LO SCRIGNO DI PROMETEO

COLLANA DI DIDATTICA, DIVULGAZIONE E STORIA DELLA FISICA

31

Co-direttori
Ettore Gadioli
Ignazio Licata

Comitato scientifico
Valia Allori
Sigfrido Boffi
Giovanni Fiorentini
Marco Alessandro Luigi Gaetano Giliberti
Gianluca Introzzi
Lino Miramonti
Francesco Primiceri

LO SCRIGNO DI PROMETEO

COLLANA DI DIDATTICA, DIVULGAZIONE E STORIA DELLA FISICA



La conoscenza completa delle leggi fisiche è la meta più alta a cui possa aspirare un fisico, sia che essa abbia uno scopo puramente utilitario... sia che egli vi cerchi la soddisfazione di un profondo bisogno di sapere e la solida base per la sua intuizione della natura.

Max Planck

La Fisica ha come scopo capire il rapporto tra l'uomo e la natura, non solo da un punto di vista scientifico, ma anche filosofico, e ha cambiato in modo irreversibile la nostra vita tramite le sue ricadute tecnologiche.

La spiegazione e la divulgazione dei concetti che stanno alla sua base, dati quasi per scontati, ma lungi dall'essere noti o compresi da molti, e l'evoluzione delle tecniche sperimentali, che hanno permesso di scoprire le leggi che regolano i fenomeni naturali e delle teorie via via elaborate, sono perciò argomenti di studio e riflessione di rilevanza primaria.

Questa collana si rivolge a chi abbia desiderio di approfondire o discutere questi temi ed è aperta a chi voglia collaborarvi con contributi originali.



La pubblicazione è stata realizzata con il contributo
dell'Università degli Studi di Cagliari – Dipartimento di Fisica

Classificazione Decimale Dewey

— 531.09 (23.) MECCANICA CLASSICA MECCANICA DEI SOLIDI. Storia, geografia, persone

Thema

— Soggetto: PHD. Meccanica classica
— Qualificatori: 3MD. XVI secolo, 1500–1599

GIORGIO CONCAS

IL SAGGIO *DE MOTU* DI GALILEO

aracne



©

ISBN
979-12-218-3016-3

PRIMA EDIZIONE
ROMA 4 NOVEMBRE 2026

INDICE

9 *Introduzione*

15 Capitolo I
Galileo negli anni pisani

19 Capitolo II
La concezione aristotelica del moto

29 Capitolo III
Le fonti medievali e rinascimentali

41 Capitolo IV
Archimede e il metodo del giovane Galileo

51 Capitolo V
Peso, leggerezza e struttura dei corpi

61 Capitolo VI
Il moto nel mezzo

71 Capitolo VII
L'idrostatica del Saggio

81 Capitolo VIII
La caduta dei gravi e la critica di Aristotele

91 Capitolo IX
Il vuoto e la resistenza del mezzo

101 Capitolo X
Il moto violento e la forza impressa

111 Capitolo XI
Dal Saggio alla scienza galileiana matura

121 *Conclusioni*

127 *Bibliografia*

INTRODUZIONE

1. Oggetto e titolo della monografia

Il saggio latino in ventitré capitoli che costituisce l'oggetto della presente monografia è la parte più estesa dell'insieme di manoscritti pubblicato da Antonio Favaro nel 1890 sotto il titolo *De motu* e comunemente indicato in letteratura come *De motu antiquiora*. Nel titolo *Il Saggio De Motu di Galileo*, l'espressione *De Motu* designa dunque, in senso ristretto, questo solo Saggio e non l'intera sezione favariana. Il testo sarà d'ora in avanti chiamato «Saggio». La sua numerazione in ventitré capitoli è quella stabilita da I.E. Drabkin nella traduzione inglese[1]. Il Saggio appartiene agli anni iniziali dell'attività scientifica di Galileo e sarà letto come documento privilegiato di quella fase.

