

COMPITO PER CASA per il 14 GENNAIO 2014

Si fa riferimento alle figure del libro di Thomas Kuhn La rivoluzione copernicana disponibili nella pagina web del corso.

Domanda 1. La durata dell'anno solare, il periodo tra un equinozio di primavera ed il successivo, è di 365 giorni, 5 ore, 48' e 46". Quali riforme del calendario vennero introdotte da Giulio Cesare 45 a.C. e dal papa Gregorio XIII nel 1582 per approssimare l'anno astronomico?

Risposta: La durata dell'anno è di 365 giorni, 5 ore, 48' e 46", cioè sei ore meno 11' + 14" in eccesso di 365 giorni. Con la riforma giuliana si aggiunse un anno bisestile di 366 giorni ogni 4 anni. Ma in 100 anni il difetto di 11' + 14" per anno ammonta a circa 18 ore ($1123 : 60 \approx 18$) cioè circa un giorno meno sei ore. All'epoca di Gregorio XIII la discrepanza ammontava a 10 giorni in più rispetto all'anno solare. Con la riforma gregoriana, oltre a cancellare i 10 giorni in eccesso venne tolto un anno bisestile ogni secolo, mantenendo l'anno bisestile ogni 4 secoli. Dunque il 1600, e il 2000 furono anni bisestili, ma non il 1700, il 1800 e il 1900. (Sabrina Montresor, Silvia Frunollo e Alessia Sandri).

Domanda 2. (i) Come potevano gli antichi riconoscere gli equinozi guardando l'ombra dello gnomone (*cfr. figure 1 e 3*)? (ii) Come si definisce l'eclittica nel modello dell'universo a due sfere (*cfr. figure 8 e 9*)?

Risposta: (i) Negli equinozi l'ombra dello gnomone è rettilinea. (ii) L'eclittica è il cerchio che il sole descrive in un anno nel moto da ovest verso est rispetto alla sfera delle stelle fisse.

Fatto: *Il periodo dall'equinozio di primavera all'equinozio d'autunno è di sei giorni più lungo di quello dall'equinozio di autunno all'equinozio di primavera.*

Domanda 3. Come veniva spiegato questo fatto nell'astronomia tolemaica (*cfr. figure 22, 24 e 25*)?

Risposta: Nel modello *epiciclo minore - deferente*, in un anno l'epiciclo compie una rotazione in senso orario e il deferente una rotazione in senso antiorario, dunque la traiettoria del sole non è più su un cerchio concentrico alla terra e il percorso tra equinozio primaverile ed equinozio autunnale richiede più tempo di quello tra equinozio autunnale ed equinozio primaverile (*figura 22*). Lo stesso fenomeno si spiega ammettendo che il centro di rotazione del sole sia spostato rispetto alla terra, supponendo che sia collocato su un deferente che ruota in senso antiorario come la sfera su cui ruota il sole (*figura 24*). Un'altra spiegazione utilizzava il concetto di equante: il sole ruota attorno alla terra, ma la velocità di rotazione è determinata dalla variazione di un angolo eccentrico rispetto alla terra (*figura 25*).

Domanda 4. Perché la spiegazione di questo fatto costituisce un tema importante nel dibattito tra realismo scientifico ("pitagorismo") e strumentalismo ("salvare le apparenze")? (*Si veda il libro di Losee, Capitolo 2.*)

Risposta: Tutti questi modelli geometrici risolvono il problema di prevedere il moto del sole e non vi era un criterio per sceglierne uno come corrispondente alla realtà. Dunque i modelli astronomici venivano considerati da alcuni pensatori come puri modelli matematici il cui compito era di spiegare e prevedere i fatti ("salvare le apparenze") ma non di determinare la realtà fisica.

Domanda 5. (i) Come spiega Copernico questo fatto? (ii) e come lo spiega Keplero? (Nota: vedi figura 40 e ricorda che il punto di maggior vicinanza della terra dal sole [perigeo] è in gennaio.)

