

GALILEO E LE *QUESTIONI MECCANICHE* ATTRIBUITE AD ARISTOTELE ALCUNE INDICAZIONI

Mario Otto Helbing

1 Introduzione

Il 23 gennaio 1638, mentre erano in corso i lavori di stampa dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Galileo, già settuagenario, manifestava in questi termini a Elia Diodati,¹ un suo nuovo progetto (“concetto assai capriccioso”) di mettere in forma dialogica una moltitudine di annotazioni critiche che aveva fatto nel corso della sua vita sia sulle opere dei suoi avversari, sia su due trattati aristotelici: le *Questioni meccaniche* e il *De incessu animalium*.

Quanto al promettere altre mie fatiche, sappia V. S. che io ho buon numero di problemi e questioni spezzate, tutte, al mio consueto, nuove e con nuove dimostrazioni confermate. Sono ancora sul tirare avanti un mio concetto assai capriccioso, e questo è di portar, pur sempre in dialogo, una moltitudine di postille fatte intorno a' luoghi più importanti di tutti i libri di coloro che mi ànno scritto contro et anco di qualch'altro autore et in particolare di Aristotele, il quale nelle sue *Questioni Meccaniche* mi dà occasione di dichiarare diverse proposizioni belle, ma molto più anchora me ne

¹ Su Elia Diodati (Ginevra 1576- Parigi 1661) vedi oltre alle informazioni del Favaro nel XX vol. dell'Edizione Nazionale, S. Garcia, “Elie Diodati, agent de la République de Genève à Paris”, in *Revue du vieux Genève*, 1998, pp.7-15 e J. M. Gardair, “Diodati e la diffusione europea del *Dialogo*”, in *Novità celesti e crisi del sapere*, a. c. di P. Galluzzi, Firenze 1984, 391-398.

dà nel trattato *De incessu animalium*, materia piena di cose ammirabili, come quelle che son fatte meccanicamente dalla natura; e qui mostro esser assai manchevole et in gran parte falsa la cognizione che dall'autore ci vien data.²

Questo passo, risalente appunto agli ultimi anni di vita del grande scienziato, benché segnalato dal Favaro,³ finora non è stato preso in considerazione dagli studiosi, ed è, a mia conoscenza, l'unica esplicita testimonianza di osservazioni critiche in forma di "postille" apportate da Galileo al trattato peripatetico di meccanica.

Vincenzo Viviani nel *Racconto storico della vita di Galileo* conferma l'intenzione espressa da Galileo al Diodati e aggiunge l'interessante seguente informazione:

Aveva già concetto (già che i Dialogi delle due nuove scienze erano fatti pubblici) di formare due Giornate da aggiungersi all'altre quattro; e nella prima intendeva inserire oltre alle suddette due dimostrazioni,⁴ molte nuove considerazioni e pensieri sopra i varii luoghi delle due Giornate già impresse, portando insieme la soluzione di gran numero di problemi naturali di Aristotele e di altri suoi detti et opinioni, con scoprirvi manifeste fallacie in specie nel trattato *De incessu animalium*; ...⁵

È dunque certo che Galileo intendesse scrivere un dialogo (con interlocutori Salviati, Sagredo e Simplicio) sul *De incessu animalium* e sulle *Questioni meccaniche*, riservando a questi due trattati aristotelici parte della mai realizzata Giornata Quinta dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*.

Questa è, a mia conoscenza, la sola testimonianza di un lavoro specifico di Galileo avente come tema le Q. M. Non mi è invece stato dato di trovare altri ragguagli dell'informazione data da Stillman Drake, con riferimento ad una lettera del Carcavy de 15 aprile del 1636, dell'esistenza di un vero e proprio commento galileiano alle Q. M.,⁶ andato perso; ed è per me dif-

² *Le opere* di Galileo Galilei, I-XX. Edizione Nazionale a c. di Antonio Favaro, Firenze 1890-1909; ristampe 1929-1939; 1964-1966 (d'ora in poi Galileo, *Opere*) XVII 262.

³ Non solo nell'Indice delle *Opere*, ma anche nell'importante avvertimento alle *Scritture e frammenti di data incerta* restituiti dal Favaro nell'VIII volume delle opere di Galileo (vedi Galileo, *Opere* VIII 568).

⁴ Trattasi delle considerazioni di Galileo "sopra la quinta e la settima definizione del quinto libro di Euclide" che furono dettate in forma dialogica al Viviani, e che costituiscono l'unica parte rimastaci della Giornata Quinta progettata da Galileo (Cfr. Galileo, *Opere* XIX 622-623, cfr. anche l'avvertimento di Favaro al vol. VIII in Galileo *Opere* VIII 26-28).

⁵ Galileo, *Opere* XIX 623.

⁶ Drake, *Galileo. Una biografia scientifica*, (trad. it.) Bologna, 1988, pp. 487-488: "Il 15 aprile richiese la nuova opera sul moto e il commento di Galileo alle *Questioni Meccaniche* ora perduto". L'informazione data da Drake è ripresa dalla Bottecchia p.23, nota 25 (Aristotele,

ficile dire se lo si possa identificare con uno di quei “problemi meccanici” che Galileo annunciò di voler aggiungere alla fine delle sue *Mecaniche*.⁷

Di fatto, comunque, neppure la porzione di dialogo progettato dall'anziano scienziato nel 1638 fu compiuta.⁸ Quanto alle “postille”, è possibile che si riducano a quei pochi frammenti, attinenti appunto al *De incessu animalium* e alle Q. M. edite dal Favaro nell'ottavo volume dell'Edizione Nazionale come *Frammenti di data incerta*.⁹

Indipendentemente da questa scarna diretta attestazione di una disamina di Galileo specificamente indirizzata al trattato aristotelico di meccanica, appare fuori dubbio che le Q. M., attribuite allora quasi unanimemente ad Aristotele, e riconosciute da Galileo come autentica opera dello Stagirita, ebbero un ruolo di primaria importanza nella produzione scientifica del grande pisano. Ciò è, d'altronde, provato anche dal fatto che Galileo, notoriamente restio a menzionare apertamente le sue fonti, nomi esplicitamente più volte il trattato aristotelico.

Citate per la prima volta nei *De motu antiquiora* (1590),¹⁰ le Q. M. sono componente determinante nelle diverse redazioni delle *Mecaniche* (1593, 1594, 1597-98? o 1600 o posteriori),¹¹ fanno la loro comparsa in un breve, ma rilevantissimo luogo del *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua*¹²

Problemi meccanici, a cura di M. E. Bottecchia Dehò, Soveria Mannelli, 2000). In realtà nella lettera il Carcavy scrive a Galileo di “...mandarmi nuove di sui altri trattati, cioè è *de motu*, le *questioni mechaniche* et gli altri trattati restanti” (in Galileo, *Opere* XVI 416). E da questa semplice indicazione non è certo possibile concludere che le *questioni mechaniche* nominate dal Carcavy siano un commento alle Q. M. Sembra, anzi molto più verosimile, come annota il Favaro, trattarsi delle *Mecaniche* dello stesso Galileo.

⁷ “So che qui nasceranno ad alcuni difficoltà ed istanze, le quali però con poca fatica si torranno di mezzo; e noi le rimetteremo tra i problemi meccanici, che in fine di questo discorso aggiungeremo”. Galileo, *Opere* II 190.