(1) Galilei, *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale diretta da Antonio Favaro, vol. I (Firenze: G. Barbera, 1890), 243-419. Per il Saggio, la sua divisione in ventitré capitoli e la distinzione dagli altri materiali della sezione favariana si veda I.E. Drabkin, introduzione e traduzione in Galileo Galilei, *On Motion and On Mechanics* (Madison: University of Wisconsin Press, 1960). Sull'insieme dei *De motu antiquiora* si veda Raymond Fredette, «Galileo's *De Motu Antiquiora*: Notes for a Reappraisal», in *Largo campo di filosofare: Eurosymposium Galileo 2001*, a cura di José Montesinos e Carlos Solís (La Orotava: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2001), 165-181.

2. Stato manoscritto e statuto storico degli scritti inediti

Il *De Motu Antiquiora* non è un libro pubblicato da Galileo. È un insieme di materiali manoscritti conservati principalmente nel codice Galileiano 71 della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze: il Saggio, un dialogo incompiuto, redazioni parziali o alternative, appunti e un programma di ricerca. Favaro rese accessibile questo corpus nel primo volume dell'Edizione Nazionale[2]. La piattaforma ECHO del Max Planck Institute for the History of Science presenta inoltre il testo latino, le immagini del manoscritto e la traduzione inglese dell'insieme realizzata da Raymond Fredette[3]. La condizione inedita richiede una distinzione essenziale. Una teoria può dirsi propriamente presentata da un autore quando questi la rende pubblica assumendone la responsabilità in una forma destinata ai lettori. Appunti, abbozzi e trattati non pubblicati non possiedono automaticamente questo statuto: possono contenere una costruzione teorica estesa e coerente, ma restano documenti di lavoro che l'autore non ha sottoposto al giudizio pubblico. Non è quindi corretto parlare della «teoria di Galileo» nel *De Motu Antiquiora* nello stesso senso in cui si parla delle dottrine esposte nel *Dialogo* o nei *Discorsi*. Gli scritti pisani sono soprattutto fonti per ricostruire lo sviluppo del suo pensiero, le ipotesi tentate, le difficoltà incontrate e le soluzioni successivamente corrette o abbandonate.

Questa cautela non diminuisce il valore del Saggio. Impedisce, piuttosto, di attribuire a Galileo come posizione pubblicamente sostenuta ogni proposizione presente nel manoscritto. Nel corso della monografia si distingueranno pertanto: ciò che il testo afferma; la funzione che tale affermazione svolge nella redazione manoscritta; l'eventuale ripresa, trasformazione o esclusione nelle opere pubblicate. Solo quest'ultimo confronto consentirà di valutare in quale misura una soluzione giovanile sia entrata nella scienza che Galileo volle effettivamente presentare ai propri lettori. La maggior parte degli studiosi colloca il nucleo principale del Saggio

(2) Galilei, *Opere*, I, sezione «De motu antiquiora». Il manoscritto principale è Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, Ms. Gal. 71.

(3) Max Planck Institute for the History of Science, «Collection of Galileo Galilei's Manuscripts and Related Translations», ECHO. La traduzione Fredette copre l'intero insieme dei *De motu antiquiora*; Drabkin tradusse invece, fra i materiali riuniti da Favaro, il Saggio e il dialogo sul moto.

negli anni pisani, approssimativamente fra il 1589 e il 1592, con una particolare concentrazione intorno al 1590-1591. Questa cronologia è compatibile con la cattedra di matematica ottenuta da Galileo a Pisa nel 1589, con i suoi rapporti con Guidobaldo del Monte e con le discussioni suscitate nell'ambiente toscano dalle dottrine sul moto. Una lettera di Guidobaldo dell'8 dicembre 1590 attesta che problemi relativi al moto erano oggetto di confronto fra Galileo, Guidobaldo e Jacopo Mazzoni(4). La datazione dei diversi materiali resta tuttavia più problematica: l'intera sezione favariana testimonia revisioni e ripensamenti, non la trascrizione uniforme di una teoria concepita in un solo momento.

La forma materiale impone perciò prudenza. La scansione capitolare usata nella monografia è uno strumento editoriale di lettura e orientamento; non deve suggerire che Galileo abbia pubblicato il testo con quell'esatta architettura. La completezza argomentativa di molte dimostrazioni convive con passaggi che indicano un pensiero ancora in movimento. Le duplicazioni e le redazioni alternative appartengono invece al più ampio quadro dei materiali riuniti da Favaro e non vanno automaticamente attribuite alla struttura interna del solo Saggio. La condizione manoscritta non costituisce un difetto da nascondere, ma un dato storico da interpretare. Essa permette di seguire il lavoro dell'autore; non autorizza però l'introduzione a stabilire in anticipo quali soluzioni riescano o falliscano. Tale giudizio verrà formulato soltanto dopo l'analisi integrale del Saggio(5).

