

*“Tutti quelli che hanno maggiore domestichezza con le cose della natura sono maggiormente capaci di postulare principi tali che possano abbracciare un gran numero di fenomeni; quelli invece che, fondandosi su un gran numero di ragionamenti astratti, non partono dall’osservazione dei fatti concreti, trovano minore difficoltà a pronunciarsi, perché hanno un ben limitato numero di cose dinanzi allo sguardo” (Aristotele, *Della generazione e della corruzione*, I, 2, 316, 5)*

Modelli, ipotesi, verità, certezza e il caso Galileo.

Una proposta didattica.

Alfio Briguglia

Il caso Galileo come opportunità didattica.

Per quanto si pensi di conoscere tutto riguardo alle vicende che condussero alla condanna di Galileo, per quanto si pensi di possedere la chiave di lettura degli eventi di quel secolo indeciso tra innovazione e conservazione, tra ferocia e diplomazia, insanguinato dalla Guerra dei Trent’anni, si ritorna ogni volta di nuovo al testo e al contesto galileiano con la voglia di capire di nuovo. Forse ha ragione Giorgio De Santillana quando scrive che “la vicenda galileiana non è solo il punto di partenza dei tempi moderni, essa in un certo senso li riassume”¹: politica, scienza, fede, filosofia, religione, tecnologia, stili di vita e di pensiero, vicende storiche e culturali, burocrazia e intrighi si intrecciano e si richiamano.

Il caso Galilei è ancora lungi dall’essere esaurito; lo dice la diversità delle interpretazioni che ne fanno un razionalista critico, alla Popper², o un opportunista, alla Feyerabend³, un empirista *ante litteram* che basa su esperimenti le sue argomentazioni o un pitagorico platonizzante che ricorre tutt’al più ad esperimenti mentali⁴, un martire dell’intolleranza o un provocatore impertinente, un rivoluzionario senza rimpianti o un conservatore legato alla tradizione più di quanto egli stesso non sospetti.

Paolo Rossi si è chiesto quanti Galilei esistano. C’è il Galileo dei manuali di scuola, fondatore del metodo sperimentale, quello che parte dai fatti per giungere alle teorie; c’è il Galileo peripatetico conservatore in dinamica, in notevole ritardo anche su alcuni predecessori; c’è il Galileo aristotelico, beneficiario della ricostruzione della teoria aristotelica della scienza intrapresa soprattutto a Padova; c’è il Galileo platonico autore di una rivoluzione scientifica portata avanti senza operazioni e senza strumenti col solo ausilio di una natura

¹ G.De Santillana, *Processo a Galileo*, Mondadori, 1960, p.29.

² K.Popper, *Scienza e filosofia*, Einaudi 1969 [ed.or. 1956]

³ P.K.Feyerabend, *Contro il metodo*, Feltrinelli prima ed. 1979 [ed. or. 1975]

⁴ Vedi le appendici annesse a L.Geymonat, *Vita di Galileo*, Einaudi 1962. L. Geymonat polemizza con A.Koyré che sostiene un Galileo platonizzante. Nel 1979 S.Drake, interpretando appunti manoscritti di Galileo che sembravano indecifrabili, in polemica con A.Koyré, ritenne di poter dimostrare che Galileo aveva effettivamente eseguito esperimenti sulla caduta dei gravi che lo portarono alla scoperta di alcune leggi della meccanica. Sulle orme di Drake ritorna E.Bellone nel fascicolo delle Scienze n.1 febbraio 1998 nel capitolo *Geometria e fisica*.

pensata come matematica; viceversa c'è il Galilei sperimentatore la cui unica assunzione filosofica è di credere che il mondo esista; c'è il Galileo divulgatore di una fede copernicana riaffermata a dispetto di ogni evidenza e dimostrazione, antimetodico, irriverente e provocatorio; c'è, infine, il Galileo persuasore occulto, che si serve di una raffinata arte retorica con argomenti di tipo psicologico, estetico, emotivo⁵.

Tutto questo mi convince che il processo a Galileo è una tappa obbligata per un insegnamento preoccupato di narrare la scienza come avventura dell'uomo⁶, come nodo di una rete di immagini del mondo e della società, di gesti e scelte morali, di interessi economici e politici, di opportunità e sfide tecnologiche.... rete che, fino all'avvento dei tempi cosiddetti postmoderni, è stata il *milieu* dell'uomo europeo. Nella vicenda di Galileo emerge l'intreccio inestricabile tra convinzioni personali⁷, osservazioni, argomentazioni, sperimentazioni e consenso della comunità scientifica. L'arte della retorica appare in Galileo apparentemente controproducente, sembra che susciti più nemici che amici. In realtà comincia ad assumere il suo ruolo di protagonista nella formazione del consenso, nasce il problema della divulgazione scientifica. Copernico nella lettera a Paolo III, dedicatoria del *De revolutionibus*, afferma di scrivere, in quanto matematico per i matematici: "*mathemata mathematicis scribuntur*". Galileo decide di chiamare a testimoni della bontà delle sue idee non le *auctoritates* e neanche gli apparati burocratici ma gli intelletti acuti e curiosi del suo tempo.

