
BOLLETTINO UNIONE MATEMATICA ITALIANA

MARIO GALLI

Sui contributi di Galileo alla fondazione della dinamica.

*Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 3, Vol.
9 (1954), n.3, p. 289–300.*

Zanichelli

<http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_1954_3_9_3_289_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*

SIMAI & UMI

<http://www.bdim.eu/>

Sui contributi di Galileo alla fondazione della dinamica.

Nota di MARIO GALLI (a Firenze)

Sunto. - È stato asserito da parecchi storici della scienza che GALILEO non ha diritto al titolo di fondatore della dinamica moderna, poichè ne ha ignorato la legge fondamentale: $f = ma$. Con questa nota si vuole dimostrare:

- 1) La conoscenza di tale proposizione non è indispensabile perchè GALILEO possa legittimamente aspirare a quel titolo.
- 2) Non è affatto vero che GALILEO abbia ignorato tale legge. Inoltre si assegna la spiegazione esauriente del fatto che la presenza di tale legge sia poco appariscente nelle opere del sommo pensatore.

1. È stato dichiarato sovente da scienziati molto autorevoli che GALILEO deve essere considerato il fondatore della dinamica moderna. Ma questa tesi, comune tra gli scienziati italiani, è avversata da parecchi critici di chiara fama, tra i quali eccelle il DUHEM.

Questi si basano essenzialmente sul fatto che egli avrebbe ignorato quella che oggi, dopo la codificazione di NEWTON, sogliamo chiamare la II legge fondamentale della dinamica: $f = ma$. Come è possibile, chiedono enfaticamente costoro, proclamare fondatore della dinamica colui che ne ha ignorato la legge essenziale?

Ma non basta. Costoro aggiungono altresì che GALILEO non ha mai dato una enunciazione generale della legge d'inerzia. Taluni anzi (compreso il DUHEM) arrivano a tal segno da sostenere che il famoso libro « *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* » deve essere riguardato come un trattato di pura cinematica. Nè manca chi ritiene che GALILEO non si sia mai distaccato del tutto dalla falsa legge della dinamica aristotelica.

Vogliamo esporre alcune considerazioni, storiche ed epistemologiche, che ci mettano in grado di rispondere adeguatamente alle due seguenti domande:

- 1) È lecito attribuire a GALILEO la legge fondamentale della dinamica del punto materiale?
- 2) È proprio necessario questo requisito per considerare GALILEO fondatore della dinamica?

2. Non si creda che la questione sia puramente storica. Coloro che in questa materia sono stati severi con GALILEO hanno commesso un grave errore epistemologico, come tra poco mostreremo. In sostanza essi hanno confrontato l'opera di GALILEO con un assetto ideale della meccanica razionale che, nella migliore delle ipotesi non poteva essere opera di uomo solo, ma che inoltre era ideale solo secondo la loro molto personale opinione.

Tuttavia anche l'aspetto storico della questione deve essere debitamente considerato. I giudizi più comuni sui meriti di GALILEO nella fondazione della dinamica si basano quasi sempre sullo studio di un solo libro: *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. Questo criterio sembra molto plausibile ma in realtà esse nasconde l'evoluzione del pensiero galileiano.

Le fonti principali che, a nostro avviso occorre considerare, sono le seguenti:

1) Un capitolo dell'opera giovanile *De motu* (composizione certo anteriore all'anno 1600) ⁽¹⁾.

2) La corrispondenza con il celebre matematico LUCA VALERIO (1609) ⁽²⁾.

3) La prima edizione dell'opera *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* (1638) ⁽³⁾.

4) Una addizione postuma alla seconda edizione fatta dal VIVIANI per ordine dello stesso GALILEO ⁽³⁾.

L'insieme di questi documenti ⁽⁴⁾ rivela il dramma interiore di un sommo pensatore che dopo 40 anni di profonda meditazione trova finalmente il giusto equilibrio tra le esigenze del razionalismo e dell'empirismo.

3. Non è necessario esaminare questi documenti secondo l'ordine storico. Procuriamo pertanto di vedere che cosa si può dedurre da una attenta lettura dei famosi dialoghi su due nuove scienze,

⁽¹⁾ Opere di GALILEO. Ed. Naz. I pag. 296.