⁸ Secondo Viviani il decesso di Galileo sopravvenne impedendogli di realizzare “così vasti disegni” (Galileo, *Opere* XIX 623).

⁹ Galileo, *Opere* VIII 609-615; Galileo diede, a un gruppo di frammenti, il titolo *Dell'arte navigatoria* e, nei due seguenti fa riferimento alla sesta e alla quarta delle Q. M. “Se sia vero quello che dice Aristotele, cioè che più gagliardamente spinga la vela quanto è più alta; e se ciò avviene per la ragione addotta da esso, e presa dalla leva. E se sia vero che quelli che vogano a mezza galera, voghino più che gli altri a poppa e a prua, parimente per la ragione della leva” (609); “Quanto puerilmente erri Aristotele nell'assegnar la cagione, perchè la vela posta più alta spinga maggiormente il vascello” (611).

¹⁰ Galileo, *Opere* I 265; è citato in una nota marginale il problema 24 (Arist., *Mech.* 855a 28- 856a 40).

¹¹ Su questa e su altre questioni attinenti alle *Mecaniche* sono in corso indagini a cura di Egidio Festa e Romano Gatto.

¹² Galileo, *Opere* IV 69. F. P. de Ceglia nel suo *De natantibus. Una disputa ai confini tra filosofia e matematica nella Toscana medicea (1611-1615)*, Bari 1999, p. 36 nota 61, ha creduto di individuare due altri luoghi –uno di Ludovico delle Colombe, l'altro di Galileo– in cui, durante la disputa sulle galleggianti, si farebbe riferimento alle Q. M. (Galileo, *Opere* IV 364 e, rispettivamente p. 674). Il de Ceglia incorre tuttavia in errore, confondendo le Q. M. con un'altra opera del *Corpus Aristotelicum* di allora, i *Problemata* (Aristotelis *Problematum Sectiones*

(1612), sono citate apertamente nella Seconda¹³ e nella Quarta Giornata¹⁴ del *Dialogo sopra i due massimi Sistemi* (1632), dove peraltro sono chiaramente utilizzate in diversi altri luoghi, e sono infine, e soprattutto, poste dallo stesso Galileo all'origine di celebri passi dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* (1638): nella *Giornata prima*, dove il problema 24 delle Q. M., il cosiddetto problema dell'*rota Aristotelis* offre a Galileo lo spunto per illustrare alcuni suoi geniali concetti sull'infinito e sulla costituzione della materia;¹⁵ nella *Giornata Seconda*, dove i problemi 14¹⁶ e 16¹⁷ delle Q. M. sono tra le occasioni per elaborare una teoria della resistenza dei materiali e, alla fine della *Giornata Quarta* dove, ribadendo quanto detto nel 1612, ricorda il principio, da lui pure condiviso, che sta alla base della spiegazione data nelle Q. M. del funzionamento delle macchine semplici.¹⁸

2 Le Q. M. nel Cinquecento

Esaminerò più in là nei dettagli alcuni di questi luoghi, ma prima di addentrarmi nel tema vero e proprio del mio intervento, mi pare opportuno fare qualche accenno al curioso destino storico delle Q. M., certo anomalo se confrontato con le altre opere del *Corpus Aristotelicum*, rinviando tuttavia per ulteriori chiarimenti al sempre attuale articolo di Rose e Drake¹⁹, ai più

duae de quadraginta, Theodoro Gaza interprete..., in *Aristotelis opera omnia cum Averrois commentariis*, Venezia 1562, VII ff 1-98). Galileo (*Opere* IV 78 e 674) e il delle Colombe (Galileo, *Opere* IV 364) fanno riferimento alla seguente questione di quest'opera: "Cur navigia onustiora in portu quam in alto esse videntur?..." (ivi f. 66 r) e non alle Q. M.

¹³ Galileo, *Opere* VII 184; *Dialogo* II 252 (nella nostra edizione *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, ed. critica e commento a cura di O. Besomi e M. Helbing, Padova, 1998; vol. I testo, vol. II commento, abbreviato in seguito *Commento al Dialogo*). In questo passo Galileo fa riferimento al problema VIII: Arist., *Mech.* 851b 15 - 852a 13.

¹⁴ Galileo, *Opere* VII 447 (*Dialogo* IV 9,1); è l'incipit di Arist., *Mechanica* 847 a 1-2.

¹⁵ Galileo, *Opere* VIII 68-71; Arist., *Mech.* 855a 28 - 856a 40. "Perché mai il cerchio maggiore rotolando sviluppa una traiettoria uguale a quella del cerchio minore, quando siano solidamente concentrici. Quando invece rotolano separatamente, il rapporto reciproco tra le traiettorie da essi sviluppate viene ad essere proporzionale al rapporto tra la grandezza di uno rispetto alla grandezza dell'altro". Questa questione era già stata oggetto di uno scambio epistolare tra Galileo e Giovanni di Guevara, autore di un commento alle Q. M. (cfr. Galileo, *Opere* XIII 378, 390, XIV 23, 34,44).

¹⁶ Galileo, *Opere* VIII 173, Arist., *Mech.* 852b 22-28: "Perché a parità di lunghezza un pezzo di legno si spezza sul ginocchio più agevolmente se lo si rompa tenendolo per le estremità con le mani ad eguale distanza, anziché con le mani presso il ginocchio e molto vicino ad esso?"

¹⁷ Galileo, *Opere* VIII 165-166, Arist., *Mech.* 853a 5-18: "Perché i pezzi di legno quanto più son lunghi tanto più diventano fragili? ...forse perché, quando questi pezzi di legno vengono sollevati, fungono da leva, da peso e da fulcro". (trad. Bottecchia).

¹⁸ Galileo, *Opere* VIII 310-312.

¹⁹ P. L. Rose -S. Drake, "The Pseudo- Aristotelian *Questions of Mechanics* in Renaissance Culture", *Studies in the Renaissance*, XVIII, 1971, pp. 65-104.

recenti lavori di Micheli,²⁰ della Bottecchia e al contributo di Michele Camerota e mio su Michel Varro.²¹

Mette conto notare che l'operetta, forse il primo trattato di meccanica della storia, considerata opera genuina di Aristotele nell'Antichità, fu ignorata nel Medioevo. Edita in greco a Venezia nella tipografia di Aldo Manuzio²² tra il 1495 e il 1498, conobbe una considerevole fortuna e diffusione in tutto il Cinquecento e nella prima metà del Seicento, e la sua presenza, insieme a quella della *Poetica*, nel *Corpus Aristotelicum* fu vista allora come una grande innovazione. Rappresentò, persino, inizialmente, il nucleo della scienza della meccanica che si andava allora costituendo, soprattutto grazie alla traduzione latina di Niccolò Leonico Tomeo (1525), alla parafrasi di Alessandro Piccolomini (1547), ai commentari del Maurolico,²³ di Bernardino Baldi, di Henri de Monantheuil. Su buona parte dei problemi presentati nel trattatello aristotelico si cimentarono gli studiosi di scienza della meccanica del Cinquecento e dell'inizio del Seicento: il Tartaglia nei *Questi et inventioni diverse* (1546), Cardano nel *De subtilitate* (1550) e nell'*Opus novum de proportionibus* (1570), Pierre de la Ramée negli *Scholarum mathematicarum libri unius et triginta* (1569),²⁴ Guidobaldo Del Monte nei suo *Liber mechanicorum* (1577),²⁵ Michel Varro nel suo *De motu* (1584),²⁶ Benedetti nel *De mechanicis* (1585), Moletti nel suo *Dialogo* sulla meccanica recentemente edito da Laird.²⁷

Pure i grandi innovatori del primo Seicento, così Keplero²⁸ e Francesco Bacone,²⁹ se ne occuparono senza metterne minimamente in dubbio l'autenticità. Per essi, così come anche per Galileo, Aristotele era anche l'autore del primo trattato scientifico di meccanica, che a quei tempi appare come la più nota e diffusa opera sull'argomento.