Per questo, per la prima volta nella storia dell'occidente, il conflitto, fino ad allora fisiologico, tra scienza e filosofia e tra scienza e religione diviene drammatico. Il filo del conflitto è retto dalla distinzione tra astronomia e fisica, tra ipotesi e verità. Copernico, Keplero, Galileo combattono perché la nuova visione del mondo non venga ridotta ad artificio ipotetico. Per far questo devono giungere ad un nuovo concetto di scienza. Copernico e Keplero pensano di potere dedurre il sistema del mondo da nuovi *principi* che salvino la filosofia e le apparenze, Galileo, invece, è convinto di possedere argomenti nuovi che mettono in scacco tutte le ipotesi diverse da quella copernicana e che mostrano la *certezza* di quest'ultima, anche senza una dimostrazione apodittica di *verità* (vedi sotto); è convinto che le sue argomentazioni possono costituire motivi dai quali dedurre l'impossibilità di pensare diversamente il sistema del mondo, concepito non solo come modello utile per fare calcoli ma come realtà. Tutti e tre sono convinti di stare parlando della realtà e non di finzioni utili. Il realismo di Galileo, senza sfumature anche se "nascosto dietro un dito" nel *Dialogo*, si scontrerà con l'alleanza, ricorrente nella storia, tra pensiero debole e assolutismo. Nel seicento l'arte di conciliare tutto, ricorrendo a verità doppie e multiple, è lo specchio ideologico di una situazione politica complessa e conflittuale; è l'antidoto che un potere ingessato, ma consapevole del nuovo, utilizza contro le proprie rigidità.

Lo scontro, che si consuma tra scienza e filosofia, cambierà la concezione della scienza e della filosofia. Da una scienza che punta decisamente al vero si passerà ad una scienza che si accontenta del possibile, del verosimile o, comunque, del certo. Per la filosofia inizierà una crisi d'identità che non si è ancora conclusa, ma che non la metterà fuori gioco. Anzi, sarà sempre più chiaro che la scelta non è: filosofia sì, filosofia no, ma tra una buona e una cattiva filosofia. Filosofi e scienziati continueranno a richiamarsi e censurarsi,

⁵ Sono, quindi, sette interpretazioni diverse! Vedi articolo apparso nell'inserito culturale del *Sole24ore* del 21 novembre 1999.

⁶ La *Introduction to Concept and Theories in Physical Science* di G.Holton del 1952 è diventata adesso, alla terza edizione, G.Holton and S.Brush, *Physics, the human adventure*, Rutgers University Press 2001.

⁷ La cosiddetta *filosofia personale*. Vedi G. Boniolo, *Metodo e rappresentazione del mondo*, Mondadori 1999, cap.2. Con altra impostazione vedi il bellissimo, ma poco letto, lavoro di M.Polanyi, *La conoscenza personale*, Rusconi 1990 [ed.or. 1958].

anche se cambiano modi e contenuti (possiamo citare molti esempi di tale conflitto: il problema mente-corpo, il tema della natura del tempo, determinismo e finalismo, riduzionismo e oismo, etc....)!

Secondo G.Morpurgo⁸ il seicento è l'età degli equivoci, tipici di un secolo barocco insofferente delle proprie rigidità, incerto tra passato e futuro, troppo scaltrito per non cogliere il nuovo, troppo invischiato in burocrazie diplomatiche per liberarsi del passato. Un'epoca che preferisce rifugiarsi nella filosofia della doppia verità anziché affrontare le nuove prospettive aperte dalla scienza nascente. Un'epoca consapevole dei rischi di novità affrettate, ma, al contempo, desiderosa di stupore⁹. Un'epoca, per tanti versi simile alla nostra età *postmoderna*. La crisi della verità del seicento non si è mai chiusa fino all'istituzione della ragione postmoderna!

Oggi si insiste sull'insegnare a costruire modelli. Insistenza corretta, se non viene accompagnata da una filosofia della costruzione di modelli come esclusiva preoccupazione scientifica. Mi lascia, quindi, molto perplesso una affermazione del tipo: “«physical understanding» is a complex set of *modeling skills*, that is, cognitive skills for making and using models»”¹⁰, se vuole essere definitoria dello scopo della fisica. La storia della rivoluzione astronomica è una storia di modelli, è un affannarsi su modelli funzionanti. Ma lo scontro drammatico non fu sul modello più efficiente, bensì tra chi credeva che i modelli parlassero dei cieli e chi credeva che fossero solo strumenti di calcolo. Mi pare una sfida didattica e culturale riuscire a far nascere nei nostri allievi abilità modellistiche senza dimenticare che, alla fine, stiamo cercando di capire come stanno le cose. Non è necessario professare un realismo ingenuo, che sostiene una teoria della verità come corrispondenza, per provare lo stupore di Einstein sul fatto che una conoscenza del mondo (qualunque cosa essa sia!) sia possibile. L'alternativa non è tra corrispondenza e costruttivismo; è possibile ancora una teoria della verità diversa¹¹!

