

Contributi di Galileo

Gianluigi Bellin

February 11, 2012

In queste note ci basiamo sul libro di Stillman Drake, *Galileo Studies*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1970 oltre che sul libro di John Losee, *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press, IV edizione 2001¹.

1 Galileo fisico, matematico e astronomo

Galileo deve essere considerato il fondatore della *fisica matematica* e della moderna *astronomia basata sulla fisica matematica*.

1.1 La fisica aristotelica ed il meccanicismo XVII sec.

Secondo Aristotele, ogni moto è *naturale* o *violento*. Gli elementi (terra, acqua, aria, fuoco) hanno un loro *luogo naturale*; questi luoghi sono situati (in quell'ordine) su sfere concentriche al centro della terra, centro dell'universo. *Naturale* è il moto di ciascun elemento verso il suo luogo naturale; *violento* è ogni moto che vada nelle direzione opposta. Vi sono poi i corpi celesti, che si muovono con movimento circolare; secondo Aristotele ed i filosofi medievali Dio causava il moto il cielo delle stelle fisse (Dante: Dio è l'*Amor che move il sole e l'altre stelle*, ultimo verso del *Paradiso*, XXXIII, v.145). Quindi ogni moto ha una causa e nel mondo sotto la luna ha un termine; in effetti la quiete nel luogo naturale la causa finale del moto naturale. Per questo una delle dimostrazioni dell'esistenza di Dio (*ex motu*), si basava sul principio che ogni movimento deve avere una causa e la catena delle cause non può dar luogo ad un regresso all'infinito: dunque Dio è motore primo.

Si noti che per Aristotele *movimento* è qualsiasi passaggio dalla *potenza* all'*atto*, quindi qualsiasi mutamento, come la crescita organica, mentre per i

¹Nell'edizione italiana usata in classe manca una figura sulle macchie solari che è molto utile per la comprensione di un argomento di Galileo.

filosofi atomisti, come Democrito, e per la fisica di Galileo, Cartesio e Newton, il mutamento nella natura è essenzialmente *mutamento di luogo*. In effetti la scienza moderna assume come suo programma *la riduzione di ogni mutamento naturale al movimento di luogo della materia*: questo si vede bene nella filosofia di Cartesio, per il quale, oltre a Dio, vi sono solo due tipi di sostanze, il pensiero e la materia estesa, e tutta la vita organica è nient'altro che un complicato *meccanismo*. La medicina moderna affermò il meccanicismo marginalizzando le pratiche tradizionali che trovavano supporto nei testi di Galeno e di Avicenna e la pratica della magia; la caccia alle streghe non è del tutto estranea a questa lotta contro la medicina tradizionale.

Stillman Drake nota che sulla base della filosofia aristotelica i soli rami della fisica ad avere uno sviluppo matematico "filosoficamente ben fondato" sono la *statica* nel mondo sublunare e la *cinematica* (descrizione del moto) applicabile ai moti celesti oltre che terrestri. La statica ha la sua base nelle leggi della leva di Archimede, da cui partirà Galileo per descrivere la dinamica del moto su un piano inclinato e del pendolo. Per descrivere il moto dei corpi celesti il sistema degli epicicli-deferenti o degli eccentrici mobili erano perfettamente adeguati. Un'altra cosa era descrivere la *dinamica*, cioè spiegare la cinematica sulla base dell'azione di forze come la gravità. In effetti questo richiederà una matematica del continuo che verrà sviluppata da Cartesio con la *geometria analitica*, Newton e Leibniz con il *calcolo infinitesimale*, mentre Galileo usava i metodi di calcolo (peraltro molto raffinati) di Archimede. Ma un passo importante per sviluppare la dinamica era quello di *eliminare la dottrina dei luoghi naturali*, affermando l'unità della fisica celeste e terrestre: questo era un passo delicato perché la distinzione aristotelica tra i due mondi era divenuta sostegno di una ideologia religiosamente motivata. Galileo ne era consapevole e cercò a lungo di convincere gli ecclesiastici ad abbandonare la dottrina dei due mondi, utilizzando anche le osservazioni telescopiche che mostravano come la luna ed il sole non avessero superfici lisce e perfette, ma avessero l'una monti e crateri l'altro macchie paragonabili a nubi, che li rendevano più simili alla terra. La scienza della dinamica che Galileo intendeva sviluppare si sarebbe applicata un modo uniforme a tutto l'universo.