Il prevalere però, nel corso dell'Ottocento, della tesi di non genuinità delle Q. M. ebbe l'infelice conseguenza di escluderle anche nel Novecento dalle traduzioni moderne dell'opera dello Stagirita, di eclissarne la cono-

²⁰ G. Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, Firenze 1995.

²¹ M. Camerota- M.O. Helbing, *All'alba della scienza galieiana. Michel Varro e il suo 'De motu tractatus'*, Cagliari 2000.

²² Cfr. ora per la ricezione delle Q. M. l'introduzione di M. E. Bottecchia, *op. cit.* in particolare pp. 11-16.

²³ F. Maurolico, *Problemata Mechanica cum appendice et ad Magnetem et ad Pixidem Nauticam pertinentia*, Messina 1613.

²⁴ Vedi Camerota- Helbing, *op. cit.* p. 81.

²⁵ Cfr. Micheli, *op. cit.* p. 161.

²⁶ Vedi Camerota- Helbing, *op. cit.* pp. 101-102, 246-247.

²⁷ Laird, W. R., *The Unfinished Mechanics of Giuseppe Moletti*, Toronto, University of Toronto Press, 2000.

²⁸ Nell'*Astronomiae pars optica* (1604) in una digressione alla prop. XX del cap. I (J. Kepler, *Gesammelte Werke* II, München, 1939, pp. 28-29) Keplero esamina il secondo problema delle Q.M. sulla bilancia (850 a 2-29).

²⁹ Francesco Bacone, *De augmentis scientiarum*, III,V.

scenza e facendo dimenticare il ruolo che giocarono nelle opere di Galileo e dei suoi contemporanei.

A tal proposito non sarà inopportuno ricordare che si tratta tuttora di uno dei testi di Aristotele, e comunque del Peripato, meno frequentati dagli studiosi, anche per la scarsità di traduzioni reperibili fino a poco tempo fa. Solo dallo scorso anno, per prendere in considerazione unicamente la produzione editoriale italiana, abbiamo a disposizione la traduzione di Maria Elisabetta Bottecchia Dehò, a più di quattrocento anni da quella del Guarino pubblicata a Modena nel 1573.³⁰

3 La struttura delle Q. M.

Dato che le Q. M. sono certamente meno note attualmente che nel Cinquecento e nel Seicento, mi permetto di delineare brevemente alcuni punti del loro denso contenuto, a titolo meramente orientativo.

Nella traduzione del Tomeo le *Questioni meccaniche* sono divise in tre parti:

- 1) un' introduzione alla quale Leonico Tomeo dà come titolo *Quae sit artis Mechanicae facultas*;
- 2) l'esposizione dei principi che fondano la scienza meccanica. Leonico Tomeo dà il titolo *De dignitatibus et admirandis circuli proprietatibus*;
- 3) l'impostazione e la soluzione, in base appunto ai precedenti principi, di 35 quesiti, che occupano la maggior parte del trattato.

L'introduzione, in termini molto concisi, tocca tematiche di grande interesse: la questione del rapporto *tecnica-natura*; la definizione di *macchina*, come strumento con il quale una piccola forza muove un peso che le è superiore; la determinazione della *meccanica come scienza comune alle speculationi naturali e matematiche*. Di tale introduzione, ampiamente esaminata da altri,³¹ mi limito a rimarcare l'*incipit* nella traduzione di Leonico Tomeo,

Miraculo sunt ea quidem, quae natura continguunt, quorum ignorantur causas: illa vero, quae praeter naturam, quaecunque ad hominum utilitatem arte fiunt.³²

È questo *incipit* che, segnaliamo sin d'ora, Salviati ricorderà a Simplicio all'inizio della *Giornata Quarta* del *Dialogo sopra i due massimi sistemi*:

³⁰ *Le mechaniche d'Aristotele trasportate di greco in volgare idioma*. Trad. di A. Guarino, Modena 1573.

³¹ Micheli, *op. cit.* pp.138 e sgg.

³² Aristotelis *Quaestiones Mechanicae* Nicolao Tomeo interprete, in *Aristotelis opera omnia cum Averrois commentariis*, VII f. 98 v.

[...] voi discorrete molto prudentemente, e conforme alla dottrina d'Aristotele, che sapete come nel principio delle sue Quistioni Mechaniche attribuisce a miracolo le cose delle quali le cagioni ci sono occulte.³³

La sezione delle Q. M. che segue l'introduzione, è volta ad esporre i principi che dovrebbero guidare la soluzione dei successivi 35 problemi, ed è quella che ha creato più difficoltà e divergenze, non solo tra gli interpreti del Cinquecento, ma anche tra gli studiosi contemporanei del testo aristotelico. Ne segnalo alcuni elementi, anche perché malgrado l'oscurità del ragionamento complessivo, è quella che ha dato luogo nel Cinquecento, e nello stesso Galileo, a spunti e sviluppi interessanti.

Aristotele propone dapprima esplicitamente il problema centrale, ricercando il perché, grazie agli strumenti meccanici, come la leva, con una piccola forza si può sollevare un grande peso:

Hor delle cose che portano perplessità in questo genere pigliaremo quelle, che occorrono circa alla lieva: conciosiache pare strana cosa, che un gran peso sia mosso da una picciola forza e questo con l'accrescervi maggior peso, essendo che quel peso, il quale alcuno non potrà muovere senza lieva, aggiungendo al detto peso anche il peso della lieva, serà facile da muovere.³⁴

Individua tale causa prima nei principi e nelle proprietà del circolo. Infatti:

[...] le cose però che sono fatte circa la bilanza si riducono al circolo, quelle che sono circa alla lieva alla bilanza, l'altre quasi tutte che sono circa i movimenti delle machine alla lieva.³⁵

Determina le proprietà del cerchio, grazie alle quali si possono spiegare le prestazioni delle macchine.

Per ulteriormente stabilire queste proprietà, Aristotele svolge una argomentazione contorta e complessa. Introduce dapprima due importanti lemmi di grande interesse per le origini della scienza galileiana perché concernono la composizione dei moti.

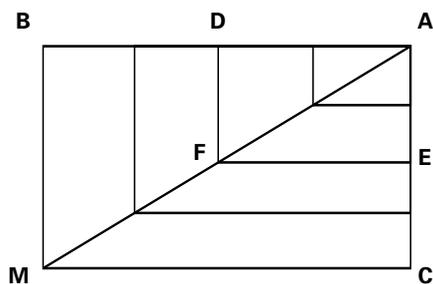
Il primo è la regola della diagonale nella composizione dei moti. Se un corpo è animato da un moto uniforme e contemporaneamente spostato con un altro pure uniforme, in direzione perpendicolare al primo, e in un dato rapporto proporzionale al primo, ne risulta un unico moto composto lungo la diagonale delle due direzioni.³⁶ Ne diamo l'illustrazione, che accompagna la traduzione latina di Leonico Tomeo, presentata nell'edizione giuntina:

³³ *Dialogo* IV 9; Galileo, *Opere* VII 407.

