

---

# BOLLETTINO UNIONE MATEMATICA ITALIANA

---

M. GALLI

## Le prove meccaniche della rotazione terrestre secondo Galileo.

*Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 3, Vol. 8*  
(1953), n.3, p. 328–336.

Zanichelli

<[http://www.bdim.eu/item?id=BUMI\\_1953\\_3\\_8\\_3\\_328\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_1953_3_8_3_328_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/>

## **Le prove meccaniche della rotazione terrestre secondo Galileo.**

Nota di M. GALLI (a Firenze).

*Sunto. - Studio critico diretto ad accertare se veramente GALILEO abbia addotto a giustificazione del sistema copernicano la deviazione dei gravi verso oriente. Si dimostra che GALILEO ha previsto genericamente il fenomeno senza peraltro assegnarne la prova rigorosa e senza riuscire ad apprezzarne l'entità e a realizzare in pratica l'esperimento.*

1. Sebbene sull'opera di Galileo sia stato scritto moltissimo, specialmente su ciò che concerne la sua partecipazione alla controversia copernicana, tuttavia bisogna confessare che su certi

punti fondamentali non sussiste accordo completo fra i trattatisti. Come esempio molto significativo si può citare l'argomentazione favorevole alla tesi copernicana, dedotta dalla deviazione dei gravi verso oriente. Mentre alcuni trattatisti non attribuiscono al riguardo alcun merito a Galileo, altri si esprimono in modo da far credere che egli sia giunto a realizzare l'esperienza anche praticamente (1).

A nessuno può sfuggire che, per una obbiettiva valutazione dei meriti e della genialità di Galileo, è assai desiderabile eliminare questa incertezza e determinare con precisione fino a che punto egli si sia spinto nella giustificazione della tesi copernicana (2), l'impresa nella quale egli prodigò tutte le risorse della sua mente.

Diciamo subito che, se si fa astrazione da un passo che a suo tempo citeremo e discuteremo, da un vasto complesso di affermazioni si sarebbe indotti a concludere che Galileo ha totalmente ignorato la deviazione dei gravi verso oriente. Effettivamente Galileo prende in esame sovente ed in modo sistematico il fenomeno della caduta dei gravi proprio con riferimento alla controversia copernicana. Eppure, se si prescinde dall'eccezione ora menzionata, egli asserisce costantemente, in modo almeno implicito, che i gravi seguono la verticale. A questa constatazione si può aggiungere l'ovvia considerazione che una cosiffatta previsione era per quei tempi difficile e prematura.

Ciò nonostante ci proponiamo di dimostrare che una conclusione così decisamente negativa non è affatto giustificata, ma poichè d'altra parte non è affatto prudente fondarsi su un testo singolo avulso dal contesto, bisogna esaminare bene il significato dei passi assai numerosi che sembrano in apparenza decisamente contrari.

(1) Per convincersi della poca concordanza fra i trattatisti si confrontino i seguenti testi: *Handbuch der Physik*, v. p. 338, E. PERUCCA, *Fisica sperimentale*, P. I. p. 304, U. T. E. T. 1937, LEVI-CIVITA E AMALDI, *Meccanica razionale*, II. p. 144, Bologna, 1951, G. GIORGI, *L'etere e la luce*, p. 63, Roma, 1939, R. MARCOLONGO, *Enciclopedia Treccani*, voce Galileo.

(2) Esaminiamo la questione da un punto di vista storico. Vogliamo determinare cioè se Galileo ha veramente tentato di giustificare la tesi copernicana mostrando la deviazione dei gravi verso oriente. Se poi con ciò si provi che la terra ruota rispetto allo spazio assoluto come avrebbe pensato un fisico vicino a Newton, o piuttosto rispetto ad un sistema inerziale, come pensa un fisico contemporaneo, non vogliamo discutere. Rinunciamo parimenti a determinare quale di questi due punti di vista sia più conforme alle vedute di Galileo.

Le affermazioni in essi contenute devono essere bene interpretate, subordinandole ad una condizione che Galileo certamente sottintendeva, e facendo attenzione agli scopi che egli perseguiva.