⁽²⁾ Opere X p. 248.

⁽³⁾ Opere VIII (specialmente p. 214-19).

⁽⁴⁾ Non sono questi i soli documenti che possono essere utilizzati convenientemente. Comunque essi sono sufficienti per la conoscenza della evoluzione del pensiero galileiano in un soggetto così importante. Non sarà poi inutile ammonire i difensori di GALILEO circa l'inopportunità di addurre citazioni del tutto inconcludenti. Per es., F. ENRIQUES cita come passi favorevoli: VIII p. 201; VIII p. 67 (Enc. Ital. voce Inerzia). Il lettore può controllare! Ciò facendo si scriveranno apologie artificiose e perciò inefficaci.

fonte principalissima per chi voglia conoscere la mente di GALILEO sulle leggi del moto, ma che non deve essere utilizzata in modo esclusivo.

Dobbiamo riconoscere che, in ordine alla presente questione, chi volesse fondarsi unicamente su questo libro ne riporterebbe una impressione piuttosto sfavorevole.

Astraendo dal frammento postumo cui abbiamo accennato, in tutto il libro non troviamo neppure un vago accenno ad una possibile legge generale vincolante moto e sollecitazione dinamica. Potremmo anzi aggiungere che il concetto di forza è totalmente assente. L'indole del trattato è tale da conferire perfino una forte apparenza al duro giudizio del DUHEM, secondo il quale saremmo in presenza di un semplice trattato di cinematica.

Non è agevole riassumere in poche parole il contenuto dei famosi dialoghi. Limitandoci all'essenziale possiamo dire che GALILEO affronta un problema dinamico molto importante e lo risolve egregiamente, ma il problema è molto ristretto. In linguaggio moderno esso può essere formulato così: Determinare il moto di un punto materiale sollecitato da una forza costante.

Ma gli oppositori replicano che questa enunciazione è già troppo generale, troppo moderna e non rappresenta bene la vera mente di GALILEO. Ed infatti egli si occupa formalmente (ed unicamente) del moto dei gravi, aggiungendo peraltro che la validità delle leggi da lui assegnate è subordinata a due condizioni:

a) Deve farsi astrazione dalla resistenza dell'aria ed inoltre (nel moto su traiettoria prestabilita) da altre resistenze passive.

b) Le linee di forza devono supporsi concorrenti all'infinito, per cui le leggi da lui assegnate valgono molto approssimativamente solo per movimenti che avvengano in ambienti terrestri poco estesi ⁽⁵⁾.

GALILEO non aggiunge esplicitamente, dicono costoro, che cosa dovrebbe accadere qualora la forza sollecitante, anche ammessa costante, fosse diversa dalla gravità.

Quanto questa riserva sia fondata lo vedremo tra poco. Per ora procuriamo di tenere ben presenti i postulati fondamentali sui quali GALILEO fonda il suo sistema logico deduttivo.

Possiamo ridurli a tre, corrispondentemente ai tre problemi principali dei quali si occupa.

1) Per il libero moto lungo la verticale si postula che esso è uniformemente accelerato, intendendosi con ciò un moto nel quale la velocità cresce proporzionalmente al tempo.

(5) Opere VIII p. 275; XVII p. 88.

2) Per il moto su traiettoria prestabilita (senza attrito) si postula che la velocità acquisita dal mobile nel procedere da un punto *A* ad un punto *B* è uguale a quella che esso acquisterebbe discendendo liberamente lungo un tratto di verticale pari alla distanza tra i piani orizzontali passanti per *A* e per *B*. In altre parole la velocità acquisita dipende solo dalla differenza di quota.

3) Per i gravi lanciati si postula che il moto effettivo è il risultante di due moti, uno orizzontale uniforme, l'altro verticale uniformemente accelerato (moto parabolico).

Questi postulati sono incensurabili e perfettamente conformi alla dinamica moderna, ma non sono derivati da un principio più generale, come oggi facciamo abitualmente. Del concetto di forza neppure l'ombra.

C'è però un frammento postumo, dianzi citato, nel quale sembra che GALILEO parta dal presupposto che debba esistere proporzionalità tra forza ed accelerazione. È perciò essenziale, in ordine ai nostri scopi, indagare sull'esatto significato di esso e soprattutto sui motivi che hanno indotto GALILEO ad ordinare quella addizione.