3. Il problema dell'ordine di composizione

La cronologia relativa dei manoscritti è stata a lungo controversa. Favaro dispose nell'Edizione Nazionale il Saggio in ventitré capitoli, la variante dei primi due capitoli, la redazione in dieci sezioni, il dialogo, i *Memoranda* e il programma. Questa successione editoriale non coincide necessariamente con l'ordine in cui i testi furono composti. Drabkin rovesciò l'opinione tradizionale almeno su un punto decisivo,

(4) Guidobaldo del Monte a Galileo Galilei, 8 dicembre 1590, Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, Gal. 88, doc. 13, cc. 30r-31v; scheda della Galileoteca del Museo Galileo.

(5) S. Salvia, «From Archimedean Hydrostatics to Post-Aristotelian Mechanics: Galileo's Early Manuscripts *De motu antiquiora* (ca. 1590)», *Physics in Perspective* 19 (2017): 105-150.

sostenendo che il dialogo incompiuto precedesse il Saggio. Fredette sviluppò questa ipotesi ma conservò, insieme con Favaro, l'idea che le due redazioni parziali fossero rielaborazioni successive del Saggio completo. Nel contributo del 2001 egli richiamò inoltre l'analisi testuale di Enrico Giusti come conferma di tale sequenza[6]. Stillman Drake propose nel 1976 una ricostruzione differente: dialogo, redazione in dieci sezioni, variante dei primi due capitoli e, infine, Saggio in ventitré capitoli. A suo giudizio, ciò che era stato interpretato come una regressione concettuale del Saggio costituiva invece il risultato di una maturazione: Galileo avrebbe sostituito una terminologia artificialmente rigorosa con un linguaggio ordinario reso più preciso dal contesto, mentre il modello della bilancia avrebbe fornito l'elemento organizzatore assente dalle redazioni anteriori. Drake considerava inoltre significativo che la redazione in dieci sezioni non contenesse alcun accenno a quell'analogia, che Galileo presenta nel Saggio come una conquista raggiunta dopo lunga fatica[7]. La presente monografia accetta la conclusione di Drake. Il Saggio in ventitré capitoli sarà dunque considerato la stesura finale e più organica del progetto pisano sul moto, e per questa ragione costituirà il testo centrale dell'analisi. L'adozione di questa cronologia è una scelta storiografica argomentata, non la pretesa di eliminare ogni incertezza paleografica o testuale. La tesi alternativa di Fredette e Giusti sarà esposta con esattezza, ma non determinerà l'ordine interpretativo della monografia. Le redazioni anteriori serviranno a illuminare la genesi delle formulazioni del Saggio; non saranno assunte come correzioni posteriori capaci di rappresentare meglio il pensiero di Galileo.

Il carattere finale del Saggio è qui relativo all'insieme degli scritti pisani, non assoluto. «Finale» significa ultima redazione organica del progetto secondo la sequenza accolta; non significa testo autorizzato per la stampa né teoria definitivamente approvata dall'autore. Rimane quindi ferma la distinzione fra compimento redazionale interno e pubblicazione: il Saggio rappresenta meglio degli abbozzi il punto raggiunto dal pensiero galileiano in quella fase, ma resta uno scritto non pubblicato.

(6) R. Fredette, «Galileo's *De Motu Antiquiora*: Notes for a Reappraisal», 172-174, che richiama Enrico Giusti, «Elements for the Relative Chronology of Galilei's *De motu antiquiora*», *Nuncius* 13, n. 2 (1998): 427-460.

(7) S. Drake, «The Evolution of *De motu* (Galileo Gleanings XXIV)», *Isis* 67, n. 2 (1976): 239-250, in particolare 239-240 e 248-249.

