè io lo metta come autore in parte delle cose ch'io soggiungo, ma perchè pur egli mi ha insegnato parte di quelle cose, havendone visto fare esperienze da lui con altri scolari, da' quali pure ho sentito l'istessa conclusione: parendomi in somma talmente divulgata e la conclusione e ch'ella n'era l'autore, che non potesse cadere dubbio alcuno ch'io me la potessi arrogare come cosa mia.³⁴

Cavalieri si giustifica ancora per la mancata citazione, essendo convinto che Galilei avesse già pubblicato quei risultati in altre sue opere e quindi fosse già nota la sua paternità della scoperta, sembrandogli quindi «talmente divulgata» che ne fosse «l'autore, che non potesse cadere dubbio alcuno»:

[...] parendomi in somma talmente divulgata e la conclusione e ch'ella n'era l'autore, che non potesse cadere dubbio alcuno ch'io me la potessi arrogare come cosa mia. [...] Aggiungo di più che io veramente pensai che in qualche luogo ella ne havebbe trattato, non havend'io potuto haver fortuna di vedere tutte le opere sue; e questo, molto me l'ha fatto credere il sentirla fatta tanto publica e per tanto tempo, che l'Oddi mi disse, dieci anni sono, ch'ella ne haveva fatto qualche esperienza con il Sig.r Guid'Obaldo dal Monte: e questo pure mi ha reso trascorrato in non scrivergliene prima, stimando in realtà ch'ella punto non si curasse, anzi fosse più tosto per haver grato, che un suo discepolo, con un'occasione sì opportuna, si mostrasse seguace della sua dottrina, quale tuttavia confessa haver da lei imparata.³⁵

Infine si dichiara disposto a bloccare la vendita del libro e fare qualunque cosa per riparare l'offesa recata:

Vega pur quello vole ch'io facci per darli sodisfattione, chè io sono prontissimo a farlo. Ne ho dato fuori solo alcune copie qua in Bologna; fra tanto io non ne lascerò uscire altre sino che non sia aggiustato il

³⁴ Lettera 2307 di Bonaventura Cavalieri a Galileo del 21 settembre 1632, in (Favaro, 1968, vol. XIV, pp. 394-395).

³⁵ Ivi.

La paternità del principio d'inerzia

*negotio, se si può, ch'ella vi habbi sodisfattione: perchè o io differirò il darne fuori più sino ch'ella non habbi stampato il suo del moto [...]*³⁶

È persino disposto a bruciare «tutte le copie, perché si distruga con quelle la ragione, per quanto è possibile, di haver dato disgusto» a Galileo:

*[...] abbrucierò tutte le copie, perchè si distruga con quelle la ragione, per quanto è possibile, di haver dato disgusto al mio Sig.r Galileo, sì che mi habbi con Cesare potuto dire: “Tu quoque, Brute, fili!”; dove ho sempre reputato per mia somma fortuna haverla conosciuta e potere honorarla e servirla, godendo de' pretiosi frutti della sua eminente dottrina [...]*³⁷

Nella stessa data anche il Marsili scrive una lettera a Galilei, per rassicurarlo. Galileo si calma, capisce l'errore privo di malizia dell'amato discepolo e non vuole che Cavalieri elimini nulla dal suo libro, pur rimanendo in lui un grande dolore.

Il Koyré sembra ignorare tutta questa vicenda. Ancor oggi la sua tesi sulla “circularità” dell'inerzia galileiana ha importanti proseliti e la paternità del principio d'inerzia è tutt'altro che risolta definitivamente. Vale la pena, quindi, di accennare alle argomentazioni a favore e a sfavore della sua attribuzione a Galilei (Galati, 1991, pp. 275-314, 345-349).

Gerald Holton (1993, pp. 168-174) molto acutamente analizza il legame fra il gusto estetico di Galileo, magistralmente posto in evidenza da Panofsky, e il suo pensiero scientifico:

.... Galileo, come tanti intellettuali italiani dell'epoca, giustamente non si considerava solo uno scienziato, ma anche un ammiratore e un critico delle arti. Inoltre uno dei criteri principali che informavano il pensiero scientifico di Galileo era quello di usare soltanto quegli elementi del pensiero che soddisfacevano anche l'estetica. Ed era su basi estetiche che Galileo trovava le idee di Keplero inaccettabili o addirittura repellenti.

[...] Oltre a interessarsi di letteratura Galileo si lanciava volentieri anche in controversie sulle arti visive. [...] Galileo criticava in modo particolare l'allora ammiratissimo Arcimboldo, pittore di corte di Rodolfo II (a peggiorare le cose), che era specializzato nel personificare concetti o stagioni assemblando ingegnosamente oggetti, o elementi vegetali come frutta e fiori. Questo stile, a cui oggi ci si riferisce col nome di «manierismo», nacque come tendenza anticlassica, e, come ha osservato Panofsky, si contrapponeva agli ideali di razionalità,

³⁶ Ivi.

³⁷ Ivi.

L. Nicotra

semplicità ed equilibrio , incoraggiando invece un gusto per l'irrazionale, il fantasioso, il complesso e il dissonante.