Appena uscita la prima edizione (1638) i contemporanei trovarono alquanto discutibili i postulati ora citati, soprattutto il secondo, sebbene GALILEO ne avesse dato una giustificazione empirica estremamente abile ⁽⁶⁾. Occorre porgere molta attenzione a questo contrasto di mentalità, poichè siamo in presenza di un fatto estremamente interessante nella storia del pensiero scientifico. Esso mette in chiara luce la profondità e la modernità del pensiero galileiano. GALILEO qui si rivela più moderno di tutti, anche dei suoi più immediati continuatori.

Tutti cospiravano nell'asserire che tale postulato non era affatto evidente. Il GASSENDI ad es., obiettava: « *Quid enim certi ex incertis concludi potest, aut ex principio, ut ipsemet Galileus agnoscit, verisimili tantum ac probabili, demonstrari?* ». CARTESIO non lo riteneva nè vero nè evidente. Perfino VIVIANI scriveva: « *Arrivato a quel principio supposto che le velocità dei mobili naturalmente per piani di una medesima elevazione siano uguali tra loro, dubitai non già della verità dell'assunto, ma della evidenza di poterlo supporre come noto* ⁽⁷⁾ ».

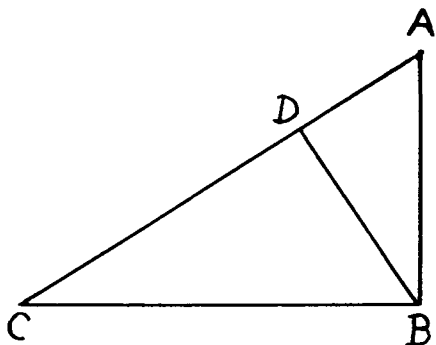
In seguito a questa levata di scudi, GALILEO si decise ad una

⁽⁶⁾ Opere VIII p. 206.

⁽⁷⁾ Questi giudizi ed altri molto interessanti si possono trovare citati in R. CAVERNI. Storia del metodo sperimentale in Italia. v. IV p. 334.

importante modificazione, alla quale peraltro, come ben presto vedremo, aveva pensato 40 anni avanti. Tentò di erigere in teorema quello che aveva dato come postulato.

Il procedimento galileiano diventa più evidente facendo attenzione alla seguente figura.



GALILEO confronta il moto di uno stesso grave lungo la verticale AB e lungo l'inclinata AC (essendo BC orizzontale). Vuole giungere alla conclusione che le velocità acquistate dal mobile quando è rispettivamente in B ed in C sono uguali.

Egli premette che in ambedue i casi il moto è uniformemente accelerato. Poi ricorda il ben noto teorema di statica che stabilisce le condizioni di equilibrio sul piano inclinato, di cui dà una elegante dimostrazione.

Ciò premesso, in breve GALILEO ragiona così. La causa che fa discendere il grave lungo AB è il peso totale, la causa che lo fa discendere lungo AC è non già il peso totale ma questo moltiplicato per il fattore AB/AC . Gli effetti conseguenti devono essere proporzionali alle cause. Poichè le forze tendono ad incrementare le velocità, dobbiamo ammettere che gli incrementi di velocità ottenuti nel medesimo tempo siano proporzionali alle forze agenti. Ovvero, in altre parole: Se noi concepiamo due diverse esperienze, nelle quali il medesimo corpo è sollecitato nel medesimo intervallo di tempo da due forze diverse F ed F_1 , gli incrementi di velocità acquistati devono essere rispettivamente proporzionati alle forze stesse. Nel caso attuale perciò il grave discendente lungo AC , dopo un intervallo di tempo pari a quello che impiegherebbe per discendere da A a B , acquista una velocità V che sta a quella acquistata in B come AB sta ad AC . Il grave cioè perverrebbe in D (proiezione di B lungo AC). Da qui, mediante facili considerazioni geo-

metriche risulta che le velocità acquisite in B od in C sono uguali ⁽⁸⁾.

Questo è in sostanza il contenuto del celebre e discusso frammento galileiano.