4. Problemi storiografici e criteri interpretativi

La storiografia galileiana ha spesso oscillato fra letture continuistiche e letture che accentuano la discontinuità fra gli scritti giovanili e le opere mature. L'introduzione registra questo problema, ma non ne anticipa la soluzione. Alexandre Koyré ha insistito sulla funzione dell'idealizzazione e sulla distanza fra il mondo dell'esperienza comune e lo spazio astratto della nuova fisica[8]. Stillman Drake ha posto maggiore enfasi sul lavoro sperimentale e sulla progressiva costituzione di relazioni quantitative[9]. William A. Wallace ha ricostruito con particolare attenzione la formazione scolastica, le fonti gesuitiche e il lessico filosofico del giovane Galileo[10]. Studi più recenti hanno messo in luce la circolazione di conoscenze fra idrostatica, filosofia naturale e pratica matematica, evitando di ridurre la trasformazione a un singolo atto di rottura[11]. Queste prospettive non devono essere semplicemente sovrapposte: suggeriscono domande differenti da rivolgere al testo. La presente monografia seguirà quattro criteri. In primo luogo, la contestualizzazione: ogni dottrina sarà ricondotta al problema cui risponde e alle alternative disponibili nel tardo Cinquecento. In secondo luogo, il controllo terminologico: i concetti principali saranno verificati sul latino, utilizzando le traduzioni inglesi di Drabkin e Fredette come strumenti di confronto. In terzo luogo, la distinzione cronologica: il Saggio sarà confrontato con le opere mature senza attribuirgli retroattivamente concetti posteriori. In quarto luogo, la ricostruzione argomentativa: non si procederà con un commento ripetitivo dei ventitré capitoli, ma per nuclei concettuali, richiamando i singoli capitoli quando la sequenza della dimostrazione lo richieda.

Quest'ultimo criterio è particolarmente importante. L'ordine del testo resta una fonte e non verrà ignorato; ma una monografia deve rendere visibili relazioni che l'esposizione manoscritta distribuisce in luoghi diversi. Le dimostrazioni sui corpi immersi, la teoria della velocità,

(8) A. Koyré, *Études galiléennes* (Paris: Hermann, 1939).

(9) S. Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (Chicago: University of Chicago Press, 1978).

(10) W.A. Wallace, *Galileo and His Sources: The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science* (Princeton: Princeton University Press, 1984).

(11) Si veda, fra gli altri, Salvia, «From Archimedean Hydrostatics».

il vuoto e la forza impressa appartengono a problemi distinti e insieme interdipendenti. La struttura tematica permetterà di seguirne le connessioni senza moltiplicare parafrasi.

5. Metodo e struttura della monografia

La traduzione italiana dei brani del Saggio riportati nella monografia è dell'autore ed è condotta sul testo latino. Quando una parola ammette traduzioni diverse o possiede un significato tecnico non interamente sovrapponibile all'italiano moderno, sarà riportato il latino fra parentesi e sarà discusso il confronto con Drabkin e Fredette. Le fonti primarie comprenderanno l'Edizione Nazionale diretta da Favaro, il manoscritto e la trascrizione digitale messi a disposizione dal Max Planck Institute, le opere mature di Galileo e i testi aristotelici e archimedei pertinenti. Le fonti secondarie saranno impiegate per discutere questioni di datazione, dipendenza, metodo e sviluppo concettuale. Quando l'attribuzione di una fonte a Galileo non sia documentabile, si distinguerà la somiglianza dottrinale dalla trasmissione storica effettiva. La costruzione complessiva seguirà una sequenza rigorosa: premesse, analisi del testo, discussione, conclusioni. L'introduzione e i capitoli iniziali stabiliranno esclusivamente l'oggetto, lo stato delle fonti, la cronologia, il contesto e gli strumenti concettuali indispensabili. I capitoli centrali svolgeranno l'analisi del Saggio, senza anticiparne il bilancio storico. Soltanto dopo l'analisi saranno discussi il rapporto con Aristotele e Archimede, il confronto con le opere mature e il significato dello scritto nello sviluppo del pensiero di Galileo. Le conclusioni raccoglieranno infine i risultati senza introdurre nuovi argomenti. Questa separazione funzionale serve a evitare duplicazioni e a conservare la progressione dimostrativa della monografia.