Un'ultima considerazione! Col “caso Galileo” è messo in crisi il rapporto tra scienza e religione, quel rapporto che era sembrato fino a quel momento naturale e che per Copernico e Keplero era stato motore di ricerca. Oggi la religione ritorna sulla scena come attore sociale, antropologicamente irriducibile, come risorsa di motivazioni, come origine di quella tradizione democratica che vogliamo salvare, come *common sense*¹² che ha, però, con la visione scientifica rapporti difficili. Sappiamo come tra le aspirazioni di Galileo vi fosse salvare la sua Chiesa da un errore fatale! L'atto di abiura del 1632 fu un'umiliazione della ragione e della religione, una lacerazione che è difficile rimarginare. Ancora una volta il caso Galileo si presenta come un'opportunità didattica per rivisitare incontri e scontri tra due dimensioni della cultura.

⁸ G.Morpurgo, *I processi di Galileo e l'epistemologia*, Armando 1981.

⁹ È una notazione che ricorre spesso nelle interessanti ricostruzioni di P.Redondi in un noto libro che, tempo fa, suscitò interesse per la sua tesi originale sui motivi della condanna di Galileo. Si tratta di *Galileo eretico*, Einaudi 1983

¹⁰ D.Hestenes, *Modeling methodology for physics teachers*, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education (College Park, August 1996)

¹¹ Sul problema del realismo e della verità mi permetto di rimandare al mio *Il mondo perduto e ritrovato* in “Per la filosofia, filosofia e insegnamento”, Anno XI, n.32, settembre-ottobre 1994, numero speciale: *La riscoperta della natura..*

¹² Jurghen Habermas, *Fede e sapere* in *Micromega* dicembre 2001.

Proposte didattiche

Quanto fin ora scritto vuole giustificare la scelta didattica di strutturare nella classe terza di un liceo scientifico sperimentale (P.N.I.) un modulo sulla Rivoluzione Astronomica che abbia, oltre ai soliti obiettivi disciplinari, obiettivi pluridisciplinari.

Grazie anche alle abilità nell'uso di Excel e di Pascal, che gli alunni posseggono, ho cercato, insieme alla classe, di costruire modelli del moto dei pianeti e di discuterne la filosofia. (Vedi file Excel allegato.)

Il percorso progettato a inizio d'anno e le possibili diramazioni pluridisciplinari sono sintetizzate nella mappa allegata¹³. Qui mi limito alla presentazione delle tematiche relative a tre segmenti didattici: 1. la questione dell'*ipotetico*, 2. la costruzione di modelli del moto planetario, 3. un confronto tra Keplero e Galileo sul modo di fare scienza.

1. Vero, ipotetico, certo

Per il primo punto seguo la ricostruzione di G. Morpurgo nell'opera citata alla nota 8.

Secondo l'A. la condanna del 1632 è frutto di un equivoco maturato nel 1616. A Galileo, nel 1616, fu intimato in modo irregolare di non *tenere* "*nec docere quovis modo*" la dottrina copernicana. Ma Bellarmino non ne terrà conto in seguito. Padre Foscarini, invece, fu condannato perché voleva dimostrare che la teoria eliocentrica non contraddiceva le Scritture. Su Galileo si glissò, nonostante le lettere a Castelli e a Dini contenessero le stesse argomentazioni.

Perché questa differenza di trattamento? Forse perché erano lettere manoscritte e non pubblicazioni a stampa. Il motivo è, però, più profondo.

Secondo Morpurgo l'autonomia della scienza nasce in Galileo sotto il segno dell'equivoco, un doppio gioco tra le sue tendenze razionalistiche e il nominalismo della Congregazione dell'Indice. Nei protagonisti atteggiamenti, parole sono costantemente duplici. Sia Bellarmino che Galileo giocano sull'equivoco.

"Equivoco", però, non è da intendersi in senso negativo; come già detto, è l'antidoto che una società insofferente alla propria rigidità oppone ai pericoli della intolleranza, lì dove "prematuri disgeli e velleitarie aperture" sembrano presagire nuovi contesti. Dove c'è solo ignoranza, ottusità, fanatismo non vi sarà nessun equivoco". Qual è la natura di questo equivoco? Al di là della complessa situazione, fatta di aperture e chiusure della diplomazia romana, secondo Morpurgo, l'equivoco è fondamentalmente di tipo epistemologico.

"In realtà appannava la vista a entrambi [Bellarmino e Galilei] l'incerto uso del concetto di *ipotetico*, del quale nessuna delle parti si curava di precisare il significato e quindi la portata. Questo difetto derivava dal confondere in un'unica posizione le dottrine che andavano sotto il nome di Aristotele e di Tolomeo, divergenti e sotto l'aspetto epistemologico addirittura opposte, tanto che avevano costituito i due poli di un'interminabile polemica tramandata dagli Alessandrini agli Arabi e dagli Arabi agli Scolastici e venuta a spegnersi nel Rinascimento. Galileo e i contemporanei parlano indifferentemente di astronomia peripatetica o tolemaica come di una stessa cosa. Non tenendo conto delle differenze, accadeva così alle due parti di combattere come aristoteliche posizioni tolemaiche o di sostenere posizioni tolemaiche in nome di Aristotele: posizioni che in realtà non erano né di Tolomeo né di Aristotele, perché gli epigoni e i commentatori le avevano portate ad estremi sconosciuti ai ma-