4. Che valore ha questa dimostrazione?

I contemporanei di GALILEO la ritennero abbastanza soddisfacente. È evidente, diceva TORRICELLI, che « *Dupla causa duplum effectum parere debet in eodem subiecto* ».

Al contrario giudicando alla luce della moderna epistemologia, non occorre faticare molto per riconoscere che qui non si può parlare di vera e propria dimostrazione. Questa ha in apparenza una grande forza persuasiva perchè fa appello ad una convinzione istintiva, ma il cui contenuto è troppo indefinito. Già E. MACH avvertiva che la costanza dell'accelerazione nel moto dei gravi non può essere dedotta dal fatto che la forza applicata è costante e lodava GALILEO per essersi astenuto dal fare tal passo. Solo l'esperienza può insegnare che le forze sono causa di accelerazione e non già di velocità ⁽⁹⁾.

Ma dobbiamo nello stesso tempo evitare l'eccesso opposto. Non possiamo cioè negare ogni valore alla dimostrazione galileiana e ad altre consimili. Questa per lo meno possiede un valore euristico notevole. Un esame accurato dei dati più significativi che può fornire la storia della scienza ci induce a ritenere che principi cosiffatti, tra i quali possiamo annoverare quello che stabilisce proporzionalità tra causa ed effetto, non permettono di giungere sicuramente, mediante le leggi della logica pura, a conclusioni ben definite. Ciò nonostante non sarebbe affatto saggio farne a meno completamente. Tali principi, pur non avendo un contenuto ben definito, esprimono nondimeno una esigenza generica della

⁽⁸⁾ Per quanto la cosa sia quasi incredibile non sono mancati ipercritici i quali hanno sentenziato che GALILEO con questa dimostrazione mostra di essere restato tenacemente attaccato fino alla fine dei suoi giorni alla falsa dinamica aristotelica. Effettivamente GALILEO non parla esplicitamente di accelerazioni ma di velocità. Ma è ovvio da tutto il contesto che quando egli parla di proporzionalità tra forza e velocità, intende la velocità che la forza determina dopo un certo tempo, o anche la velocità media. Trattandosi di moti entrambi uniformemente accelerati e della medesima durata, ed essendo per conseguenza $v_1 = a_1 t$; $v_2 = a_2 t$ ne consegue logicamente: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{a_1}{a_2}$.

⁽⁹⁾ E. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, p. 119, Leipzig 1897.

ragione e sono idonei per orientare la mente verso la ricerca e la scoperta di leggi esatte. Che il principio predetto possa essere effettivamente utile può essere confermato con l'autorità di sommi pensatori posteriori a GALILEO. Ci limitiamo a due esempi.

LEIBNITZ scrive testualmente ⁽¹⁰⁾: « Io credo che in luogo del principio cartesiano si potrà stabilire un'altra legge di natura che io ritengo la più universale e la più inviolabile, ossia che esiste sempre una perfetta equazione tra la causa vera e l'effetto totale. Essa dice non solo che gli effetti sono proporzionali alle cause, ma dice ancora che ogni effetto è equivalente alla sua causa. E quantunque questo assioma sia senz'altro metafisico, esso non cessa di essere il più utile tra quelli che possono essere adoperati in fisica ed offre il mezzo per ridurre le forze ad un calcolo di geometria ».

È ben noto che MAYER, nello stabilire il principio della conservazione dell'energia si lasciò guidare dal principio: *causa aequat effectum*. PLANK così commenta ⁽¹¹⁾: « Per quanto non possiamo attribuire un valore dimostrativo alle considerazioni generali di MAYER, nondimeno queste hanno un valore pratico notevole, in quanto facilitano la visione del contenuto completo del principio ed offrono un'idea direttrice, conformemente alla quale si debbano porre le questioni naturali ».

Chi conosce la mente di GALILEO solo attraverso la lettura dei dialoghi delle scienze nuove rimarrà sorpreso dal fatto che considerazioni tanto importanti siano state relegate in un piccolo frammento postumo. Qualcuno potrà anche credere che questo rappresenti una tardiva resipiscenza, Ma in realtà esistono due importantissimi documenti, un capitolo dell'opera giovanile *De motu* ed una lettera di LUCA VALERIO, i quali dimostrano che GALILEO si era occupato del problema molto tempo prima.