2. Questi scopi sono da lui esplicitamente dichiarati nell'introduzione al « Dialogo sopra i massimi sistemi del mondo ». *Tre capi principali si tratteranno:*

1) *Prima cercherò di dimostrare tutte le esperienze fattibili sulla terra essere mezzi insufficienti a concludere la sua mobilità, ma indifferentemente potersi adattare così alla terra mobile come anco alla quiescente e spero che in questo caso si paleseranno molte osservazioni ignote all'antichità.*

2) *Secondariamente si esami erano i fenomeni celesti, rinforzando l'ipotesi copernicana, come se assolutamente dovesse rimanere vittoriosa.*

3) *Nel terzo proporrò una fantasia ingegnosa... (3).*

Di questi tre compiti assunti da Galileo a noi interessano il primo ed il terzo. Quest'ultimo è espresso in modo intenzionalmente involuto. Bisogna tenere presente che Galileo credeva (falsamente) di poter dedurre dall'osservazione del flusso e del riflusso del mare un argomento irrefragabile della tesi copernicana, ma nella introduzione non poteva rivelare la sua intenzione per non trasgredire troppo apertamente la proibizione ecclesiastica.

Insomma Galileo pensa (e per difendere questa opinione scrive un libro intero) che tutte le esperienze fattibili sulla terra si possano indifferentemente adattare sia al moto sia alla quiete di essa, ma che dall'osservazione delle maree si possa legittimamente inferire il moto di essa. Queste due tesi sembrano in flagrante contraddizione, poichè anche il flusso ed il riflusso del mare è in fondo una esperienza fattibile sulla terra anche se nel caso attuale si tratta ovviamente di un fenomeno non provocato dall'intervento umano. Quest'ultima circostanza non è essenziale, poichè i principi meccanici sui quali si basa Galileo per spiegare il fenomeno delle maree permetterebbero (concettualmente almeno) di fare esperienze artificiali dello stesso tipo. Come si può conciliare questa apparente divergenza?

Se si fa bene attenzione a quanto Galileo scrive nella prima parte del libro si rileva facilmente che la sua tesi è subordinata ad una condizione. Egli ha espresso lucidamente e con qualche secolo di

(3) *Opere di Galileo.* (Edizione nazionale) v. VII p. 30. In seguito, citando le opere di Galileo, ci riferiremo sempre all'edizione nazionale.

anticipo il principio di relatività. Se l'ambiente terrestre in cui si sperimenta (ad esempio, la stanza del laboratorio) si muovesse di moto rigorosamente rettilineo ed uniforme allora sarebbe valida rigorosamente l'affermazione che nessuna esperienza fattibile in tale ambiente è capace di rivelare il suo movimento. Ma il moto che compete alla stanza del nostro laboratorio per il fatto di essere solidale con la terra mobile si può considerare rettilineo ed uniforme solo con grandissima approssimazione: quindi in pratica tutte le esperienze in esso fattibili sono incapaci di rivelare il moto terrestre. Così nell'esperienza della caduta di un grave dall'alto di una torre, le velocità che competono alla sommità ed alla base della torre sono praticamente identiche ed inoltre cambiano pochissimo nel brevissimo intervallo in cui dura l'esperienza. Ma, se si considerasse la caduta da una torre altissima, allora le velocità che competono alla sommità ed alla base della torre in virtù della rotazione terrestre sono sensibilmente diverse ed inoltre cambiano sensibilmente durante il tempo (ora non più piccolissimo) in cui dura l'esperienza, così che in questo caso dovrebbe essere possibile osservare (ammesso che si possa prescindere dagli errori accidentali) una deflessione apprezzabile verso oriente. Tutto questo è chiaro nella mente di Galileo tanto per ciò che concerne esperienze meccaniche in generale quanto per ciò che concerne la caduta dei gravi, come meglio vedremo in seguito.

Ma è indispensabile sottolineare che queste idee si rilevano non solo da qualche frase sporadica ma da un intero libro, così che non può sussistere alcun dubbio di interpretazione.

Per conseguenza, quando Galileo concede ripetutamente al peripatetico che i gravi discendono lungo la verticale, con ciò non intende escludere che possa esistere una lieve deviazione non facilmente ostensibile con l'esperimento. Egli vuole semplicemente confutare l'opinione peripatetica, fondata in parte su inconsiderazioni ed in parte sull'ignoranza della legge d'inerzia, secondo la quale i gravi, ammessa la rotazione terrestre, dovrebbero deviare cospicuamente verso occidente. Intenzionalmente diciamo che Galileo non esclude una lieve deviazione verso oriente che egli potrebbe avere, sia pure confusamente, percepito, poichè è chiaro da tali ripetute affermazioni che egli non è riuscito a darne la prova concreta.

Se fosse arrivato a tanto, sarebbe certo passato al contrattacco, ed avrebbe posto nel massimo rilievo la sua scoperta.