¹³ Il modulo proposto ad inizio d'anno in Consiglio di Classe di una terza liceo scientifico, richiedeva la collaborazione con i docenti di filosofia, storia, italiano e religione. Altre competenze sono state reperite nel Liceo di appartenenza, grazie alla disponibilità di altri colleghi (ad esempio: la musica al tempo di Keplero e Galileo). Naturalmente, dopo un mese di agitazioni studentesche, ho dovuto riprogrammare gli interventi didattici rinunciando ad molti segmenti.

estri. A prescindere dalle differenze di struttura che Tolomeo aveva introdotto nel disegno omocentrico del cielo (gli eccentrici e gli epicicli, movimenti non uniformi intorno a centri che non sono il centro dell'universo), quello che qui ci interessa è la diversa posizione epistemologica che i commentatori davano alle due dottrine. E' dalle loro controversie che è nata quella distinzione *realiter-hypothetice* che abbiamo incontrato all'epoca di Galileo, e che, adottata come un criterio facile e semplice (ancora oggi sembra tale, a prima vista) per dirimere la questione creata dal nuovo spirito scientifico, si rivelò invece così complessa da renderla sempre più inestricabile e penosa” (p.40-41).

L'A. segue le vicende del concetto di ipotetico da Aristotele a Tolomeo, ai commentatori neoplatonici: Simplicio, Proclo, Giovanni Filopono, a Tommaso D'Aquino. L'ipotetico in astronomia nasce per costituire una *cintura protettiva* attorno alla fisica di Aristotele. Mentre, però, Tolomeo sembra considerare reali epicicli e deferenti, i commentatori neoplatonici inclinano per un'equivalenza tra ipotetico e fittizio. Per Tommaso D'Aquino ipotetico non equivale a fittizio, ma a ciò cui si può accedere solo per via induttiva e che manca di una dimostrazione apodittica. Bellarmino adotta il punto di vista tomista: se ci fosse stata una vera prova fisica e non matematica si sarebbe dovuto procedere a reinterpretare le Scritture. Cosa voleva dire “fisica”? Non certo sperimentale! Vera dimostrazione sarebbe stata una dimostrazione e partire dai principi; quei principi che cercavano di individuare Copernico e Keplero. Ma il Bellarmino riteneva poco credibile, dubbia, la possibilità di una dimostrazione del sistema copernicano, ossia di una sua deduzione rigorosa da assiomi fisici. Di assiomi fisici non conosceva che quelli aristotelici.

In che consiste, allora, l'equivoco? Nell'imprecisione con cui viene formulato il concetto di *ipotetico*, nell'uso fluttuante del termine. Il Bellarmino tomista lo interpretava nel modo veduto; poco dopo la Congregazione dell'Indice lo interpreterà nell'altro modo, nel senso di fittizio. E anche il cardinale umanista Maffeo Barberini, divenuto Papa Urbano VIII, benché tollerante per gusto e per calcolo, considererà le dimostrazioni copernicane non più possibili ma impossibili. In questo modo il ragionamento ipotetico trapasserà, in pratica, da ragionamento dialettico (probabile, contingente) in ragionamento nominalistico (o astratto), senza mai una chiara definizione” (p.57).

“Gli ecclesiastici, nel considerare le «*suppositiones*» passarono sempre più dal ritenerle verità possibili al ritenerle astrazioni impossibili, sebbene utili; Galileo al contrario, costretto dai decreti a riconoscere i suoi argomenti copernicani come pure dimostrazioni accidentali e non necessariamente vere, si indusse proprio per questo a precisare sempre con maggiore impegno il valore metodico di dimostrazioni ottenute per integrazione di prove possibili, e non per apodissi.” (p.60).

“Il punto della questione [...] era se, più in generale, valore assoluto si potesse attribuire a dimostrazioni sperimentali come quelle della fisica e dell'astronomia, condotte secondo una logica che procedeva all'inverso della logica deduttiva, dalle dimostrazioni ai principi, dagli accidenti alle sostanze, dagli *effectus* alle *radices*. Nasceva un nuovo problema: si poteva dare a quelle ipotesi ricavate dall'analisi dell'esperienza un significato non soltanto *convenzionale*, ma *problematico*? Questo sarà il quesito posto e perciò anche confusamente risolto da Galileo. Nel *Dialogo* emerge un modo nuovo di cercare la verità: dimostrando l'insostenibilità delle posizioni avverse e la sostenibilità della propria posizione.

E', per la prima volta, un concetto della scienza né dogmatico né nominalistico. La prova negativa, la refutazione, è apodittica; la prova positiva è ipotetica, probabile, possibile: ed è questo il limite massimo di verità. Galileo finalmente rinuncia a confutare l'argomento dell'avversario (che è inconfutabile), ma gliene contrappone un altro: oppone ad una

concezione un'altra concezione della scienza, a un criterio un altro criterio della verità. I concetti di probabilità e di esperienza entrano a far parte del concetto del vero. Con queste parole per la prima volta è determinato l'ufficio dell'ipotesi nelle scienze, ed è compendiata la natura del pensiero moderno" (p.64). La scienza rinuncia alla verità per andare in cerca di motivi di certezza!