1.2 Galileo "filosofo e matematico di corte"

Nel saggio "The effectiveness of Galileo's work", capitolo 5 di *Galileo Studies*, Stillman Drake nota che nel 1609 Galileo chiese di essere assunto dal granduca di Toscana come *matematico e filosofo di corte* e non chiese invece di essere *astronomo di corte*. Infatti la posizione di astronomo di corte, come quella che Keplero deteneva presso Rodolfo II di Praga, richiedeva che

si praticasse l'astrologia producendo oroscopi, attività questa che Galileo ed anche Keplero disprezzavano. Inoltre la fisica all'epoca era una parte della filosofia, a parte la meccanica, che però era considerata una scienza minore, e quindi era solo come filosofo che Galileo poteva praticare la fisica come matematica applicata. Infatti, come scrisse ne *Il Saggiatore*, per Galileo "la filosofia è scritta [...] nel libro della natura" che sta continuamente aperto di fronte ai nostri occhi, ma è scritto nel linguaggio della matematica, senza una conoscenza della quale uno non ne capisce una sola parola, ma ci si aggira per sempre come in un labirinto. Alla fine nel 1610 Galileo ottenne il titolo di matematico e filosofo di corte come richiesto, e quello di matematico presso l'Università di Pisa senza obbligo di residenza: infatti i dipartimenti di filosofia erano troppo forti e quelli di matematica troppo deboli per poter concedere quello che Galileo domandava e solo un uomo molto potente come il granduca poteva concedere questa innovazione accademica.

2 La legge del moto

Ci basiamo sul saggio di Stillman Drake, "Free fall and uniform acceleration" in *Galileo Studies*. Newton attribuì a Galileo le prime due leggi del moto ed il principio di inerzia; quindi riteneva che Galileo conoscesse la legge della caduta dei gravi, per cui lo spazio percorso da un corpo che cade è proporzionale al quadrato del tempo di caduta

$$s = c \cdot t^2$$

e la velocità è proporzionale al tempo

$$v = c \cdot t.$$

In realtà è solo in una lettera databile verso il 1616 che Galileo giunge alle corrette relazioni, avendo a lungo esitato nella nozione che la velocità fosse proporzionale allo spazio invece che alla radice quadrata dello spazio.

La dimostrazione sperimentale della formula corretta poteva essere ottenuta osservando che una sfera lasciata scendere su una lastra liscia percorre in unità di tempo successive spazi di lunghezza approssimativa 1, 3, 5, 7, e poi applicando la regola che la somma dei primi n numeri dispari è uguale al quadrato di n . In realtà la relazione corretta tra spazio percorso e tempo di caduta era già nota ai fisici medievali di Oxford (Merton rule). Naturalmente nel quadro della fisica aristotelica questo era solo un principio cinematico, non la base della dinamica, come sarà per Galileo e Newton.

3 Il principio di inerzia

Anche il principio di inerzia, la persistenza dei corpi nel moto rettilineo a velocità costante (*prima legge di Newton*), fu attribuito da Newton a Galileo; ma molti storici moderni, tra cui Losee, sostengono che Galileo credesse nell'inerzia circolare, la persistenza del momento angolare nel moto circolare. Stillman Drake invece ritiene che occorra considerare che gli scritti in cui il principio di inerzia circolare è presentato, come il *Dialogo sopra i Massimi Sistemi* (1633), hanno carattere polemico: per Galileo asserire il principio di inerzia circolare era una astuta mossa propagandistica, come sottolineato anche da Feyerabend (*Contro il Metodo*). Infatti per i tolemaici non era difficile accettare la nozione di inerzia circolare per il moto dei pianeti e delle stelle; quindi Galileo poteva fare riferimento a tale credenza per affermare lo stesso principio per la fisica terrestre. Inoltre l'esperienza della persistenza del moto circolare nelle ruote usate per affilare i coltelli (*mole*) induceva a pensare che il moto circolare tendesse a persistere, diversamente da quello rettilineo.