³⁴ Trad. A. Guarino, p. [3]. Arist., *Mech.* 847b.

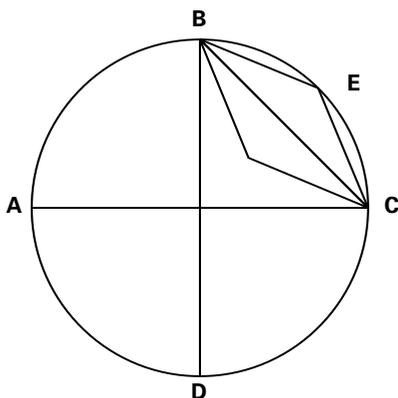
³⁵ Trad. A. Guarino, p. [3] Arist., *Mech.* 847b.

³⁶ Arist., *Mech.* 848b 11-26.



Se si immagina che un corpo si sposta con moto uniforme da A verso B lungo la linea AB, e che nello stesso tempo AB si sposta verso CM, in modo che, quando A giunge in B, AB pervenga in CM, il percorso di detto corpo risulterà essere la diagonale AM.³⁷

Il secondo lemma –ritenuto dubbio fin dal Cinquecento– afferma invece che, se il corpo è animato contemporaneamente da due moti che non sono proporzionali tra di loro, risulterà essere animato da un moto circolare. Anche di questo ridiamo l'illustrazione della giuntina:



Secondo Aristotele, se il risultato di un duplice contemporaneo spostamento di un corpo fosse la retta inclinata BC allora, per il lemma precedente, i due moti di cui tale spostamento è composto sarebbero in una data proporzione tra di loro; non essendo invece per ipotesi proporzionati, il loro moto composto risulterà circolare.

Aristotele aggiunge poi che, in tal caso, quando cioè di due moti non sono proporzionali tra di loro, l'uno è violento e l'altro è naturale; e a partire da qui stabilisce, dopo una dimostrazione che ha dato filo da torcere agli studiosi di tutti i tempi, la seguente conclusione:

³⁷ Aristotelis *Quaestiones Mechanicae* Nicolao Tomeo interprete, in *Aristotelis opera omnia cum Averrois commentariis*, VII f. 99 v.

Quam igitur ob causam ab eadem potentia celerius fertur id quod plus a centro distat punctum ex iis quae dicta sunt est manifestum [Risulta chiaro da quanto è stato detto per quale ragione la stessa forza muove tanto più velocemente quanto più è applicata ad una distanza maggiore dal centro del cerchio].³⁸

Sulla base di queste considerazioni, ripetiamo nel loro insieme assai oscure, Aristotele affronta 35 curiose domande, che chiedono di indicare le cause di note esperienze meccaniche.

Vi troviamo tra l'altro:

- l'esame del funzionamento delle seguenti macchine semplici, considerate poi, come è noto, anche da Guidobaldo e in seguito da Galileo nelle *Mechaniche*: la bilancia, la leva, il cuneo, l'argano, la puleggia fissa e mobile, e una sorta di stadera;

- l'esame di quei problemi detti, come si è visto, da Galileo, di "arte navigatoria": sul remo, sul timone, sulla posizione della vela, sull'antenna pennone;

- spiegazioni della "resistenza dei materiali", del moto dei proietti lanciati con la fionda,³⁹ questione quest'ultima, come è noto, all'origine di speculazioni del Benedetti e di Galileo, nella Giornata seconda del *Dialogo*, sul persistere del movimento rettilineo.

Importa ancora sottolineare che nel breve trattato aristotelico non compaiono due fondamentali elementi della scienza della meccanica antica e rinascimentale: dalle Q. M. è assente la trattazione del piano inclinato, e in esse viene ignorata la nozione, archimedea, di centro di gravità.

Infine, è da ricordare che, nel quadro dell'evoluzione delle scienze fisiche, è stata attribuita a questo antico trattato l'origine di un principio basilare della meccanica. Diversi storici della scienza, a partire da Vailati⁴⁰ e Duhem,⁴¹ hanno individuato, nella spiegazione data nelle Q. M. al funzionamento delle macchine semplici, un approccio dinamico e persino una primitiva formulazione del principio dei "lavori virtuali", un approccio sostanzialmente diverso da quello puramente archimedeo che fa capo appunto alla nozione di centro di gravità.

4 La conoscenza delle Q. M. nell'ambiente toscano e padovano alla fine del Cinquecento

Fatti questi accenni sulla fortuna e sul contenuto delle Q. M., passiamo ora a vederne più nei dettagli la presenza nell'opera di Galileo, cercando dap-

³⁸ Arist., *Mech.* 849a 21-22. Trad. lat. Leonico Tomeo *op. cit.* 100 v.

³⁹ E' il problema XII (Arist., *Mech.* 652a 37 - b11). "Perché un proietto viene lanciato più lontano dalla fionda che dalla mano?" Galileo *Opere* VII 217-219 (*Dialogo* II 409-434).

⁴⁰ G. Vailati, "Il principio dei lavori virtuali da Aristotele a Erone di Alessandria", in *R. Accademia delle Scienze di Torino. Atti*, 1897, pp. 940-962.

⁴¹ P. Duhem, *Les origines de la statique*, Paris 1905-1906, I pp. 5-12.

prima di indagare a quale momento della vita di Galileo ne risalga la conoscenza e lo studio.

Se ci atteniamo ai documenti che ne fanno esplicita menzione, oltre alla citazione dei *De motu antiquiora* appena ricordata, sappiamo dai rotuli dell'università, grazie a Favaro, che le Q. M. furono oggetto di lettura a Padova nell'anno accademico 1597-1598:

*Galilaeus Gallileus, Florentinus leget Euclidis Elementa et Mechanicas Aristotelis quaestiones*⁴²

Tuttavia, già altri scritti, precedenti, redatti a Padova, dove Galileo giunse nel 1592, hanno tuttavia per matrice il breve trattato aristotelico: una lettera⁴³ del 22 marzo 1593 nella quale il matematico, si occupa (senza esplicitamente citarla) della questione 4,⁴⁴ e soprattutto le due prime redazioni delle *Meccaniche* galileiane, risalenti rispettivamente al 1593 e 1594, le quali conosceranno, come è noto, una terza e ultima redazione, risalente, secondo il Favaro al 1597-98, secondo altri posteriore,⁴⁵ utilizzata poi da Mersenne per le sue *Méchaniques de Galilée* edite a Parigi nel 1634.