Il Testo di Morpurgo è stata per me una base di lavoro. I testi da proporre agli alunni potrebbero essere: l'introduzione di Osiander al *De revolutionibus* messa a confronto con la prefazione di Copernico a Paolo III e brani del primo libro dai quali si evince, invece, la convinzione realista di Copernico¹⁴; brani del *Mysterium cosmographicum* di Keplero dai quali si evince la sua convinzione di stare costruendo una vera e propria *fisica* e non solo di proporre nuovi metodi di calcolo; brani della terza giornata del *Dialogo* nei quali la convinzione di Galileo di stare costruendo ragioni inoppugnabili, anche se non apodittiche dimostrazioni, è a mala pena dissimulata da affermazioni strategiche di prudenza epistemologica. Naturalmente da leggere anche la conclusione agnostica del *Dialogo*, nella quale Semplicio espone una "saldissima dottrina" attribuita ad Urbano VIII, che dovrebbe ridurre a puro gioco dialettico le argomentazioni di Salviati, ma che finisce per metter in ridicolo le posizioni dal Barberini. L'impressione di essere stato messo alla berlina sarà uno dei motivi che condussero alla condanna del 1632, consumando nel dramma il fragile compromesso del 1616.

2. Modellizzare

Questo segmento si riferisce ad una fase operativa che incontra sempre alto gradimento da parte degli alunni.

Esistono diverse prodotti di simulazione del sistema solare, alcuni anche in distribuzione con libri di testo. Mi è sempre sembrato, però, che la cosa migliore fosse, ove possibile, di costruire insieme agli alunni piccoli programmi di simulazione meno appariscenti, ma più flessibili e parametrizzabili a piacere. E' possibile costruire con Excel in modo semplice, ma efficace, animazioni. Basta attivare il modo iterativo e riferire un grafico a dispersione, con scale fissate, a celle che vengono aggiornate ad ogni passo di calcolo, in riferimento a parametri che si autoincrementano. Nel caso di simulazione di moti il parametro di riferimento è il parametro tempo. Costruendo una macro in Visual Basic è possibile lasciare traccia delle posizioni.

L'attività di simulazione segue una unità dedicata alla ispezione dei problemi: fenomenologia del moto del sole, del moto della luna e dei pianeti, individuazione della fascia equinoziale con attività di osservazione ad occhio nudo del cielo notturno¹⁵. Poiché l'astronomia antica è tutta basata sulla misurazione di angoli, è bene che gli studenti si esercitino nella misura di angoli di parallasse e di distanze tramite triangolazione e si rendano conto della impossibilità di evitare errori. In questo momento potrebbe essere utile leggere alcuni brani della terza giornata del *Dialogo*, a proposito della posizione della stella nuova del 1572 in Cassiopea e della difficoltà di collocarla correttamente. Salviati mostra in quella occasione come l'errore aumenti quando l'angolo di parallasse diventa molto piccolo.

Particolare enfasi viene posta sul moto retrogrado dei pianeti. Segue lo studio dei modelli storici: dalle sfere di Eudosso, agli epicicli eccentrici ed equanti di Tolomeo, allo schema Copernicano. Un testo didattico di riferimento può essere ancora la proposta del

¹⁴ Testi tratti dalla traduzione (con testo a fronte) del *Liber primus* dell'opera di Copernico a cura di A.Koyré, Einaudi 1975. Per i testi kepleriani vedi A.Koyré, *La rivoluzione astronomica*, Feltrinelli 1966.

¹⁵ Le osservazioni sono state effettuate con alcuni gruppi locali di astrofili.

PPC. Si mettono in evidenza l'importanza storica del moto circolare uniforme e l'impossibilità di essergli fedeli per *salvare i fenomeni*. Il confronto tra pregi e difetti delle proposte di Tolomeo e di Copernico e l'analisi dei punti di conflitto con la *fisica* di Aristotele serve a sfatare molti miti che i ragazzi incontrano nei libri di testo e ad acquistare sensibilità e cautela nei confronti del cammino storico delle idee.

Parallelamente vengono messi a punto tutti gli strumenti goniometrici necessari.

La costruzione di modelli prevede una fase di addestramento preliminare sulla composizione di moti circolari uniformi. E' una occasione per motivare lo studio di tanta goniometria¹⁶.

Il primo modello, quasi da esercizio, è un modello planetario concentrico copernicano. E' banale, ma l'impossibilità di farlo stare tutto dentro un unico grafico animato fa prendere consapevolezza della distribuzione delle distanze dei pianeti dal Sole!