A proposito delle strategie propagandistiche di Galileo, Stillman Drake e Feyerabend citano il fatto che nei *Dialoghi* Galileo parla di moto *circolare* della terra e dei pianeti attorno al sole, per quanto egli conoscesse le leggi di Keplero e sapesse che le orbite sono *ellittiche*. Ma convincere i lettori educati alla dottrina tolemaica che la terra si muova attorno al sole in un'orbita ellittica richiedeva un ulteriore sforzo di convinzione rispetto al moto circolare, mentre il punto essenziale da far accettare era la concezione eliocentrica.

Nei suoi scritti edti ed inediti Galileo parte dalla dottrina aristotelica del moto ed osserva che se un moto in discesa è naturale e quindi ha una forza che lo promuove e se quello in salita è violento e quindi richiede una forza opposta che contrasti quella naturale, allora un moto orizzontale si può definire *neutrale* e non riceve opposizione; quindi una forza minima basta a mettere in moto una sfera su una superficie liscia parallela all'orizzonte ed suo il moto continua per lungo tempo. Galileo però fa notare la presenza dell'attrito e, sulla base di questo ragionamento dinamico, giunge vicino alla dottrina di Newton dell'inerzia rettilinea, anche se non lo asserisce esplicitamente nella forma più generale, come principio valido nel cosmo (in effetti Galileo non ha la nozione di *spazio assoluto* illimitato di Newton che è in contrasto con la fisica aristotelica oltre che con la fisica relativistica di oggi).

4 Le macchie solari e la refutazione del sistema di Tolomeo

Galileo non ottenne una prova sperimentale diretta della validità del sistema copernicano, come quelle date dall'esperimento di *Guglielmini* (1796) che facendo cadere un peso dalla Torre degli Asinelli osservò uno spostamento verso est di circa 17 millimetri dalla verticale, come previsto da Newton² o dal *pendolo di Foucault* (1851), nel quale si osserva ruotare il piano di oscillazione del pendolo (ad ogni latitudine eccetto che all'equatore), secondo il principio del giroscopio.

Tuttavia Galileo riteneva di esser giunto effettivamente ad una refutazione teorica del sistema tolemaico, *quando si consideri appunto il punto di vista della dinamica*, grazie alle osservazioni sulle macchie solari. Infatti la diversa inclinazione dei percorsi delle macchie solari sulla superficie solare (nelle linee da sud-ovest a nord-est nell'equinozio d'autunno, da nord-ovest a sud-est nell'equinozio di primavera ed orizzontale nei solstizi) è compatibile sia con la rotazione annuale del sole attorno alla terra (Tolomeo) sia con la rotazione annuale della terra attorno al sole (Copernico).

Invece il fatto che nell'ipotesi tolemaica la rotazione diurna del sole attorno alla terra non provochi una modificazione di quella inclinazione è spiegabile da un punto di vista *cinematico* con un movimento di oscillazione dell'asse di rotazione del sole come se fosse rigidamente collegato a quello della terra, ma questa ipotesi è assolutamente inspiegabile da un punto di vista *dinamico*.

È del resto chiaro che altri argomenti teorici a favore del sistema copernicano erano molto forti, come la scoperta telescopica dei satelliti di Giove che mostrava l'analogia tra la terra e gli altri pianeti e la semplicità del modello del sistema eliocentrico rispetto a quello geocentrico. Tuttavia pesava da un lato l'*interpretazione naturale* dell'esperienza quotidiana (cfr. la discussione di Feyerabend in *Contro il Metodo*) che percepisce la terra come statica e l'assenza di una corretta misurazione nel caso dell'esperimento della torre. È interessante notare che nell'*Almagestum Novum* (Bologna 1651) del gesuita Giovanni Battista Riccioli il sistema tolemaico era considerato sconfitto dalle osservazioni telescopiche, ma si adottava il sistema "ibrido" di Tycho Brahe (circa 1570) in cui i pianeti eccetto la terra ruotano attorno al sole, ma il sole ruota attorno alla terra.

²Nell'esperimento di Guglielmini in realtà entrano effetti dinamici molto più complessi dovuti alla rotazione della terra, come l'effetto Coriolis importante in meteorologia.