3. Che Galileo abbia potuto pensare possibile la dimostrazione della rotazione terrestre osservando la deviazione verso oriente dei gravi cadenti, sembra escluso dal fatto che egli erra nell'asse-

gnare la traiettoria dei gravi cadenti. L'errore è anzi piuttosto grave. Come allora egli poteva avere idee chiare circa una esperienza così delicata?

Questa obiezione deve essere discussa, se si vuole attribuire a Galileo un merito così grande. Di che si tratta precisamente?

Galileo asserisce che la traiettoria dei gravi cadenti (determinata da un osservatore rispetto al quale la terra ruoti uniformemente) sia un semicerchio i cui estremi coincidono l'uno con il punto di partenza l'altro con il centro della terra.

Questa soluzione non solo è inesatta ma non è neppure, nella maggior parte dei casi, discretamente approssimata. E allora?

Per non cadere in grave errore di interpretazione bisogna porre all'impostazione del problema ed alle finalità che Galileo si proponeva. Qui si può dire che la deviazione dei gravi è esclusa per principio, non perchè Galileo l'ignorasse ma perchè non vuole considerarla. Galileo vuole rispondere a questo problema puramente matematico. Sia dato un punto che si muove con moto uniformemente accelerato lungo una retta la quale ruota uniformemente intorno ad un punto; quale è la traiettoria da esso descritta?

Si tratta della determinazione di un particolare tipo di spirale

Galileo risponde, ma con ragioni piuttosto sofistiche, che la traiettoria descritta sarebbe un semicerchio (4).

Non occorre molta cultura matematica per capire che la soluzione è errata e notevolmente. Questo errore fu fatto notare a Galileo da Pietro de Carcavy mediante una lettera nell'anno 1637 (quindi poco prima della morte di Galileo) (5). Costui risponde:

*« Sebbene nel dialogo vien detto poter essere che mescolato il retto del cadente con l'equabile circolare del moto diurno si componesse una circonferenza che andasse a terminare nel centro della terra, ciò fu detto per scherzo, come assai manifestamente appare, mentre vien chiamato un capriccio et una bizzarria, cioè iocularis quaedam audacia »* (6). Si può quindi concludere che in ogni caso l'affermazione contenuta nel dialogo non costituisce l'ultima opinione di Galileo.

Ma qualcuno potrebbe chiedere a buon diritto: La risposta di Galileo alla lettera di Pietro de Carcavy costituisce una spiegazione o una tardiva ritrattazione?

(4) « Opere », VII p. 190-93. Aggiunge però: « dirò bene che, se la linea descritta dal cadente non è questa per l'appunto, ella gli è sommamente prossima ».

(5) « Opere », XVII p. 32.

(6) « Opere », XVII p. 88.

Da un esame spassionato del testo appare chiaramente che è vera la prima conclusione: Galileo voleva scherzare. E possiamo aggiungere che le circostanze glielo permettevano.

Ed infatti Galileo voleva mettere in rilievo le incongruenze logiche della teoria aristotelica dei moti naturali dalla quale i peripatetici arguivano contro il moto della terra. In breve così egli replica all'obbiezione: L'opposizione di natura che voi peripatetici attribuite ai corpi celesti ed ai corpi terreni è dedotta dal presupposto che i primi si muovano di moto circolare ed i secondi di moto rettilineo. Ma che i corpi terreni si muovano in linea retta verso il centro dell'universo è vero solo qualora si ammetta la terra quiescente. Altrimenti i gravi non si muovono affatto secondo una retta. Fin qui il ragionamento è ineccepibile. Ma poi, per conseguire un effetto finemente umoristico, procura di dimostrare che la traiettoria dei gravi cadenti, nell'ipotesi della terra rotante, sarebbe addirittura un cerchio. In tal caso infatti il contrasto che credeva di trovare il peripatetico si trasforma in una identità. Galileo non si compromette opponendo un ragionamento sofisticato ad un altro ragionamento sofisticato dei peripatetici, poichè questo era stato già abbondantemente confutato.

Qualcuno molto esigente in fatto di serietà scientifica potrà forse giustamente obbiettare che qui lo scherzo è di cattivo gusto. Ma non per questo è lecito inferire dal passo ora citato che Galileo avesse idee errate circa la traiettoria dei gravi cadenti.

4. Più volte nel dialogo Galileo discute l'influenza che potrebbe avere sul moto dei proiettili il moto della terra. Per il principio di relatività da lui così lucidamente esposto si deduce che, in quanto l'ambiente in cui si esperimenta può essere considerato mobile (con sufficiente approssimazione) di moto uniforme, l'effetto deve essere nullo. Ma se si volesse tener conto del fatto che, per lunghissime gittate, il moto del sistema in cui si esperimenta non è rigorosamente rettilineo ed uniforme, il moto della terra ha influenza e la moderna balistica ne tiene conto.