Risposta: (i) Per Copernico le orbite dei pianeti sono circolari dunque egli ha bisogno di utilizzare il modello dei deferenti (ma rifiuta gli equanti). (ii) Per la prima legge di Keplero l'orbita dei pianeti è ellittica con il sole in uno dei fuochi. Per la seconda legge i segmenti che uniscono la terra al centro del sole coprono aree uguali in tempi uguali. In inverno la distanza della terra dal sole è minore, quindi la velocità del moto della terra è maggiore che d'estate.

Domanda 6. (i) Che cos'è il moto di retrocessione dei pianeti (figura 15) e di quali pianeti era osservato il moto di retrocessione nell'antichità? Perché la spiegazione di Eudosso (IV secolo a.C.) che usa cerchi omocentrici (figura 17) venne scartata in favore del modello epiciclo-deferente (figure 19, 20 e 21)?

Risposta: (i) I pianeti compiono ordinariamente un moto da ovest verso est rispetto alla sfera delle stelle, ma in alcuni periodi la direzione del moto si inverte. Nell'antichità era osservato il moto di retrocessione dei pianeti inferiori Mercurio, Venere e dei pianeti superiori, Marte, Giove e Saturno. (ii) Nel periodo di retrocessione i pianeti brillano maggiormente e da ciò si conclude che sono più vicini alla terra. Questo viene predetto nel modello epiciclo-deferente (figure 19, 20, 21) ma non nel modello delle sfere omocentriche.

Domanda 7. La teoria copernicana fornisce una spiegazione migliore del moto dei pianeti di quella tolemaica: sulla base di quali criteri epistemologici questo giudizio è giustificato?

Risposta: Nel sistema tolemaico il moto dei pianeti veniva predetto accuratamente ma era necessario introdurre un sistema particolare di epicicli-deferenti (o di eccentrici) per ciascun pianeta. Nel modello copernicano il moto della terra spiega da solo il fenomeno della retrocessione di tutti i pianeti. Dunque il modello copernicano è superiore per *semplicità concettuale*, perché unifica la spiegazione di fenomeni diversi, evitando costruzioni *ad hoc* per ciascun pianeta. Si tratta dunque di un criterio estetico di *eleganza concettuale*, che viene in parte compromesso dalla necessità di mantenere il modello epiciclo-deferente per spiegare il moto ellittico dei pianeti attorno al sole.

Domanda 8. I critici del sistema copernicano notavano che se la terra ruota attorno al sole allora una stella deve essere vista ad angoli diversi in intervalli di sei mesi (*effetto di parallasse*, figura 30). Questo effetto non si nota ad occhio nudo ma sarà in effetti osservato col telescopio nel 1838.

(i) Quale conclusione trae Copernico per rispondere a questa obiezione?

(ii) Questa conclusione era difficile da accettare dagli astronomi ma anche dai filosofi, teologi ed ecclesiasti contemporanei ma fornirà ispirazione per una tesi sostenuta con entusiasmo da Giordano Bruno. Qual è la tesi di Giordano Bruno?

Risposta: (i) Il fatto che la parallasse annuale non si noti ad occhio nudo si può spiegare ammettendo che la sfera delle stelle sia molto più lontana dalla terra di quanto gli astronomi antichi avevano stimato. (ii) La tesi sostenuta da Giordano Bruno è che l'universo sia infinito. Per questa ed altre dottrine fu condannato al rogo nel 1600.

Domanda 9. I critici della dottrina copernicana obiettavano che se la terra ruota su se stessa da ovest verso est, un peso lasciato cadere da una torre deve cadere ad ovest della base della torre, in quanto questa compie un percorso verso est nel periodo di caduta del grave. Ma questo spostamento non si osserva, secondo quei critici. A questa obiezione nel *Dialoghi sopra i massimi sistemi del mondo* Galileo risponde che il moto è relativo ad un sistema di riferimento. Tuttavia nel 1791 Giovanni Battista Guglielmini fece cadere un peso dalla Torre degli Asinelli a Bologna, una torre inclinata alta circa 100 metri, ed osservò che il peso cadeva a 17 millimetri dalla verticale come predetto dalla meccanica newtoniana.