C'è un elemento in particolare che veniva enfaticamente rifiutato dalla piena arte rinascimentale, adorata da Galilei, mentre veniva apprezzato dal manierismo che Galileo aborrisce: l'ellisse.

[...]Per Galileo, che subiva ancora completamente il fascino della circolarità, l'ellisse era un circolo distorto, una forma indegna dei corpi celesti.

Quello per il cerchio è certamente un amore dichiarato di Galileo, che effettivamente sembra considerare “naturale” il moto circolare, mentre quello rettilineo sarebbe utilizzato dalla Natura per ristabilire un ordine disturbato.

Così si esprime per bocca di Salviati:

SALV. Già mille volte si è detto che il moto circolare è naturale del tutto e delle parti, mentre sono in ottima disposizione: il retto è per ridurr'all'ordine le parti disordinate; se ben meglio è dire che mai, nè ordinate nè disordinate, non si muovon di moto retto, ma di un moto misto, che anco potrebb'esser circolare schietto; ma a noi resta visibile e osservabile una parte sola di questo moto misto, cioè la parte del retto, restandoci l'altra parte del circolare impercettibile, perché noi ancora lo partecipiamo: e questo risponde a i razzi, li quali si muovono in su e in giro, ma noi non possiamo distinguer il circolare, perché di quello ci moviamo noi ancora. Ma quest'autore non credo che abbia mai capita questa mistione, poichè si vede come egli risolutamente dice che i razzi vanno in su a dritto e non vanno altrimenti in giro. (Favaro, vol. VII, p. 267)

E ancora:

SALV. Intanto a me pare che un principio solo possa cagionare nel globo terrestre più moti, in quella guisa appunto, come dianzi risposi, che un sol principio, co 'l mezo di varii strumenti, produce moti molteplici e diversi nell'animale [...]; e perché hanno ad esser circolari, la semplice figura sferica è la più bella articolazione che domandar si possa. (Favaro, 1968, Vol. VII, pp 284).

A conclusione della sua analisi, Holton nega la paternità del principio d'inerzia attribuita a Galilei (Holton, 1993, p. 174):

Quindi a Galileo sfuggì l'intuizione che costituisce la base della meccanica moderna, e a cui oggi facciamo riferimento come prima legge di Newton, e cioè che in assenza di forze che interferiscano, un corpo procede a velocità uniforme in linea retta.

La paternità del principio d'inerzia

E Paolo Rossi (op. cit., p. 216) riferendosi all'inerzia:

Questo principio, che è alle radici della dinamica moderna, non fu mai formulato da Galilei proprio a causa dell'azione esercitata sulla sua fisica dalle sue convinzioni cosmologiche.

Normalmente si individua nell'*incipit* della Giornata Quarta dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i moti locali* (nella quale confluì il *De motu proiectorum*) il primo riferimento completo al principio d'inerzia. La "rettilinearità" di tale principio è evidente nelle parole:

Mobile quoddam super planum horizontale proiectum mente concipio, omni secluso impedimento: iam constat, ex his quae fusius alibi dicta sunt, illius motum aequabilem et perpetuum super ipso plano futurum esse, si planum in infinitum extendatur; si vero terminatum et in sublimi positum intelligamus, mobile, quod gravitate praeditum concipio, ad plani terminum delatum, ulterius progrediens, aequabili atque indelebili priori lationi superaddet illam quam a propria gravitate habet deorsum propensionem, indeque motus quidam emerget compositus ex aequabili horizontali et ex deorsum naturaliter accelerato, quem proiectionem voco (Favaro, 1890-1909, Vol. VIII, p. 268).

(Immagino di avere un mobile lanciato su un piano orizzontale, rimosso ogni impedimento: già sappiamo, per quello che abbiamo detto più diffusamente altrove, che il suo moto si svolgerà equabile e perpetuo sul medesimo piano, qualora questo si estenda all'infinito; se invece intendiamo [questo piano] limitato e posto in alto, il mobile, che immagino dotato di gravità, giunto all'estremo del piano e continuando la sua corsa, aggiungerà al precedente movimento equabile e indelebile quella propensione all'ingiù dovuta alla propria gravità: ne nasce un moto composto di un moto orizzontale equabile e di un moto deorsum naturalmente accelerato, il quale [moto composto] chiamo proiezione).

L. Nicotra

Il moto rettilineo è inequivocabilmente doppiamente ravvisabile: se fosse circolare il mobile, nel caso del piano limitato, non potrebbe uscire fuori dei suoi confini e continuerebbe a muoversi sullo stesso piano; inoltre lo è nell'identificazione dei due componenti del moto di un proiettile: «*mobile, quod gravitate praeditum concipio, ad plani terminum delatum, ulterius progrediens, aequabili atque indelebili priori lationi superaddet illam quam a propria gravitate...*».

