**Un Teorema per le stelle che avrebbe potuto migliorare il funzionamento del motore a scoppio**

Un fisico di una certa età, dopo aver trascorso una vita ad insegnare elettronica, in verità, può provare ancora tanto gusto a leggere qualche buon libro di storia della scienza. Il testo, stavolta, ha per titolo “*La genesi della scienza”* di James Hannam, - D’Ettoris Editori, nella traduzione italiana. L’autore, con uno stile semplice e scorrevole, ripercorre le tappe del cammino della scienza nella storia. L’astronomia è certamente tra le scienze che maggiormente hanno accompagnato il cammino dell’uomo da millenni e Copernico, nel 1543, con il suo *De revolutionibus orbium coelestium*, delinea quel cambiamento di mentalità che, in senso reale e metaforico, chiamiamo *rivoluzione copernicana*. Per i suoi risvolti, quest’opera con le sue implicazioni, rappresenta uno dei pilastri su cui si fonda la nostra civiltà. Ma Copernico, nel mettere il Sole al centro con i pianeti che girano intorno ad esso, raccoglie gli sforzi che per millenni altri studiosi hanno profuso per capire come è fatto l’universo. La scienza greca, con Aristotele, trecento anni prima della nostra Era, aveva delineato la struttura dell’universo in un modello così convincente da reggere per oltre milleottocento anni. In tale modello la Terra era al centro e tutti gli altri astri, Sole compreso, giravano intorno ad essa. Le orbite erano rigorosamente *circolari*, anzi vincolate a dei gusci sferici come di cristallo, e perciò solidi e trasparenti, che reggevano gli astri evitando che ci cadessero addosso. Ma, oggi, basta una buona macchina fotografica per smentire la circolarità di dette orbite. Infatti, interponendo un apposito filtro, possiamo fare un semplice esperimento: fotografiamo il Sole a giugno e a dicembre, restando attenti a regolare la macchina esattamente allo stesso modo. Ecco in Figura 1 le foto di giugno e dicembre 2015. Si evidenziano sul disco anche delle macchie solari molto appariscenti.

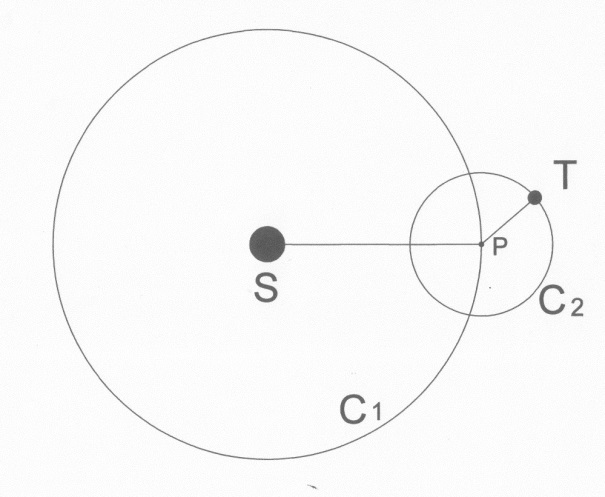
*Il Sole a giugno e a dicembre 2015*

*Figura 1*

In *Figura 1,* a sinistra confrontiamo la foto di giugno e quella di dicembre 2015. A destra le sovrapponiamo e ci accorgiamo che l’immagine di dicembre è più grande di quella di giugno. Deduciamo, giustamente, che il Sole a dicembre è più vicino alla Terra, perciò, anche se adottassimo una visione tolemaica, dovremmo dedurre che l’orbita percorsa dal Sole non può essere circolare. Al tempo di Aristotele non avevano le macchine fotografiche, però, praticando un forellino sulla parete di una stanza rivolta al Sole, sulla parete opposta avrebbero visto una immagine del Sole. Sistemando le condizioni geometriche, avrebbero potuto misurare il diametro dell’immagine solare e confrontare i valori di giugno e dicembre. Insomma, anche allora potevano essere in grado di dedurre che il Sole in giugno era più lontano dalla Terra rispetto a dicembre.

Tenaci, convinti com’erano, nel credere che le orbite fossero rigorosamente circolari, gli antichi cominciarono a pensare che la variazione di distanza degli astri che ruotavano intorno alla Terra e il moto addirittura retrogrado, che alcuni di essi evidenziavano in certe circostanze (in particolare Marte e Venere), fosse dovuto a *combinazioni* di moti comunque circolari. Ricordiamo che anche Galileo, che pagò con gli arresti domiciliari a vita il fatto di aver sposato la teoria copernicana che voleva il Sole al centro, era tuttavia convinto che le orbite dei pianeti fossero combinazioni di moti circolari. Fu Keplero, pochi decenni dopo Galileo, ad insegnarci che le orbite dei pianeti sono, invece, ellissi, formulando le sue famose tre leggi. Newton scoprì la *legge di gravitazione universale* e con la sua formula, data opportunamente in pasto ai nostri computer, riusciamo oggi a calcolare e seguire le orbite degli astri che girano intorno ad un astro maggiore, verificando le Leggi di Keplero.