(i) In quale direzione si osserva lo spostamento dalla verticale e come si spiega il fatto? (ii) Perché l'obiezione anti-copernicana poteva sembrare plausibile agli inizi del XVII secolo?

Risposta: (i) Lo spostamento dalla verticale è in direzione est. Il momento angolare dovuto alla rotazione della terra verso est è maggiore nella cima che alla base della torre e si mantiene nel grave in caduta secondo il principio di inerzia come enunciato nella prima legge di Newton. (ii) Nella fisica aristotelica, paradigma dominante all'inizio del XVII secolo, non vale il principio di inerzia, è la permanenza del moto, non l'accelerazione richiede una causa. Galileo aveva intuito il principio d'inerzia, ma nei *Dialoghi* il suo obiettivo è convincere i lettori a sospendere il giudizio e dubitare del senso comune che tende ad essere pro-tolomaico in astronomia e pro-aristotelico in fisica.

Domanda 10. Galileo suggerisce il principio d'inerzia in relazione alle sue osservazioni sul moto di una sfera su un piano liscio inclinato. Galileo sostiene che sulla sfera in discesa libera si esercita una forza che ne accelera il moto e che la stessa forza ne riduce il moto quando la sfera è spinta in salita. Dunque se la sfera è in movimento su una superficie piana, continuerà indefinitamente il suo moto, a meno degli effetti dell'attrito.

(i) Qual è la principale novità di questa impostazione del problema rispetto ad una teoria puramente cinematica? (ii) In che senso questa spiegazione è in conflitto con la teoria Aristotelica dei "luoghi naturali"?

Risposta: (i) Il ragionamento di Galileo va verso la creazione della moderna dinamica, connettendo forza e accelerazione, come enunciato esplicitamente nella prima e seconda legge di Newton. (ii) Nella fisica aristotelica i quattro elementi (terra, acqua, aria e fuoco) che si trovano nella sfera sublunare hanno un "luogo naturale" ed i loro "movimenti naturali" mirano al raggiungimento di quel luogo.

Nella fisica di Galileo non vi sono "luoghi naturali" né spiegazioni finalistiche del moto; in assenza di forze agenti su di esso, il moto di un corpo si mantiene nella meccanica celeste come in quella terrestre.

Domanda 11. Nelle sue osservazioni al telescopio sulle macchie solari Galileo osserva che queste si muovono sulla superficie del sole ma con inclinazione diversa nel corso dell'anno: sono inclinate in direzioni opposte negli equinozi di primavera ed autunno e sono approssimativamente orizzontali nei solstizi. Inoltre l'inclinazione della traiettoria delle macchie solari rimane costante nel corso del giorno.

(i) Perché queste osservazioni forniscono un argomento molto forte a favore della dottrina copernicana? (ii) Come risposero i contemporanei pro-tolomaici?

Risposta: (i) Il movimento delle macchie solari mostra un movimento di rotazione del sole sul suo asse e l'inclinazione della traiettoria delle macchie mostra che l'asse di rotazione del sole è inclinato. Se il sole compiesse un moto di rotazione giornaliero attorno alla terra e l'asse di rotazione del sole mantenesse costante la sua inclinazione, la direzione della traiettoria delle macchie solari dovrebbe cambiare nel corso della giornata. Dunque per mantenere l'ipotesi di una rotazione giornaliera del sole attorno alla terra occorre supporre che l'asse di rotazione del sole oscilli; ma questo movimento è una soluzione *ad hoc* che non ha alcuna spiegazione dinamica. (ii) I contemporanei pro-tolomaici sostennero che le macchie solari non sono una proprietà della superficie solare, ma risultano da fenomeni meteorologici nella sfera sublunare oppure sono effetti prodotti dal telescopio.