Mi sembra tuttavia che sarebbe errato ritenere che Galileo non avesse familiarità con le Q. M. prima del suo soggiorno nel Veneto. Mi preme infatti segnalare, anche perché non è mai stato fatto, che le Q. M. erano opera ben nota in Toscana,⁴⁶ e, in particolare utilizzata anche dagli insegnanti dello studio Pisano, prima e durante il periodo in cui Galileo fu studente e in seguito lettore di matematica. Andrea Cesalpino nelle sue *Quaestiones Peripateticae* (1571) ricorda il principio della composizione dei moti; Iacopo Mazzoni (collega di Galileo a Pisa del 1589 al 1592) nel suo *De triplici hominum vita* (1577), dà una concisa ma complessiva esposizione della scienza della meccanica; Francesco Buonamici, insegnante e poi collega di Galileo, in numerosi luoghi del suo immenso *De motu* (1591) utilizza ed espone la maggior parte delle Q. M. Troviamo tra l'altro, evidenziato e dottamente interpretato nel libro VI del *De motu* proprio l'*incipit* delle Q. M., utilizzato da Galileo, come si è detto nella Giornata Quarta del *Dialogo*:

⁴² Galileo, *Opere* XIX 120; Favaro, *Galileo e lo studio di Padova*, Padova 1966, I 130-131; Drake, *op. cit.* 67-70; Favaro, *Galileo Galilei a Padova: Delle meccaniche lette in Padova l'anno 1594 da Galileo Galilei* 185-209.

⁴³ Galileo, *Opere* X 55-57.

⁴⁴ "Perché sono i rematori di mezzo a dare il massimo contributo al movimento della nave?" Arist., *Mech.* 850b 10.

⁴⁵ Su questo problema si rinvia allo studio, di prossima pubblicazione, sulle *Mecaniche* di R. Gatto e E. Festa.

⁴⁶ Venerata persino dal Varchi "[...] pigliando meccaniche non in quella significazione che suona la parola greca tratta dalla macchina (come si vede nel divino libro delle Meccaniche di Aristotele)". B. Varchi, *Opere*, Milano 1859-59 II p.632.

... est vero miraculum, quando quippiam fit in natura, cuius sane causa ignoretur [Q. *Mech.* 47]; unde efficit in animo desiderium inquisitionis, quod initium philosophandi fuit; quocirca testatus est Plato [*Theaeteto* 48] maxime proprium esse philosophi eiusmodi affectum, et a poëtis decantatum Irin Thaumatis filiam,⁴⁹ quod ego sic interpreto, gyrum rationis quo mens ipsa modo ab effectis procedit ad causas, mox a causis regreditur ad effectus...⁵⁰ [invero è meraviglia (come dice Aristotele all'inizio delle Questioni meccaniche) quando nella natura appare qualcosa di cui si ignora la causa, onde si produce nell'animo il desiderio di indagine, che fu la scaturigine del filosofare; perciò Platone (nel Teeteto) asserì che tale affezione fosse sommamente peculiare del filosofo e i poeti la decantarono nella figlia di Taumante, Irade, che interpreto così: (Irade, la meraviglia, è) la conversione della ragione per cui la mente stessa procede dagli effetti alle cause e ritorna dalle cause agli effetti...]⁵¹

Di notevole interesse è pure il passo del Cesalpino, che fa riferimento alla nozione di composizione dei moti esposta nelle Q. M.⁵² Vale la pena di ricordare anche questo brano dimenticato dagli storici della scienza:

...omnis motus mixtus secundum diametrum fit componentium, ut in Mechanicis ostenditur. Diameter autem inter duas lineas secantes se invicem cadit ut dum quippiam feratur deorsum, simul moveatur ad latus, motus enim resultat ab utraque linea descendens adeo ut diametrum constituat, quemadmodum videre licet in pluviae descensu interim vento ad latera, et in lapidis projectione, simul enim gravitas lapidem inclinat a linea recta secundum quam proiectus est.” [Infatti ogni moto misto si svolge secondo la diagonale dei moti componenti, come si prova nelle *Meccaniche* di Aristotele. La diagonale si colloca infatti tra due linee intersecantesi, cosicché quando un oggetto cade e nello stesso tempo è spostato lateralmente, ne risulta un moto proveniente da entrambe le linee, in modo da essere diametrale, come si può vedere nella pioggia cadente sospinta contemporaneamente da vento laterale, e nella proiezione di una pietra: la gra-

⁴⁷ Marginale nel testo del Buonamici; è appunto Arist., *Mech.* 847 a 1-2.

⁴⁸ Platone, *Teaet.* 155d: “Ed è proprio del filosofo questo che tu provi, di esser pieno di meraviglia; né altro cominciamento ha il filosofare che questo; e chi disse che Irade fu generata da Taumante, non sbagliò, mi sembra nella genealogia”.

⁴⁹ Hes., *Thegon.* 780.

⁵⁰ Irade, figlia di Taumante, è nella narrazione poetica mitologica di Esiodo, la messaggera degli dei. Buonamici ravvisa nell'ininterrotto andare e nel venire di Irade dagli uomini agli dei e dagli dei agli uomini, la raffigurazione allegorica della conoscenza filosofica e scientifica, che risale dagli effetti alle cause e, una volta scoperte queste, ridiscende dalle cause agli effetti; Irade, conformemente al Teeteto, è la meraviglia stessa, quell'atto di conversione della ragione, che sta all'origine del processo di scoperta delle cause a partire dagli effetti e di comprensione degli effetti tramite le cause.

⁵¹ F. Buonamici, *De motu*, Firenze 1591, 626.

⁵² Arist., *Mech.* 848b 11-26.

vità devia infatti contemporaneamente verso il basso la pietra dalla traiettoria retta lungo la quale fu lanciata].⁵³

Non si possono nutrire dubbi che Galileo avesse, già nel suo periodo giovanile di soggiorno in Toscana, una conoscenza più che approfondita delle Q. M. che mise a profitto per l'insegnamento una volta trasferitosi nel Veneto. E non solo del testo attribuito ad Aristotele certamente nella diffusa traduzione del Tomeo, ma sicuramente anche della *Parafrasi* del Piccolomini e forse pure del commento, allora manoscritto di Bernardino Baldi.

5 Le Q. M. e le *Mecaniche* di Galileo

Sono comunque le *Mecaniche* nella loro redazione finale (secondo Antonio Favaro dettate, probabilmente per l'insegnamento privato, a Padova durante l'anno scolastico 1597-98, secondo altri posteriori) a manifestare, come abbiamo inizialmente accennato, la maggiore impronta del trattato aristotelico sulla produzione di Galileo.

Numerosi studiosi, da Duhem⁵⁴ a Clagett,⁵⁵ a Clavelin,⁵⁶ a Gianni Micheli, a Romano Gatto⁵⁷ hanno già esaminato acutamente l'ascendenza aristotelica, che caratterizza l'approccio dinamico, presente, accanto a quello archimedeo, nelle *Mecaniche* con l'uso della nozione di "spostamento virtuale". Senza ritornare su queste ottime indagini, credo necessario fornire qualche ulteriore complemento e approfondimento.

Importa dapprima ricordare come le *Mecaniche* galileiane presentino punti di grande divergenza con il trattato aristotelico. Nella sua raffinata trattazione, Galileo nomina solo due volte Aristotele in termini non certo elogiativi. Una prima volta nella sezione *Delle tagli*:

Dal che -dice Galileo- possiamo comprendere quanto puerilmente s'ingannasse Aristotele, il quale stimò che, col far maggiore la girella ABC, si potesse con manco fatica levare il peso.⁵⁸

La "puerile" affermazione alla quale fa riferimento Galileo è quella della nona questione:

⁵³ Cesalpino, *Quaestiones Peripateticae* IV, 5 Venezia 1571.