Ma facciamo un salto indietro, nel tempo e nello spazio per accorgerci di un personaggio parimenti straordinario, che non faceva parte del nostro mondo culturale. Nella Persia del 1200 visse Nasir Al-Din Al-Tusi (1201-1274), matematico, astronomo, teologo, filosofo e quant’altro. Scrisse addirittura un trattato di trigonometria e lo fece duecento anni prima dei nostri matematici europei. Per valutare a fondo la sua figura dovremmo essere a conoscenza della lingua persiana ed esperti nelle discipline in cui ha dato il suo notevole contributo. Anche lui, per quanto riguarda l’astronomia, partiva dalle ipotesi degli antichi greci.



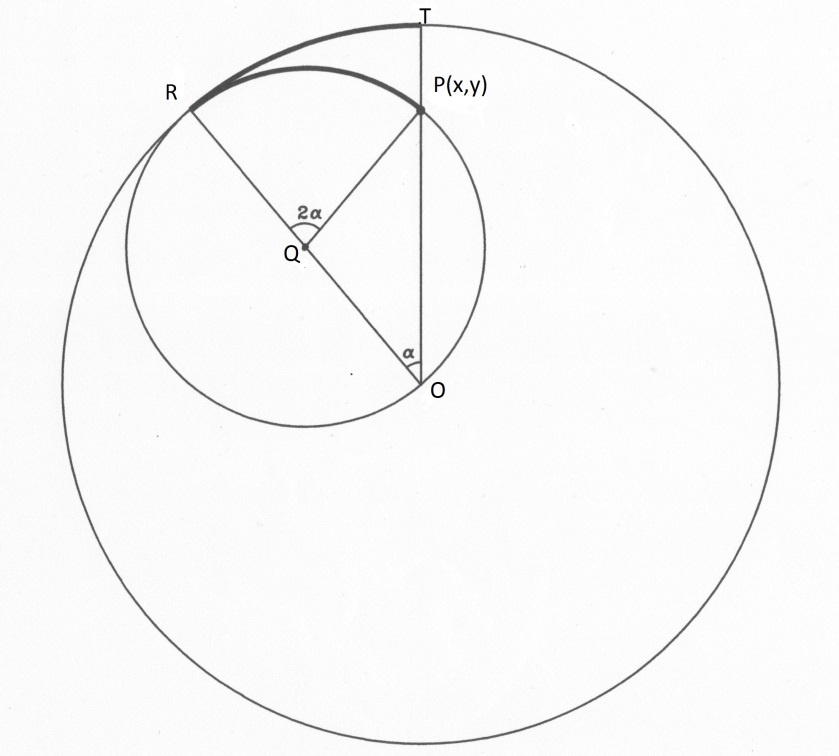
*Figura 2 Deferente ed Epiciclo*

Rifacciamo il ragionamento dei sapienti di allora riferendoci alla *Figura 2*. Se l’astro T si muove intorno all’astro S, potremmo pensare che T descrive una circonferenza C2 avente per centro P, il quale, a sua volta, gira su una circonferenza C1, avente per centro S. Il moto di T intorno ad S risulta come combinazione di due moti circolari. La circonferenza C1 costituisce il *deferente* (letteralmente “che porta fuori”) e C1 l’*epiciclo* (letteralmente “che ruota fuori”) di questo moto. Gli antichi vedevano, ad esempio, che il pianeta Venere si trovava ora a sinistra del Sole (e lo chiamavano Vespero, ovvero Stella della Sera), quattro mesi dopo a destra del Sole (e lo chiamavano Lucifero, ovvero Stella del Mattino) e con questo modello potevano giustificare che esso girasse intorno al Sole e con questo intorno alla Terra.

Oggi possiamo vedere ST come un vettore, somma dei vettori SP e PT e, stabilendo come variano nel tempo SP e PT, possiamo trovare la traiettoria di T. Basta uno strumento come EXCEL per effettuare i calcoli e far disegnare il diagramma della traiettoria di T. In un lavoro a parte, con modeste conoscenze di calcolo vettoriale e di trigonometria, affrontiamo molti casi di traiettorie.

La speculazione matematica di Tusi aveva, tuttavia, una sua speciale originalità per il motivo che adesso spieghiamo.

Ci riferiamo alla *Figura 3*.



*Figura 3*

*Il Teorema di Tusi*

Immaginiamo una circonferenza di centro O e raggio OT = R. Sorvoliamo sul simbolismo matematico poco ortodosso. Immaginiamo una seconda circonferenza, interna alla precedente, di raggio OQ = R/2. Essa, inizialmente è tangente alla circonferenza grande in T e *rotola* all’interno di essa. Chiamiamo P(x,y) il punto in cui la circonferenza piccola, *rotolando*, incontra la retta OT. Nella circonferenza piccola, PQR e POR sono rispettivamente *angolo al centro* e *angolo alla circonferenza* che insistono sull’arco RP. Un noto teorema di geometria euclidea, (enunciato come Teorema dell’angolo al centro), certamente ben noto a Tusi, assicura che, se POR = α, PQR = 2α. Gli angoli (in radianti), moltiplicati per il raggio, danno l’arco di circonferenza su cui insistono. Così nella circonferenza grande:

RT = R \*α

e nella piccola:

RP = R/2 \* 2α.