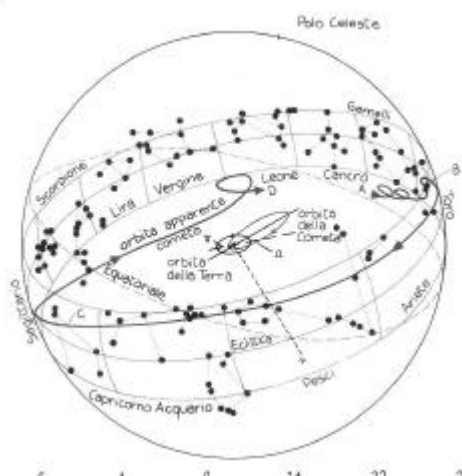
In una seconda fase gli alunni sono invitati a provare cosa succede componendo moti armonici di ampiezza e frequenza diversa, oppure componendo moti circolari con moti circolari al modo di Tolomeo. Ho preparato una cartella Excel nella quale è possibile selezionare ellissi, cerchi eccentrici, moti lineari e chiedere poi ai ragazzi di riprodurli scegliendo opportunamente raggio e periodo dell'epiciclo.

Si passa poi al moto retrogrado.

Ho preferito ricostruire il modello tolemaico dopo quello copernicano perché, per noi, l'invenzione degli epicicli e il loro dimensionamento per riprodurre il moto retrogrado rimane un miracolo di inventiva, che richiede un lungo discorso così come, invece, richiede un miracolo di intuizione per Copernico spiegare il moto retrogrado cambiando di sito l'osservatore. E' facile passare da SoleMarte = SoleTerra + TerraMarte a TerraMarte = TerraSole + SoleMarte. Questo equivale e porre su un deferente, che ha come raggio SM e come periodo il periodo di Marte rispetto al Sole, un epiciclo che ha come raggio TS e come periodo il periodo di rivoluzione della terra rispetto al sole¹⁷.

Animando contemporaneamente i due grafici si può vedere come il moto retrogrado, che avviene sempre in congiunzione, nel sistema copernicano è solo un effetto ottico.

Nel grafico copernicano Marte è stato proiettato sul cielo delle stelle fisse lungo la direzione Terra Marte.



In un grafico in due dimensioni non è possibile capire perché i moti retrogradi non si presentano sempre allo stesso modo, occorre tener conto dell'inclinazione delle orbite della terra e di Marte sul piano dell'eclittica. Ho cercato allora di costruire in Pascal una simulazione 3D che riproducesse una situazione come quella illustrata dal disegno contenuto nel PPC vol 1 cap.6 accanto riprodotta (la figura si riferisce al percorso apparente della cometa di Halley).

Si allega il foglio Excel Tolomeo e Copernico.xls e la simulazione in Pascal 3D.exe¹⁸.

¹⁶ Sulla trigonometria di Tolomeo vedi O. Neugebauer, *Le scienze esatte nell'antichità*, Feltrinelli 1974 [ed. or. 1957], in particolare le appendici prima e seconda.

¹⁷ Vedi grafico vettoriale nel foglio Excel allegato

¹⁸ Faccio presente che per l'esecuzione occorre la presenza nella directory C:\tp\tpu dei moduli grafici e che spesso il lancio di un programma in Turbo Pascal con Pentium II e III da errore di divisione per zero. Si risolve il problema scaricando dalla rete allegato il file t7tplfix che contiene il patch da utilizzare con le istruzioni.

3. Keplero e Galileo

Infine!

E' interessante mettere a confronto i modi diversi di procedere di Galileo e di Keplero. A questo proposito mi pare istruttivo ripercorrere l'*incidente* sulla spiegazione delle maree. Quella che ne da Galileo è una splendida illustrazione di come sia difficile abituarsi alla naturalità del moto uniforme. E' utile, con gli alunni, leggere brani della quarta giornata del *Dialogo* relativi alle cause diurne dei moti mareali e, insieme a loro, cercare di capire dove sta l'errore. E' possibile riprendere l'argomento in seguito per darne la spiegazione newtoniana¹⁹. La spiegazione galileiana delle maree permette di ritornare sul ruolo della filosofia nella ricerca scientifica. Salviati si impegna a ricercare la causa necessaria degli effetti di marea: periodo diurno (di sei ore in sei ore), periodo mestruo, periodo annuo. Ma, paradossalmente, rifiuta l'evidenza di una dipendenza dalla luna del periodo diurno, mettendo in ridicolo le proposte di Simplicio. Simplicio riporta alcune teorie sulle maree: quella attribuita ad Aristotele basata sulla diversa profondità dei mari, quelle che si rifanno alla influenza della luna, quella che invoca il riscaldamento dei mari... L'intervento di Simplicio provoca l'irritazione di Sagredo che dichiara inutile consumare il tempo nel discutere di simili leggerezze. Salviati, "un poco più flemmatico", spende "non pur cinquanta parole" per confutare tali teorie. Perché tanta avversione da parte di Galileo? E' il sigillo della sua filosofia scientifica! La parola "influsso" sa di miracoloso o di nominalistico. Galileo mette, infatti, in bocca a Simplicio un atto di resa epistemica: forse la causa vera non è stata ancora trovata perché la sua verità splendebbe tra le tenebre delle ipotesi false; se son tutte favole le ragioni prodotte lo è anche il moto della terra; e se nessuno riesce a porgere ragioni "più conformi alle cose naturali" allora non è ripugnante credere che il flusso e reflusso è un effetto "sopra naturale, e per ciò miracoloso e imperscrutabile da gli intelletti umani, come infiniti altri ce ne sono, dipendenti immediatamente dalla mano onnipotente di Dio". Quello che Galileo vuole evitare è proprio il ricorso al miracolo o alle essenze, il pensare di acciuffare la realtà con le parole. Nella giornata precedente, discutendo di magnetismo, Simplicio aveva introdotto due termini sospetti "simpatia" e "ripugnanza" provocando immediatamente l'ironia di Sagredo: "E così con questi due nomi si vengono a render ragioni di un numero grande di accidenti ed effetti, che noi ve ggiamo, non senza maraviglia, prodursi in natura. Ma questo modo di filosofare mi par che abbia gran simpatia con certa maniera di dipignere che aveva un amico mio, il quale sopra la tela scriveva con gesso: «Qui voglio che sia il fonte, con Diana e sue ninfe; qua, alcuni levrieri; in questo canto voglio che sia un cacciatore, con testa di cervio; il resto, campagna, bosco e collinette»; il rimanente poi lasciava con colori figurare al pittore: e così si persuadeva d'aver egli stesso dipinto il caso d'Atteone, non ci avendo messo di suo altro che i nomi".