⁵⁴ P. Duhem, *op. cit.*, pp.49 e sgg.

⁵⁵ M. Clagett, *La scienza della meccanica nel Medioevo* (trad. it.), Milano 1972, p. 178.

⁵⁶ M. Clavelin, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris 1968, pp. 148-149, passim.

⁵⁷ R. Gatto, "Consideraciones sobre las *Mechanicas* de Galileo" (trad. spagnola), in *Galileo y la gestación de la ciencia moderna*, Acta IX, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, Canarias, 2001, 187-203.

⁵⁸ *Opere* II 173.

Perché muoviamo più agevolmente e velocemente ciò che è sollevato e tirato per mezzo di cerchi maggiori? Come ad esempio avviene con le carrucole maggiori rispetto alle minori, ed egualmente per i rulli.⁵⁹

Il secondo appunto esplicitamente critico nei confronti Aristotele si legge nell'ultimo, importante, capitoletto *Della forza della percossa*, con riferimento all'azione del martello.⁶⁰

Perché ad Aristotele o ad altri che volessero la cagione di questo mirabile effetto ridurre alla lunghezza del manubrio o manico del martello, parmi che, senza altro lungo discorso, si possa scoprire dall'effetto di quei stromenti, che, non avendo manico, percotono o col cadere da alto a basso...

Pertanto, non solo infatti la disamina teorica delle taglie, e della percossa, ma anche quella del cuneo,⁶¹ si distanzia nettamente dalle spiegazioni affacciate nell'antico opuscolo greco. Inoltre, come è noto, le *Mecaniche* presentano sviluppi estranei alle questioni aristoteliche: la trattazione del piano inclinato, della vite, della coclea, che risalgono alla tradizione archimedeica, e a quella medioevale del Nemorario, mediate certamente da Guidobaldo del Monte.

Tuttavia, malgrado la "puerilità" attributagli, Galileo individua, nel trattato aristotelico, proprio il principio che sta alla base del funzionamento di tutte le macchine semplici, che compendia nella formula, secondo la quale negli strumenti meccanici:

*quanto si guadagna in forza, tanto perdersi in velocità.*⁶²

Nelle *Mecaniche* l'ascrizione di questo principio, che chiameremo "principio compensativo",⁶³ all'opera di Aristotele non è esplicita, ma come già a suo tempo segnalò Pierre Duhem, tale riconoscimento venne chiaramente fatto dallo scienziato toscano in un passo del *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua* (1612), dove si sofferma a spiegare la ragione dell'equilibrio della stadera:

Tal ragguagliamento tra la gravità e la velocità si ritrova in tutti gli strumenti meccanici, e fu considerato da Aristotele come principio nelle sue Questio-

⁵⁹ Arist., *Mech.* 852a 14-23.

⁶⁰ Galileo, *Opere* II 188; si noti che Aristotele non parla però del martello nelle Q. M.; indirettamente Galileo si riferisce probabilmente alla scure che costituisce il problema 19 delle Q. M.

⁶¹ Cfr. Camerota-Helbing, *op. cit.* 165-168.

⁶² Galileo, *Opere* II 172.

⁶³ Tale principio è infatti diverso dal principio di conservazione del lavoro formulato da Descartes in polemica proprio con Galileo; cfr. Duhem, *op. cit.* I 339-36 e Camerota-Helbing, 193-196.

ni meccaniche: onde noi ancora possiamo prender per verissimo assunto che pesi assolutamente diseguali, alternatamente si contrappesano e si rendono di momenti eguali, ogni volta che le loro gravità con proporzione contraria rispondono alle velocità de' lor moti, cioè che quanto l'uno è men grave dell'altro tanto sia in costituzione di muoversi più velocemente di quello.⁶⁴

A ulteriore conferma che l' ascrizione fatta nel 1612 da Galileo non sia stata dettata, essendo allora in corso dibattito sui galleggianti, da un calcolo di opportunità, vi è un passo altrettanto esplicito della Giornata quarta dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* (1638), dove è lo stesso Simplicio a ricordare a Salviati la paternità aristotelica del principio compensativo:

SAGR. Vedrò se mi sovviene della dimostrazione; per intelligenza della quale bisogna, Sig. Simplicio, che voi supponghiate per vero quello che in tutti gli strumenti meccanici, non solo con l'esperienza, ma con la dimostrazione ancora, si verifica: e questo è, che la velocità del movente, ben che di forza debole, può superare la resistenza, ben che grandissima, di un resistente che lentamente debba esser mosso, tutta volta che maggior proporzione abbia la velocità del movente alla tardità del resistente, che non ha la resistenza di quel che deve esser mosso alla forza del movente.

SIMP. Questo mi è notissimo, e dimostrato da Aristotele nelle sue *Quistioni Meccaniche*; e manifestamente si vede nella leva e nella stadera, dove il romano, che non pesi più di 4 libbre, leverà un peso di 400, mentre che la lontananza di esso romano dal centro, sopra 'l quale si volge la stadera, sia più di cento volte maggiore della distanza dal medesimo centro di quel punto dal quale pende il gran peso: e questo avviene, perchè, nel calar che fa il romano, passa spazio più di cento volte maggiore dello spazio per il quale nel medesimo tempo monta il gran peso; che è l'istesso che dire, che il piccolo romano si muove con velocità più che cento volte maggiore della velocità del gran peso.

SAGR. Voi ottimamente discorrete, e non mettete dubbio alcuno nel concedere, che per piccola che sia la forza del movente, supererà qualsivoglia gran resistenza, tutta volta che quello più avanzi di velocità, ch'ei non cede di vigore e gravità.⁶⁵

Appare dunque fuori di dubbio che, secondo Galileo, il principio generale di funzionamento nelle macchine semplici sia da attribuire alle *Questioni meccaniche*. E, in tal senso, sembra dunque che debba essere interpretata anche l'introduzione delle stesse *Mecaniche*, che propongono in sostanza, e in modo discorsivo, tale principio compensativo.⁶⁶

⁶⁴ Galileo, *Opere* IV 69.

⁶⁵ Galileo, *Opere* VIII 310-312.

⁶⁶ Galileo, *Opere* II 156-157. Un altro importante luogo da accostare all'*incipit* delle *Mecaniche* si trova nelle *Scritture e frammenti di data incerta* (Galileo, *Opere* VIII 572-574).

Queste affermazioni di Galileo fanno nascere però un serio interrogativo. In quale luogo, o quali luoghi delle Q. M. è enunciato questo principio e anche “dimostrato”, come dice Simplicio nel 1638? Il luogo al quale sembra alludere Galileo sembra essere quella contorta seconda sezione alla quale, come abbiamo detto, Niccolò Leonico Tomeo aveva dato per titolo *De dignitatibus admirandisque circuli proprietatibus*. Tuttavia l’involuta argomentazione, incentrata appunto sulle meravigliose proprietà del cerchio, è ben lungi dal formulare con chiarezza il principio compensativo.⁶⁷ Forse, a posteriori lo si può intravedere adombrato nella già ricordata frase con la quale Aristotele conclude tutta la sua ingarbugliata discussione:

Per quale ragione, dunque, per effetto della medesima forza si muova più in fretta il punto che più dista dal centro, e il raggio maggiore descriva un cerchio maggiore, risulta chiaro da quanto è stato detto.⁶⁸

Mi sembra tuttavia certamente esagerato leggere in questa frase conclusiva la limpida formulazione del principio che negli strumenti meccanici “quanto si guadagna in forza, tanto perdersi in velocità”. Si tratta forse dunque di una interpretazione notevolmente elaborata e sviluppata dallo stesso Galileo a partire da questa breve conclusione? Oppure bisogna supporre la presenza di qualche mediazione? Le due eventualità sembrano plausibili.