In una parte del dialogo <sup>(7)</sup> Galileo prende in considerazione (sebbene in modo parziale ed imperfetto, come del resto richiedeva l'obbiezione che voleva discutere) il fatto che l'ambiente in cui si realizza detta esperienza non si muove di moto puramente traslatorio. È evidente che Galileo non è in grado di fare calcoli precisi, poichè per questo gli mancavano i mezzi adeguati. Fa una discussione qualitativa e conclude con qualche riserva. Egli mostra che per gittate praticamente realizzabili ai suoi tempi tale effetto dovrebbe essere comunque piccolissimo, molto più piccolo degli errori accidentali. Parlando poi dei tiri che avvengono lungo un meridiano

(7) « Opere », VII p. 200-210.

enuncia una ragione generica che anche oggi (quando ci si vuole limitare ad una giustificazione puramente qualitativa) sogliamo addurre per rendere comprensibili certi effetti della rotazione terrestre (ad esempio, nell'emisfero boreale la deviazione verso destra dei venti alisei, l'erosione preferenziale della sponda destra dei fiumi che scorrono lungo un meridiano ecc.). « *Nei tiri dell'artiglieria essa e lo scopo si muovono con velocità uguale, essendo portati ambedue dal moto del globo terrestre; e, sebbene talvolta l'essere il pezzo piantato più verso il polo che il bersaglio, ed in conseguenza il suo moto alquanto più tardo essendo fatto in minor cerchio, tale differenza è insensibile per la poca lontananza dal pezzo al segno* <sup>(8)</sup> ».

Un poco più avanti però sembra negare ogni effetto, quando scrive: « *Ma abbiassi a vedere questa variazione nel moto e nella quiete della terra: non potendo essere ella se non piccolissima non può se non rimanere sommersa nelle grandissime che per molti accidenti continuamente accascano. E tutto questo sia detto e concesso per buona misura al signor Simplicio, perchè la verità schietta è che, circa gli effetti di questi tiri, il medesimo deve accadere puntualmente tanto nel moto quanto nella quiete del globo terrestre, siccome accadrà di tutte le altre esperienze addotte e che addur si possono le quali in tanti hanno nel primo aspetto qualche sembianza di vero in quanto l'antiquato concetto dell'immobilità della terra li ha mantenuti negli equivoci* <sup>(9)</sup> ».

5. Ma veniamo finalmente alla dichiarazione più esplicita circa il problema che ci riguarda. Si noti, allo scopo di conseguire una giusta interpretazione, che per quanto esplicita la dichiarazione è accidentale. L'occasione a farla gli è offerta dalla critica ad un libro contro la mobilità della terra, libro che egli dimostra essere pieno di colossali sciocchezze ma che nondimeno era molto stimato dai contemporanei.

Uno dei problemi ivi mal risolti era il seguente: Quanto tempo impiegherebbe un grave abbandonato da una altezza pari alla distanza tra luna e terra? Qui <sup>(10)</sup> Galileo corregge l'errore e coglie l'occasione per esaltare (forse un pò troppo iperbolicamente) le sue scoperte sul moto dei gravi.

Ad un certo momento l'interlocutore Simplicio coglie l'occasione per rinnovare la consueta obiezione peripatetica contro la mobilità della terra. I gravi dovrebbero deviare verso occidente e questa deviazione dovrebbe nel caso attuale essere manifestissima, trattandosi di una caduta da una altezza notevolissima.

<sup>(8)</sup> « Opere », VII p. 205.

<sup>(9)</sup> « Opere », VII p. 208-209.

<sup>(10)</sup> « Opere », VII p. 245.

L'obbiezione è così formulata: « *Posto pure che il calcolo del signor Salviati sia più giusto e che il tempo della scesa della palla non fusse più di tre ore, parmi ad ogni modo che venendo dal concavo della luna, mirabil cosa sarebbe che ella avesse istinto di natura di mantenersi sopra il medesimo punto della terra al quale nella sua partita ella sovrastava, o non piuttosto restare indietro per lunghissimo intervallo* <sup>(11)</sup> ».