Nel libro *De motu* GALILEO confronta il moto dei gravi discendenti rispettivamente lungo la verticale e lungo il piano inclinato. Perché nel secondo caso il moto è più lento? Si può dare al riguardo una precisazione quantitativa? Egli dichiara, e non v'è motivo per non credergli, di essere il primo a proporre una simile questione. *Quaestio, quam nunc explicaturi sumus, a nullis philosophis, quod sciam, pertractata est.*

⁽¹⁰⁾ G. LEIBNITZ, *Opera omnia*, III p. 197, Genevae 1747. Cfr. anche p. 180 e 200.

⁽¹¹⁾ M. PLANK, *Der Prinzip der Erhaltung der Energie*, p. 23, Leipzig 1887. Cfr. anche p. 132 e p. 133.

Aggiunge poi subito: *Est autem quaestio haec non minus necessaria quam subtilis.*

La questione gli sembrò da principio difficile, ma poi ben presto si convinse che essa poteva essere agevolmente risolta partendo da principi per sè noti. « *Comperi huius demonstrationem, sicut et aliorum quae prima fronte nimis ardua videntur, ex notis et manifestis naturae principiis hortum ducere* ».

Si vede dunque che GALILEO, all'inizio della sua carriera scientifica, pur opponendosi fortemente alla tradizione, ha ancora molta fiducia nella ragione. Ritieni di potere fondare la meccanica su principi per sè noti. Proseguendo la lettura possiamo peraltro agevolmente constatare che il presupposto evidente da cui prende le mosse non è altro che il principio che stabilisce proporzionalità tra causa ed effetto. Per conseguenza, dopo avere dato una elegante dimostrazione del teorema di statica che stabilisce l'equilibrio sul piano inclinato, conclude che il moto lungo il piano inclinato è più lento in quanto è più debole la forza che lo sollecita a discendere. Per quanto riguarda la precisazione quantitativa la conclusione è alquanto confusa ed è facile riconoscerne la ragione.

Allorchè GALILEO scriveva il libro *De motu* accettava ancora la legge dinamica degli antichi, la quale, tradotta in termini matematici, stabiliva proporzionalità tra forza e velocità. Nessuno, e meno di tutti GALILEO, poteva negare che il moto dei gravi, almeno inizialmente, è accelerato. Ma GALILEO assegnava di questo fatto una spiegazione che è certo molto ingegnosa e della quale se ne compiaceva ma che egli non tardò a ripudiare e che oggi consideriamo come una sottigliezza scolastica.

Questo del resto mette in chiara luce quanto prima dicevamo, che cioè il principio *causa aequat effectum* non può *sic et simpliciter* condurre a conclusioni ben definite. Quando la causa e l'effetto sono entità misurabili (e solo allora il principio può suggerire conclusioni ben definite) non è affatto evidente con quali criteri debbano essere misurate. Per conseguenza, avendo fede nel principio, ed ammettendo nello stesso tempo che le forze sono causa di velocità (dinamica aristotelica) si sarà indotti a credere che le forze sono proporzionali alle velocità, se invece si ammette che le forze determinano accelerazioni, si sarà indotti a credere che esse siano proporzionali alle accelerazioni.

Comunque GALILEO, ponendosi per primo l'interessante problema del confronto razionale del moto lungo la verticale e lungo il piano inclinato, si era messo sulla buona via. Ed invero, finchè ci si limita ad esperienze terrestri e non si possiedono mezzi mate-

matici elevati per risolvere esattamente problemi difficili, come ad es., il problema del moto pendolare, il mezzo più idoneo a suggerire la legge fondamentale della dinamica moderna è lo studio comparativo del moto lungo piani di diversa inclinazione.

È ovvio quindi che, GALILEO, appena riuscì a liberarsi del tutto dalla dinamica aristotelica (e questo avvenne 40 anni prima della pubblicazione dei famosi dialoghi), acquisì la legge fondamentale della dinamica moderna, sebbene in forma rudimentale ed imperfetta.