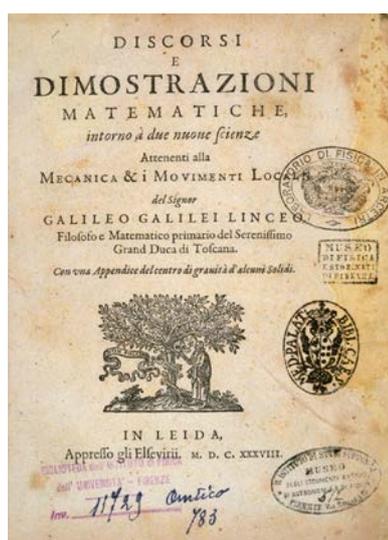


Figura 4 - *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i moti locali* (1638).

References

1. Altieri Biagi M. L. (1998). La lingua della comunicazione scientifica: la sintassi “classica” di Galileo. In Atti della conferenza “Lingua Testo Letteratura”, IRRSAE Umbria, Perugia, sala Brugnoli di Palazzo Cesaroni 29 ottobre 1998, pp. 41,42.
2. Bruno Giordano (1584). *La Cena de le ceneri*. Anche online: https://www.liberliber.it/mediateca/libri/b/bruno/cena_de_le_ceneri/pdf/cena_d_p.pdf.

La paternità del principio d'inerzia

3. Cafarelli Vergara Roberto (2006). Il principio d'inerzia negli ultimi scritti di Galilei. «*Cronos*», 10, 63-88.
4. Cicerone Marco Tullio (n.d.) - *De finibus bonorum et malorum*.
5. Cohen I. B. (1967). Newton's attribution of the first two laws of motion to Galileo. In: *Atti del Symposium Internazionale di Storia, Metodologia, Logica e Filosofia della Scienza "Galileo nella Storia e nella Filosofia della Scienza"*, Firenze, pp. XXV- XLIV.
6. Drago Antonino (1997). La nascita del principio d'inerzia in Cavalieri e Torricelli secondo la matematica elementare di Weyl. In *Atti del XVII Congresso nazionale di storia della fisica e dell'astronomia: Istituto di fisica generale applicata, Milano, Centro Volta, Villa Olmo, Como, 22-25 maggio 1997 / a cura di Pasquale Tucci*.
7. Enriques Federigo, Gentile Giovanni Junior (1933). Inerzia. *Enciclopedia Italiana*. Anche online:
8. [https://www.treccani.it/enciclopedia/inerzia_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/inerzia_(Enciclopedia-Italiana))
9. Enriques Federigo, De Santillana Giorgio (1937). *Compendio di Storia del pensiero scientifico. Dall'antichità fino ai tempi moderni*. Bologna: Zanichelli.
10. Einstein Albert (1962). *Relativity*, in *The American Peoples Encyclopedia*, New York, Grolier Incorporated, p. 16-360.
11. Espinoza Fernando (2005). "An analysis of the historical development of ideas about motion and its implications for teaching". In «*Physics Education*» 40 (2), p. 141.
12. Favaro Antonio (cur.) (1890-1909). *Le Opere di Galileo Galilei, Edizione Nazionale*, 1890-1909. Ristampe: 1929-1939 e 1964-1968. Firenze: Barbera.
13. Klein Etienne (2006). *Sette volte la rivoluzione*, Milano: Raffaello Cortina.
14. Koyré Alexandre (1939). *Études galiléennes* (trad. it. *Studi galileiani*, Torino: Einaudi, 1976).
15. Galati Domenico (1991). *Galileo, primario matematico e filosofo*, Roma: Pagoda editrice.
16. Holton Gerald (1993). *Le responsabilità della scienza*, Bari: Laterza.
17. Newton Isaac (1687, 2001). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londini: Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII. In

- italiano *Principi di filosofia naturale*. Trad. italiana e riduzione a cura di Federigo Enriques e Umberto Forti. Milano: Fabbri editore, 2001.
18. Newton Isaac (1728). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londini: translated by Andrew Motte.
 19. Nicotra Luca (2019). “Leonardo da Vinci: artista-scienziato o scienziato-artista?” In Ugo Locatelli. *Così il tempo presente. Omaggio al pensiero di Leonardo* (a cura di Carlo Francou). Roma: UniversItalia, 2019, pp. 72-87.
 20. Panofsky Erwin (1956). “Galileo es a critic of the arts: aesthetic attitude and scientific thought”, in «*Isis*», XLVII, 1956, pp. 3-15.
 21. Rossi Paolo (2006). *Galileo Galilei*. In *Storia della scienza* (a cura di P. Rossi). Roma: Gruppo Editoriale L'Espresso, , vol. 1°.
 22. Rupert Hall A. (1963). *From Galileo to Newton 1630-1720*. London (trad. it. *Da Galileo a Newton 1630-1720*, Milano, 1973).
 23. Severi Francesco, (1954). *Leonardo*. Roma: Universale Studium.
 24. Wallace. W. W. (1984). *Galileo and his Sources. The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science*. Princeton.
 25. Westfall R. S. (1971). *Force in Newton's Physics. The Science of Dynamics in the Seventeenth Century*, New York (trad. It. Newton e la dinamica del XVII secolo, Bologna, 1982).