Risponde Salviati: « *L'effetto può essere mirabile e non mirabile ma naturale e ordinario, secondo che sono le cose precedenti, imperocchè, se la palla (conforme ai supposti che fa l'autore) mentre si tratteneva nel concavo della luna aveva il moto circolare delle ventiquattro ore insieme con la terra e col resto del contenuto dentro ad esso concavo, quella medesima virtù che la faceva andare in volta avanti lo scendere, continuerà di farla andare anco nello scendere; e TANTUM ABEST che ella non sia per secondare il moto della terra, ma debba restare indietro, che più tosto dovrebbe prevenirlo; essendo che nell'avvicinarsi alla terra il moto in giro ha da essere continuamente per cerchi minori; talche mantenendosi nella palla quella medesima virtù che ella aveva nel concavo dovrebbe anticipare, come ho detto, la vertigine della terra; ma se la palla, nel concavo mancava della circolazione, non è in obbligo nello scendere di mantenersi perpendicolare sopra quel punto della terra che gli era sottoposto quando la scesa cominciò. Nè il Copernico nè alcuno dei suoi discepoli lo dirà* <sup>(12)</sup> ».

Questo passo è chiarissimo. Galileo finora si è limitato a sostenere che l'esperienza della caduta dei gravi non può essere adottata contro la mobilità della terra. Ora passa al contrattacco. Finora ha sempre concesso che il grave deve discendere praticamente lungo la verticale anche nell'ipotesi della mobilità della terra, poichè il moto dell'ambiente di cui si realizza l'esperienza può considerarsi con grandissima approssimazione uniforme. Ma se si vogliono fare considerazioni esatte, il che è necessario anche praticamente nel caso che si considerino grandi altezze, i gravi dovrebbero deflettere dalla verticale, non già però verso occidente, come vorrebbero i peripatetici, ma verso oriente. Quanto è grande la differenza tra le conclusioni della dinamica antica e moderna! Le conclusioni sono addirittura opposte.

Per bene intendere questa importante affermazione galileiana bisogna fare attenzione ad alcune circostanze:

a) L'affermazione è del tutto accidentale. Galileo in questo momento non si occupa *ex professo* del problema della dimostrazione della rotazione terrestre, l'affermazione può considerarsi

<sup>(11)</sup> « Opere », VII p. 259.

<sup>(12)</sup> « Opere », VII p. 259.

come una parentesi inserita nella discussione di un altro problema: la legge di discesa dei gravi.

b) Galileo nel fare tale affermazione replica alla consueta obbiezione dei peripatetici, secondo i quali i gravi dovrebbero deviare verso occidente, nell'ipotesi della terra rotante. Nella formulazione dell'obbiezione si presenta ora la circostanza speciale che il grave discende da una altezza assai rilevante. Solo in questo caso replica Galileo che anzi il grave dovrebbe deviare verso oriente, poichè solo in questo caso le considerazioni piuttosto qualitative sulle quali si basava permettono di vedere la cosa più chiaramente.

c) Nonostante che Galileo non fornisca della sua affermazione una dimostrazione rigorosa si esprime molto energicamente, come se si sentisse sicuro.

d) Mancano nelle opere di Galileo, almeno per quanto ci risulti, più esplicite affermazioni.

CONCLUSIONE. - Da questo complesso di circostanze sembra potersi dedurre che Galileo, basandosi su considerazioni generiche, ma sostanzialmente valide, era giunto alla convinzione che i gravi cadenti, nell'ipotesi della rotazione terrestre, dovrebbero deflettere lievemente verso oriente. Ma non è andato oltre questa generica previsione e soprattutto non ha procurato di realizzare l'esperimento. O almeno, se ha tentato di farlo non è riuscito a mettere in rilievo una sensibile deviazione. Questa conclusione è troppo ovvia, poichè se veramente Galileo fosse giunto a tanto avrebbe messo in grande risalto la sua scoperta.

Se Galileo non è andato oltre una generica previsione, ciò si deve attribuire al fatto che egli era troppo conscio delle sue limitazioni, soprattutto teoriche. Galileo vede bene la ragione generica per la quale i gravi dovrebbero deflettere verso oriente ma non può calcolarne con esattezza l'entità. Egli ignora la traiettoria che descriverebbero i gravi cadenti tenuto conto della rotazione terrestre. Troppi elementi gli mancavano per risolvere tale problema. Nella lettera diretta a Pietro de Carcavy dianzi citata manifesta le sue perplessità « *Finchè noi ci trattenghiamo sopra la superficie del globo terrestre, io non mi perito di assegnare a tale composizione una linea parabolica asserendo tali essere le linee che dai proietti vengono descritte* ».

Ma poco dopo oppone le sue riserve, fondandosi giustamente sul fatto che le linee di forza del campo gravitazionale non sono parallele ma convergenti al centro.

Se Galileo avesse tradotto in formole precise la sua supposizione avrebbe trovato una deviazione verso oriente ma alquanto maggiore di quella effettiva.