CAPITOLO I

GALILEO NEGLI ANNI PISANI

1. La formazione filosofica e matematica

Quando Galileo iniziò a occuparsi sistematicamente del moto, la sua identità intellettuale non coincideva ancora con quella di un matematico contrapposto ai filosofi. Nato a Pisa nel 1564 e cresciuto in una famiglia nella quale la pratica musicale del padre Vincenzo si accompagnava a interessi teorici, Galileo fu avviato agli studi universitari di medicina. Abbandonò però il percorso medico e si orientò verso la matematica, entrando in rapporto con Ostilio Ricci, legato alla tradizione matematica applicata della corte toscana. Questa svolta non eliminò la formazione filosofica ricevuta, ma cambiò il modo in cui i problemi naturali potevano essere affrontati[1]. La matematica universitaria del tardo Cinquecento non godeva dello stesso rango istituzionale della filosofia naturale. Il filosofo spiegava le cause dei fenomeni sulla base dei libri naturali di Aristotele; il matematico trattava quantità, figure, astronomia, ottica, musica e meccanica, spesso considerate discipline subordinate o miste. Questa diversa collocazione istituzionale costituisce una premessa necessaria per comprendere l'ambiente nel quale Galileo lavorò. Archimede fu decisivo. Nel 1586 Galileo compose *La bilancetta*, dedicata alla determinazione dei pesi specifici mediante una bilancia

(1) M. Camerota, *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della Controriforma* (Roma: Salerno Editrice, 2004); Drake, *Galileo at Work*.

idrostatica. L'opera rivela familiarità con il principio archimedeo e con l'idea che differenze qualitative apparenti possano essere analizzate attraverso proporzioni fra pesi e volumi[2]. Poco dopo Galileo lavorò sui centri di gravità dei solidi, comunicando risultati a Guidobaldo del Monte e cercando il riconoscimento di matematici autorevoli, fra i quali Cristoforo Clavio al Collegio Romano. Queste ricerche fornirono non soltanto tecniche, ma un ideale dimostrativo: partire da condizioni definite, stabilire proporzioni e dedurre conseguenze necessarie.

Accanto alla linea archimedea permaneva una robusta cultura aristotelica. I cosiddetti *Juvenilia*, appunti di logica e filosofia naturale tradizionalmente riferiti agli anni giovanili, mostrano quanto Galileo conoscesse le forme scolastiche della discussione. La ricerca sulle loro fonti ha evidenziato rapporti con materiali didattici del Collegio Romano e ha invitato a non confondere la copiatura o rielaborazione di corsi con una personale adesione dottrinale[3]. È quindi improprio descrivere la formazione di Galileo come un passaggio istantaneo dalla scolastica alla matematica. In questa fase è sufficiente registrare la compresenza delle due formazioni; il modo in cui esse agiscono nel Saggio sarà esaminato nei capitoli analitici.

2. L'ambiente universitario pisano

Galileo ottenne la cattedra di matematica nello Studio di Pisa nel 1589 e la mantenne fino al trasferimento a Padova nel 1592[4]. Erano tre anni istituzionalmente brevi, ma intellettualmente intensi. L'università pisana era un luogo nel quale la filosofia aristotelica possedeva grande autorevolezza, senza essere per questo monolitica. Le controversie riguardavano la natura degli elementi, il misto, il vuoto, il moto e l'interpretazione dei commentatori greci, arabi e latini. Fra le figure rilevanti vi era Francesco Buonamici, professore di filosofia e autore del vasto *De motu libri X*, pubblicato a Firenze nel 1591. L'opera, pressoché contemporanea agli

(2) Galilei, *La bilancetta*, in *Opere*, I.

(3) Wallace, *Galileo's Early Notebooks: The Physical Questions* (Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1977); Id., *Galileo and His Sources*.