Ma, qualche anno prima delle sue meravigliose scoperte celesti, egli attraversa una profonda crisi di pensiero: non si sente più sicuro dell'evidenza del principio di cui abbiamo dianzi parlato. Perde la sua euforia razionalistica giovanile ed inclina decisamente verso il positivismo. Per conseguenza dà al suo sistema di meccanica quell'assetto che osserviamo nella prima edizione dei suoi dialoghi. La meccanica non si può fondare su principi evidenti a priori ma sull'esperienza ⁽¹²⁾.

Ciò nonostante GALILEO è sicuro che la sua nuova scienza non è affatto inferiore per dignità alla geometria di EUCLIDE o alla statica di ARCHIMEDE.

Nel dialogo dei massimi sistemi egli fa dire a SIMPLICIO che le verità geometriche sono vere in astratto ma non già in concreto, ad es., la proposizione: *sphaera tangit planum in puncto* ⁽¹³⁾. GALILEO risponde che, se una sfera ed un piano materiali fossero perfettamente corrispondenti al modello ideale, la suddetta proposizione sarebbe vera anche in concreto. Altrettanto deve dirsi delle proposizioni meccaniche. Se il moto dei gravi fosse uniformemente accelerato in senso rigoroso, allora ad esso competerebbero tutte quelle proprietà che si deducono nella meccanica teorica. In caso contrario tali proprietà saranno valide solo approssimativamente. Non c'è nessuna ragione per abbassare la dignità della nuova scienza rispetto alla geometria antica. Entrambi sono perfette idealmente, entrambi sono descrizioni approssimate della realtà.

Che GALILEO abbia avuto effettivamente una crisi di pensiero risulta dalla sua corrispondenza (a. 1609) con LUCA VALERIO. Disgraziatamente è andata perduta la lettera di GALILEO, ma dalla

⁽¹²⁾ « Prendiamo dunque per ora questo come postulato, la verità assoluta del quale verrà poi stabilita dal vedere altre conclusioni, fabbricate sopra tale ipotesi rispondere e puntualmente confrontarsi con l'esperienza », VIII p. 208.

⁽¹³⁾ Opere VII p. 229-234.

risposta del VALERIO apprendiamo le ansietà che affliggevano il sommo pensatore. GALILEO non ritiene evidente che nel moto dei gravi su piani di diversa inclinazione le accelerazioni debbano stare tra loro come le forze, in virtù del principio *causa aequat effectum*. Quel principio gli sembra troppo metafisico. LUCA VALERIO lo incoraggia: « *Un intelletto geometrico con qualche lume di metafisica, o naturale o acquisito, subito intesi li termini di quelle due proposizioni della verità di esse non potrà dubitare, potendo agevolmente intendere essere verità nota per se stessa che, moltiplicata la virtù della causa efficiente, è necessario che si moltiplichi la quantità dell'effetto secondo la medesima moltiplicatione, levatone ogni sorta d'impedimento* ».

Ma GALILEO non si lasciò convincere da una voce così autorevole. Perciò pervenne all'elaborazione di una dinamica dove il concetto di forza è quasi totalmente assente, così da indurre qualcuno a credere che egli abbia scritto un trattato di pura cinematica.

6. Ma è fondata questa opinione? È strano che questa sia stata espressa in epoca molto recente dal DUHEM, dopo che fisici di chiara fama, quali KIRCHHOFF, HERTZ, RITZ ecc. hanno intenzionalmente e con assoluta convinzione sostenuto la convenienza di eliminare dalla meccanica il concetto di forza: l'esistenza di questo indirizzo rende del tutto infondata la suddetta opinione. Non vogliamo qui discutere se questo indirizzo sia lodevole ⁽¹⁴⁾. Ma nessuno certamente oserà dire che il mirabile trattato di meccanica del KIRCHHOFF sia un trattato di pura cinematica.

C'è perfino chi ha osato asserire che, quando GALILEO distingue il suo programma da un programma puramente cinematico professando di volere descrivere non moti qualunque, ma moti naturali « *motus quibus utitur natura* », manifesti ancora un certo attaccamento alla fisica aristotelica. L'accusa è semplicemente ridicola. Nel concetto galileiano di moto naturale non c'è alcun legame con le vedute cosmologiche aristoteliche che, all'atto della pubblicazione dei dialoghi, egli aveva abbondantemente superato. KIRCHHOFF asserisce che compito della meccanica è di descrivere completamente e nel modo più semplice i movimenti che si verificano in natura (*die in der Natur für sich gehenden Bewegungen*) ⁽¹⁵⁾. Non

⁽¹⁴⁾ Cfr. a questo riguardo: F. ENRIQUES, *Problemi della scienza*, p. 220 Bologna 1906.