Eppure, Galileo si era prima impegnato nella discussione sulla *influenza* tra magneti e ferro e tra ferro e ferro! Il suo modo di procedere, però, non ha niente di essenzialistico; è sintetizzato da Salviati proprio in quel contesto: "Nell'investigar le ragioni delle conclusioni a noi ignote, bisogna aver ventura d'indirizzar da principio il discorso verso la strada del vero; per la quale quando altri si incammina, agevolmente accade che s'incontrino altre ed altre proposizioni conosciute per vere, o per discorsi o per esperienze, dalla certezza delle quali la verità della nostra acquisti forza ed evidenza, come appunto è accaduto a me del

¹⁹ Si può utilizzare il testo di Frova-Marenzana *Una geniale teoria errata* in A.Frova, M.Marenzana, *Parola di Galileo*, BUR 1998, anche se non mi pare che la causa dell'errore di Galileo sia quella proposta da Frova.

presente problema: del quale volendo io con qualche altro riscontro assicurarmi se la ragione da me investigata fusse vera, cioè che la sustanza della calamita fusse veramente assai men continuata che quella del ferro o dell'acciaio, feci, da quei maestri che lavorano nella Galleria del Gran Duca mio Signore, spianare una faccia di quel medesimo pezzo di calamita che già fu vostro, e poi quanto più fu possibile pulire e lustrare; dove con mio contento toccai con mano quel ch'io cercavo. Imperocché si scopersero molte macchie di color diverso dal resto, ma splendide e lustre quanto qualsivoglia più densa pietra dura; etc..”²⁰.

Galileo teme i discorsi che non terminano in osservazioni, esperienze, certe dimostrazioni. Diffida di chi diffida delle sottigliezze matematiche:

“*SIMPL.* Queste (se io devo dire il parer mio con libertà) mi paiono di quelle sottigliezze geometriche, le quali Aristotile riprende in Platone, mentre l'accusa che per troppo studio della geometria si scostava dal saldo filosofare: ed io ho conosciuti e sentiti grandissimi filosofi peripatetici sconsigliar suoi discepoli dallo studio delle matematiche, come quelle che rendono l'intelletto cavilloso ed inabile al ben filosofare; istituto diametralmente contra a quello di Platone, che non ammetteva alla filosofia se non chi prima fusse impossessato della geometria.

SAL. Applaudo al consiglio di questi vostri Peripatetici, di distorre i loro scolari dallo studio della geometria, perché non ci è arte alcuna più accomodata per scoprir le fallacie loro; ma vedete quanto cotesti sien differenti da i filosofi matematici, li quali assai più volentieri trattano con quelli che ben son informati della comune filosofia peripatetica, che con quelli che mancano di tal notizia, li quali, per tal mancamento, non posson far parallelo tra dottrina e dottrina. Ma posto questo da banda, ditemi, di grazia, quali stravaganze o troppo sforzate sottigliezze vi rendon meno applausibile questa Copernicana costituzione.” (Terza giornata).

La filosofia scientifica di Galileo non è l'unica possibile e non sempre è creativa la diffidenza nei confronti delle suggestioni filosofiche!

Diversa è la temperie spirituale nella quale Keplero, partendo da forti e radicate convinzioni filosofiche e teologiche, andrà, con ascetica dedizione, alla ricerca di una conferma che venga dai numeri, dalle forme geometriche, dalle osservazioni astronomiche. Keplero, il più impregnato di filosofia e di teologia tra gli autori della rivoluzione astronomica, sarà proprio colui che rigirerà il cosmo come un guanto, fedele alle necessità dei dati.