(4) Per la cronologia essenziale si vedano Camerota, *Galileo Galilei*, e la documentazione biografica del Museo Galileo.

scritti galileiani, mostra l'ampiezza del dibattito sul moto nell'aristotelismo pisano. Buonamici non rappresentava una caricatura libresca contro cui fosse sufficiente invocare l'esperienza; apparteneva a una tradizione esegetica capace di discutere varianti, difficoltà e obiezioni. La critica di Galileo si sviluppò quindi entro un ambiente filosoficamente competente[5]. Un altro interlocutore importante fu Jacopo Mazzoni, filosofo di vastissima cultura e amico di Galileo. La lettera di Guidobaldo del Monte dell'8 dicembre 1590, nella quale si accenna alle questioni sul moto e alle posizioni di Mazzoni, offre un punto d'appoggio documentario per collocare il lavoro galileiano in una discussione concreta[6]. Non si trattava soltanto di un confronto astratto con Aristotele, ma di una rete di conversazioni, lettere e testi nei quali le soluzioni venivano provate contro obiezioni contemporanee. La cattedra di matematica comportava insegnamenti che non coincidevano necessariamente con la ricerca del Saggio. Il matematico universitario era chiamato a trattare soprattutto geometria, astronomia e materie connesse, mentre la riflessione sul moto naturale apparteneva formalmente alla filosofia. Questo confine disciplinare definisce il contesto istituzionale, senza stabilire ancora come Galileo lo attraversi nel testo.

La celebre narrazione degli esperimenti dalla torre pendente, dovuta soprattutto al *Racconto istorico* di Vincenzo Viviani, deve essere trattata con cautela. Non possediamo una documentazione contemporanea che permetta di ricostruire con certezza una dimostrazione pubblica nelle forme divenute canoniche. Ciò non significa che Galileo non abbia compiuto esperienze di caduta; significa soltanto che il racconto postumo non può essere assunto come premessa documentaria dell'analisi[7].

3. La collocazione cronologica del Saggio

Collocare il Saggio negli anni 1589-1592 significa inserirlo fra *La bilancetta* e il trasferimento nello Studio di Padova. La cronologia assoluta

(5) F. Buonamici, *De motu libri X* (Firenze: Sermartelli, 1591); Salvia, «From Archimedean Hydrostatics», 112-119.

(6) Guidobaldo del Monte a Galileo, 8 dicembre 1590.

(7) Sul racconto di Viviani e la sua valutazione storiografica si vedano Drake, *Galileo at Work*, e Salvia, «From Archimedean Hydrostatics».

rimane approssimativa; la cronologia relativa interna viene invece assunta secondo l'ordine proposto da Drake e discusso nell'introduzione. La pubblicazione postuma aggiunge un ulteriore problema. I contemporanei non conobbero il Saggio come libro stampato e non poterono riceverlo nella forma editoriale con cui lo leggiamo oggi. Per la storia dell'influenza occorre distinguere le idee circolate attraverso insegnamento, conversazioni o manoscritti dall'esistenza editoriale del testo. Per la storia intellettuale di Galileo, invece, il saggio è prezioso proprio perché conserva soluzioni che egli non volle fissare pubblicamente. Il capitolo si arresta deliberatamente a questa collocazione cronologica.

CAPITOLO II

La concezione aristotelica del moto

1. Il moto come problema della filosofia naturale

La dottrina aristotelica del moto non è una teoria isolata, paragonabile a un capitolo autonomo della meccanica moderna. Essa appartiene alla filosofia della natura e ne coinvolge i concetti fondamentali: natura, sostanza, materia e forma, potenza e atto, causa, luogo e tempo. Per questa ragione, prima di esaminare le proposizioni aristoteliche sulla caduta dei gravi o sul moto dei proiettili, occorre chiarire che cosa Aristotele intenda per movimento e quale funzione esso svolga nella comprensione degli enti naturali. Nel secondo libro della *Fisica*, Aristotele definisce la natura come un principio e una causa del muoversi e dello stare in quiete presente primariamente nella cosa stessa e non per accidente[1]. Un letto di legno può cadere verso il basso, ma non cade in quanto letto: la causa di quel comportamento risiede nella materia di cui è fatto. Un animale, al contrario, possiede in sé, in quanto vivente, il principio di numerosi mutamenti. La distinzione fra enti naturali e prodotti dell'arte dipende quindi dal modo in cui essi sono principi del proprio mutare. La natura non è soltanto un insieme di corpi; è una struttura causale che rende intelligibili processi regolari.

(1) Aristotele, *Fisica* II, 1, 192b13-15.