Nello studio, recentemente pubblicato da Michele Camerota e dal sottoscritto, sul ginevrino Michel Varro, è affacciata l’ipotesi che il *De motu tractatus* dello scienziato riformato possa essere implicato nella formulazione galileiana del principio compensativo. Nell’insieme delle opere di meccanica del Cinquecento, il *De motu tractatus* è, infatti, senz’altro, l’unica che abbracci e sviluppi ampiamente, con rigore matematico, l’approccio dinamico per la spiegazione del funzionamento delle macchine semplici. Varro, inoltre, riconosce la matrice di tale approccio nelle Q. M., delle quali critica la mancanza di rigore dimostrativo, rimproverando mosso pure da Galileo al trattato aristotelico.

Altre ipotesi non sono da escludere. Ma sembra comunque molto probabile che Galileo non abbia esclusivamente preso avvio dall’oscuro testo delle Q. M., e abbia fatto capo ad altri autori.

Che si tratti di un’elaborazione dello stesso Galileo, o del Varro o di altri, appare comunque fuori di dubbio che lo scienziato toscano abbia svolto un’ampia riflessione sulla seconda sezione delle Q. M., e che il prin-

⁶⁷ Anzi, alcuni studiosi, come Rose e Drake, hanno ritenuto proprio che il principio “compensativo”, esposto all’inizio dell’ultima versione delle *Meccaniche* di Galileo contrasti il presunto aspetto miracoloso presente nel trattato aristotelico: “In contradiction of the *Mechanica* it opened with a denial that anything exists in mechanical effects, setting forth the rule that whatever is gained in power is lost in time required or space traversed”. P. L. Rose and S. Drake p.95.

⁶⁸ Arist., *Mech.* 849 b 19-22.

cipio di funzionamento delle macchine semplici, esposto nelle *Mecaniche* di Galileo, e ribadito nelle sue opere posteriori, si collochi in una linea di continuità con quanto, in modo certo ancora poco rigoroso, ma non insignificante, veniva suggerito dal trattato aristotelico e dalla tradizione ad esso legata.

6 Osservazioni conclusive

Non è purtroppo possibile, nei limiti di questo intervento, affrontare, in modo adeguato la questione della presenza di elementi, risalenti alle Q. M., nel *Dialogo* (1632) e nei *Discorsi* (1638). Un esauriente studio in tal senso dovrebbe tener inoltre conto, tra l'altro, degli *In Aristotelis mechanicas commentarii*. (Roma, 1627), del Teatino Giovanni de Guevara,⁶⁹ opera ricordata dallo stesso Galileo nei *Discorsi*, ma che finora non ho potuto esaminare.

Mi limito perciò a fare qualche accenno in proposito per quanto attiene al *Dialogo*, nel quale mi sembra che alcuni concetti, e non di poco conto, siano da collegare alla tradizione delle Q. M.

Vi è, innanzitutto, esposto anche lì, nel corso della Seconda Giornata il principio compensativo, compendiato da Galileo nella didascalia marginale “La maggior velocità compensa precisamente la maggior gravità”. Tale didascalia riassume il contenuto del seguente scambio di battute tra Salvati e Sagredo sul funzionamento della stadera:

SAGR. [...] nella stadera il peso minore non moverà il maggiore se non quando questo si muova poco, essendo appeso nella minor distanza, e quello si muova molto, pendendo da distanza maggiore: bisogna dunque dire che ‘l minor peso superi la resistenza del maggiore co ‘l muoversi molto, mentre l'altro si muova poco.

SALV. Che tanto è quanto a dire che la velocità del mobile meno grave compensa la gravità del mobile più grave e meno veloce.

SAGR. Ma credete voi che la velocità ristori per l'appunto la gravità? cioè che tanto sia il momento e la forza di un mobile, v. g., di quattro libbre di peso, quanto quella di un di cento, qualunque volta quello avesse cento gradi di velocità e questo quattro gradi solamente?

SALV. Certo sì, come io vi potrei con molte esperienze mostrare: ma per ora bastivi la conferma di questa sola della stadera, nella quale voi vedrete il poco pesante romano allora poter sostenere ed equilibrare la gravissima balla, quando la sua lontananza dal centro, sopra il quale si sostiene e volgesi la stadera, sarà tanto maggiore dell'altra minor distanza dalla quale pende la balla, quanto il peso assoluto della balla è maggior di quel del romano. E di

⁶⁹ Vedi al proposito W. A. Wallace, *Galileo and his Sources. The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science*, Princeton, New Jersey, 209-216.

questo non poter la gran balla co 'l suo peso sollevare il romano, tanto men grave, altro non si vede poterne esser cagione che la disparità de i movimenti che e quella e questo far dovrebbero, mentre che la balla con l'abbassarsi un sol dito facesse alzare il romano cento dita (posto che la balla pesasse per cento romani, e la distanza del romano dal centro della stadera fusse cento volte più della distanza tra 'l medesimo centro e 'l punto della suspension della balla): il muoversi poi lo spazio di cento dita il romano, nel tempo che la balla si muove per un sol dito, è l'istesso che 'l dire, esser la velocità del moto del romano cento volte maggior della velocità del moto della balla. Ora fermatevi bene nella fantasia, come principio vero e notorio che la resistenza che viene dalla velocità del moto compensa quello che dipende dalla gravità d'un altro mobile: sì che, in conseguenza, tanto resiste all'esser frenato un mobile d'una libbra, che si muova con cento gradi di velocità, quanto un altro mobile di cento libbre, la cui velocità sia d'un grado solo; ed all'esser mossi due mobili eguali resisteranno egualmente, se si avranno a far muovere con egual velocità; ma se uno doverà esser mosso più velocemente dell'altro, farà maggior resistenza, secondo la maggior velocità che se gli vorrà conferire.⁷⁰

Oltre a questo elemento, mi pare pure che due altri importanti concetti sviluppati da Galileo nel *Dialogo* si richiamino a considerazioni esposte nel trattatello aristotelico e poi ampliate nella tradizione cinquecentesca.

Il primo è il principio di composizione dei moti, sviluppato da Galileo nella Giornata Seconda.⁷¹ Questo importantissimo principio si trova *in nuce*, come appena ricordato, nella seconda sezione dell' *Q. M.*, e, come abbiamo rilevato, era noto, tra gli altri, al Cesalpino.

L'altro è l'esemplificazione del moto di "una palla perfettissimamente rotonda" messa in moto su un piano "esquisitamente pulito", esempio introdotto da Galileo per mostrare il persistere del moto.⁷² Tale esemplificazione è presente, come già rilevato, sin dalle *Mecaniche* e dai *De motu antiquiora*.⁷³ In quest'opera giovanile Galileo considera pure un piano "exactissime expolitum et durum" e un mobile "expolitissimum, et figura quae motui non resistat, qualis esset perfecta sphaerica",⁷⁴ giungendo alla conclusione che:

[...] quodcunque mobile, nullam extrinsecam resistantiam patiens, a vi quae minor sit quacunque vi proposita, in plano quod nec sursum nec deorsum

⁷⁰ *Dialogo* II 536,3-544,3 (Galileo, *Opere* VII 240-241).