Galileo rifiuta qualunque ipotesi filosofica; ma questo eccesso di prudenza lo porterà a negare l'influsso della luna e del sole sul mare. Perché la parola influsso, fuori da una spiegazione meccanica, gli sembra sospetta o, addirittura, ridicola. Ma senza *filosofia*, cioè *fisica*, gli è impossibile “dimostrare” la realtà del sistema copernicano. Keplero è ben consapevole di questo! E' interessante il modo in cui risponde a chi gli fa notare che, se da premesse false (il sistema tolemaico) è possibile trarre conseguenze vere (ciò che appare) lo stesso può avvenire per il sistema Copernicano, che non può giustificarsi in base alle apparenze (cinematiche). Keplero risponde che i sistemi in questione sono diversi ma non contrari, sono diversi nella specie, ma non nel genere. Il genere riguarda il moto relativo, la specie il punto di vista: terra come centro oppure sole come centro. Ma per giustificare il sistema copernicano occorre passare a considerazioni fisiche, cioè filosofiche. L'errore di Galileo sarà di cercare una dimostrazione del moto della terra solo in base a considerazioni di tipo meccanico, per quanto raffinate. Nella quarta giornata del *Dialogo dei massimi sistemi* finisce per rinnegare quanto argomentato nella prima giornata sulla irrilevanza del moto, ridicolizzando i tentativi di Simplicio di chiamare in causa influssi lunari e solari.

²⁰ Questo testo va letto in riferimento alle questioni affrontate nel punto 1: dalla verità alla certezza.

Keplero, spirito più filosofico di Galilei, sembra più avvertito. Leggiamo una bella pagina del *Mysterium Cosmographicum* nel commento di A.Koyré.

Se Galileo, prudentemente si attiene al *quomodo*, Keplero cerca il *quia*. Nel *Mysterium* spiega: “Qualcuno mi potrebbe obiettare che tutto ciò si può dire ancor oggi, o almeno si poteva dire delle tavole e delle ipotesi degli antichi, e cioè che si accordano con i fenomeni; e tuttavia Copernico le ha respinte come false. E che perciò si potrebbe rispondere nello stesso modo a Copernico - ossia che, pur rendendo egli perfettamente ragione delle apparenze, tuttavia la sua ipotesi è falsa. Rispondo innanzitutto che le ipotesi degli antichi non spiegano in alcun modo alcune questioni molto importanti. Così, ad esempio, ignorano le cause del numero, della quantità e del tempo delle retrogradazioni [dei pianeti], né spiegano perché i Pianeti si accordino così bene con il luogo e il moto medio del Sole. Per tutte queste cose, di cui Copernico presenta un ordine mirabile, ci sarà necessariamente una causa” E ancora: “Tre soprattutto erano le cose di cui cercavo instancabilmente le cause, perché fossero così e non altrimenti, ossia il numero, le dimensioni e i moti degli orbi. Ad osar ciò mi convinse quella mirabile corrispondenza delle cose immobili, e cioè il Sole, le fisse e lo spazio intermedio, con Dio Padre, il Figlio e lo Spirito Santo: questa analogia svilupperò più ampiamente nella mia Cosmografia. Tale essendo la situazione per quanto riguarda le cose immobili, non dubitavo che un quadro analogo si sarebbe presentato anche per quelle mobili.”.

Innamorato del sole e della luce, delle proporzioni numeriche dei motivi geometrici va alla caccia di una deduzione del cosmo da nuovi e più saldi principi. Non propone ipotesi, cerca la verità! Un atteggiamento così *imprudente* avrebbe potuto consegnarlo alla lista dei neoplatonici rinascimentali, interessanti per comprendere un'epoca, ma nulla più. Keplero è, però, uno scienziato. Qualunque convinzione deve essere confrontata con i dati (fosse pure otto secondi d'arco!), con i vincoli geometrici, con gli impossibili fisici. Il sole non può che stare al centro del mondo, il moto dei pianeti non può che dipendere dai suoi influssi: eccentrici epicicli e deferenti non possono avere realtà fisica. Pur di mantenere il sole al centro Keplero rinuncia ai moti uniformi e ai moti circolari, ricalcola l'orbita della Terra e quella di Marte. La storia della scoperta dell'orbita ellittica raccontata da lui stesso rimane un capolavoro di passione e di tenacia, di smarrimento e di inventiva.

Lo scienziato e il poeta possono entrambi innamorarsi della bellezza di una visione del mondo; ma, mentre al poeta basta la bellezza e le ragioni del cuore, lo scienziato chiede alla durezza dei dati e alla inclemenza delle cifre decimali una conferma.

Per me è sempre stato paradigmatico il seguente brano di Keplero. Catturato dalle simmetrie, dall'aritmetica, dalle necessità geometriche, dalla centralità del sole, Keplero deve sempre confrontare le proprie convinzioni filosofiche con la fedeltà alle osservazioni di Tycho Brahe. Keplero sente gratitudine e responsabilità verso il maestro Tycho per la determinazione con la quale ha strappato al cielo qualche decimale in più: “Poiché la bontà divina ci ha dato in Tycho Brahe un diligentissimo osservatore, e poiché i suoi dati ci indicano che nei calcoli vi è un errore di otto minuti, dobbiamo riconoscere e onorare con gratitudine questo favore divino [...]. Non potendo essere ignorati, questi otto minuti hanno, da soli, aperto la strada al cambiamento dell'intera astronomia: su essi è costruita la maggior parte di questo lavoro”.

Questo per sottolineare che la soluzione del conflitto tra le due culture non si risolve né con censure reciproche, né con atteggiamenti corporativi (più ore di insegnamento e me, meno a te!), ma nel percorrere fino in fondo tutte le strade.