⁽¹⁵⁾ G. KIRCHHOFF, *Vorlesungen über mathematische Physik*, p. 1, Leipzig 1879.

è questa l'esatta traduzione dell'espressione galileiana *motus quibus utitur natura*?

7. Da quanto è stato detto finora emerge chiaramente che GALILEO non ha ignorato la legge fondamentale della dinamica moderna. Certamente non ne ha assegnato la formulazione completa e precisa che assegnerà più tardi NEWTON, ma non possiamo per questo considerarlo degno di rimprovero. Né possiamo accusarlo di non averla stimata abbastanza. Egli ha invece perfettamente compreso che essa può trovare la sua giustificazione solo mediante il confronto con l'esperienza, il che richiede applicazioni estensive che egli, per mancanza di mezzi matematici idonei, non poteva ancora fare. Ha utilizzato tale legge solo per giustificare il suo secondo postulato. E questo lo ha fatto quasi con riluttanza, per soddisfare alla mentalità dei suoi contemporanei. In realtà il suo sistema non guadagnava con ciò molto in evidenza, ma le considerazioni che egli espone in quel frammento postumo facilitano la scoperta della legge più generale che bisogna applicare quando si possederanno mezzi matematici per trattare campi di forza variabili. Anche KIRCHHOFF riconosceva che il concetto di forza che egli (secondo noi a torto) considerava oscuro e metafisico, è stato utile per lo sviluppo della dinamica.

Insomma GALILEO ha trovato il giusto mezzo tra le contrastanti esigenze dell'empirismo e del razionalismo, ed è questo il suo massimo titolo di gloria.

8. Ma è proprio necessario il contributo ora discusso per considerare GALILEO il fondatore della dinamica? Noi non lo crediamo.

Il mirabile trattato « *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* » non può essere giudicato in base alla ristrettezza del suo contenuto. Il merito di GALILEO non consiste solo nell'aver contribuito più o meno allo stabilimento di questa o di quell'altra proposizione. Chi si basa su questo criterio comprende ben poco la storia del pensiero scientifico ⁽¹⁶⁾.

(16) A conferma di questa asserzione conviene tenere presente il comportamento di GALILEO nei riguardi della legge esatta che determina il valore della forza centrifuga (VII p. 216-244).

Le considerazioni che GALILEO istituisce a proposito di questo argomento potrebbero essere giudicate da qualcuno (ignaro degli scopi che egli perseguiva) eccessivamente sottili. Effettivamente sembra che GALILEO si compiaccia di mettere in imbarazzo il suo avversario, ponendogli delle domande molto insidiose che lo costringono a dare delle risposte contradd-

Al contrario il libro è importante soprattutto perchè esso ha impresso un nuovo indirizzo al pensiero occidentale. GALILEO è riuscito a fare accettare quello che in altre epoche sarebbe apparso assolutamente inaccettabile, che cioè potesse esistere una scienza idealmente perfetta e di grandissima utilità pratica non fondata su principii per sè evidenti.

Per potere operare questa conversione non erano certo sufficienti i libri di meccanica. Questi non avrebbero fatto tanta impressione se non fossero stati scritti da chi aveva acquistato chiara fama col « *Nuncius sidereus* » e col dialogo dei massimi sistemi. Insomma GALILEO ha dato un nuovo indirizzo al pensiero occidentale non solo perchè ha scritto un trattato di meccanica ma perchè lo ha scritto con autorità ed efficacia. La maggiore o minore estensione dell'argomento effettivamente trattato ha una importanza relativamente secondaria.

Più tardi saranno fatti grandi sforzi per far credere che la meccanica razionale si potesse fondare su principii necessari ed evidenti, conformandosi con ciò all'ideale scientifico dei filosofi greci. Ma i progressi successivi della scienza hanno dato ragione a GALILEO. I principii della scienza, scriverà infine EINSTEIN, sono libera creazione della mente.