⁷¹ *Dialogo* II 130; II 240 (Galileo, *Opere* VII 165; 180-181). Si vedano in proposito le note nel *Commento al Dialogo* ai luoghi indicati. Va sottolineato che, nel *Dialogo*, tale principio, inserito nel quadro del sistema copernicano, ha come altra, e più importante fonte, certamente lo stesso Copernico, che nel *De revolutionibus* (I,8) asserisce: "Cadentium vero et ascendentium duplicem esse motum fateamur oportet mundi comparatione, et omnino compositum ex recto et circulari".

⁷² *Dialogo* II 169,1-206 (Galileo, *Opere* VII 172-175).

⁷³ Cfr. *Commento al Dialogo* II 185-199.

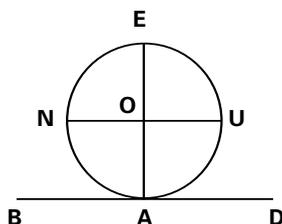
⁷⁴ Galileo, *Opere* I 298-299.

tendat, moveri posse [qualsiasi mobile, che non incontri nessuna resistenza esterna, può essere mosso da una forza minore di qualsiasi forza data su un piano che non sia né acclive, né declive].⁷⁵

È interessante notare che il problema del moto di una sfera su un piano non è nuovo. Lo troviamo in diversi autori del Cinquecento: Alessandro Piccolomini,⁷⁶ Girolamo Cardano, Bernardino Baldi, Giovan Battista Benedetti, e appare come uno sviluppo delle numerose considerazioni, anche critiche, che erano state mosse già nel Cinquecento al problema 8 delle Q. M.:

Perché gli oggetti più facili a muoversi sono quelli di forma rotondeggiante e sferica.⁷⁷

Così Benedetti, nel corso della sua disamina critica del problema 8 delle Q. M., riconduce il movimento di una ruota sul piano a quello di una bilancia avente per centro il centro della ruota, e sostiene, come Galileo nel *De motu antiquiora*, che una sfera su un piano orizzontale perfettamente liscio potrebbe esser mossa da una forza qualsiasi per quanto piccola sia. Nel capitolo XIV del suo *De mechanicis (Quod rationes ab Aristotele de octava quaestione confictae sufficientes non sint)*, Benedetti conclude, servendosi della seguente figura:



[...] ut redeamus ad sermonem de revolutione figurae rotundae susceptum, clarum igitur erit quamlibet minimam vim (ut ita dicam) quae trahat, aut impellat centrum O versus U huiusmodi figuram revolturam [tornando all'e-

⁷⁵ Galileo, *Opere* I 299.

⁷⁶ *Parafrasi* di Monsignor Alessandro Piccolomini arcivescovo di Patras *sopra le Meccaniche di Aristotele*, tradotta da Oreste Vannucci Biringucci, gentiluomo senese, Roma 1582, 54-59.

⁷⁷ Arist., *Mech.* 851b 15- 852a 13. Alessandro Piccolomini, nella sua parafrasi alle Q.M. spiegava che la facilità con la quale una ruota viene mossa su un piano orizzontale è ricondotta all'angolo di contingenza tra la ruota e detto piano e al fatto che il moto della ruota sia composto di naturale e violento. Il Baldi sviluppava la sua trattazione del problema 8 delle Q. M. inserendovi, come farà Galileo, uno studio del piano inclinato.

same della rotazione di una figura rotonda, risulterà dunque chiaro che una forza minima qualsiasi (per così dire), che tirerà o spingerà il centro O verso U, farà ruotare una figura circolare].⁷⁸

In tal senso, era stato anticipato quindici anni prima dal Cardano nella quarantesima proposizione dell'*Opus novum*:

Omne corpus sphaericum tangens planum in punctum movetur ad latus per quamcumque vim quae medium dividere potest [qualsiasi corpo sferico tangente un piano in un punto sarà mosso da qualsiasi forza capace di scindere il mezzo (in cui il corpo sferico è posto)].⁷⁹

Alla radice dell'esemplificazione della sfera sul piano, attenente alla conservazione del moto, data da Galileo nel *Dialogo* vi è dunque sicuramente questa tradizione cinquecentesca sviluppatasi attorno all'ottavo problema del trattato aristotelico.

Per concludere, ricapitolando brevemente. Le Q. M., considerate sempre da Galileo come opera dello stesso Aristotele, entrano, in modo importante, nella produzione dello scienziato, filtrate dall'assai ricca precedente letteratura cinquecentesca che attorno ad esse si era sviluppata. È interessante e persino curioso notare che Galileo, le cui bordate anti-aristoteliche sono note, dichiara esplicitamente di rinvenire nelle Q. M. il principio generale, da lui condiviso, di funzionamento delle macchine semplici. Altri concetti e temi delle Q. M. permettono probabilmente di chiarire l'origine di elementi non meno rilevanti per il pensiero dello scienziato, quali la nozione di composizione dei moti e l'esemplificazione, attinente al persistere del moto, di una sfera su un piano perfettamente liscio. Purtroppo, la mancata realizzazione del dialogo, annunciato nel 1638, nel quale Galileo avrebbe esposto le sue "postille" alle Q. M., non ci permette di determinare quale fosse l'attitudine complessiva di Galileo nei confronti del problematico trattato di meccanica aristotelico. In tal senso, ci può però forse aiutare il seguente passo dell'inizio della Giornata Seconda dei *Discorsi e dimostrazioni*:⁸⁰

SALV. [...] io piglio come principio noto quello che nelle mecaniche si dimostra tra le passioni del vette, che noi chiamiamo leva, cioè che nell'uso della leva la forza alla resistenza ha la proporzion contraria di quella che hanno le distanze tra 'l sostegno e le medesime forza e resistenza.

SIMP. Questo fu da Aristotele mostrato, nelle sue Mecaniche,⁸¹ prima che da ogni altro.

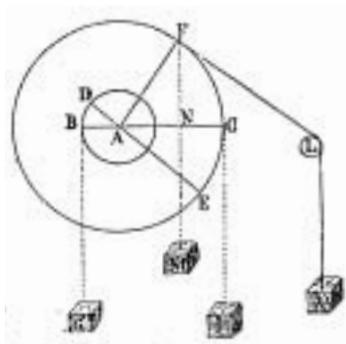
⁷⁸ Jo. Baptistae Benedicti, *Diversarum Speculationum Mathematicarum et Physicarum liber*, Torino 1585, 156.

⁷⁹ G. Cardano, *Opera omnia*, Lione 1663, IV 480.

⁸⁰ Galileo, *Opere VIII* 152.

⁸¹ Arist., *Mech.* 850a 30-b9.

SALV. Voglio che gli concediamo il primato nel tempo; ma nella fermezza della dimostrazione parmi che se gli deva per grad'intervallo anteporre Archimede, da una sola proposizione del quale, dimostrata da esso ne gli Equiponderanti,⁸² dependono le ragioni non solamente della leva, ma della maggior parte de gli altri strumenti meccanici.



⁸² Archimede, *Equiponderanti* prop. VI.