Cioè

RP = RT.

Gli archi uguali indicano inequivocabilmente il *rotolamento*. Ebbene, se la circonferenza piccola *rotola* all’interno di quella grande, il punto P, partendo da T, si muove sulla retta TO. Ed ecco una possibile formulazione del **Teorema di Tusi**:

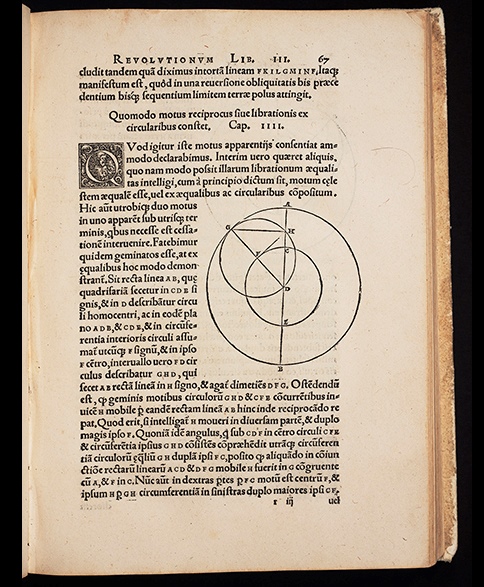
*Se una circonferenza rotola all’interno di un’altra circonferenza di raggio doppio, un punto P della piccola si muove su una retta che unisce il punto di tangenza iniziale con il centro della circonferenza maggiore*.

Si osserva pure che RPO = 90°, in quanto esso è inscritto in una semicirconferenza. Di qui, come si vede dalla figura,

PO = RO cos α;

PO = R cos α.

Cioè, se la circonferenza piccola rotola di *moto angolare uniforme*, P si muove di *moto armonico*.

La scoperta di Tusi mostrava che, per effetto del rotolamento, da un moto circolare si poteva ottenere un moto rettilineo. Copernico venne certamente a conoscenza della scoperta di Tusi. In *Figura 4* riportiamo, attingendo da Internet, le foto del manoscritto arabo di Tusi e del testo latino di Copernico.

*Il manoscritto arabo e l’opera di Copernico*

*Figura 4*

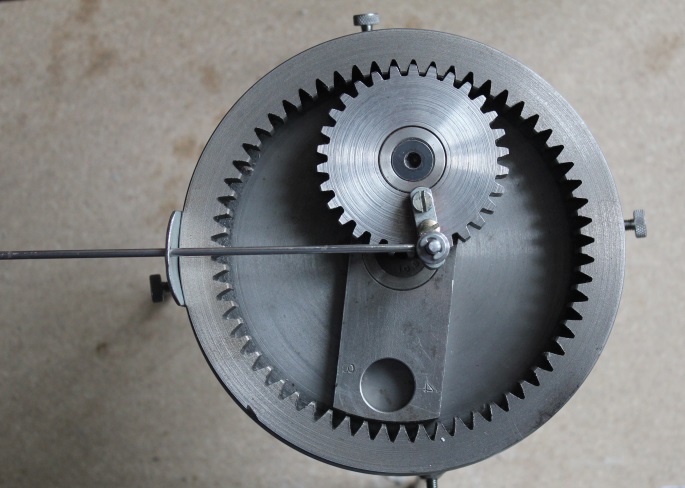
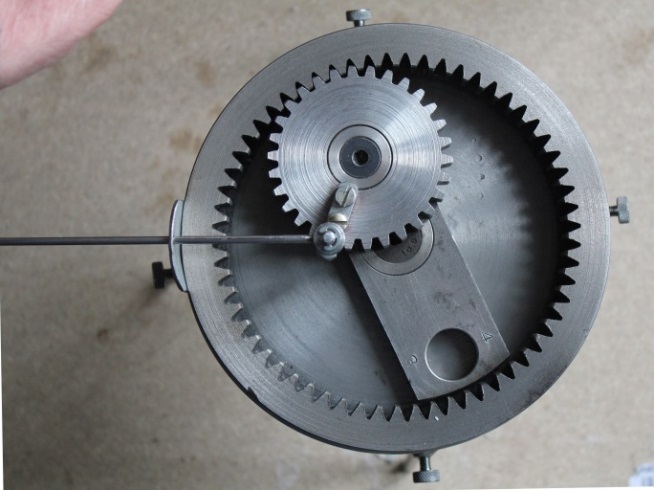
Nel linguaggio degli antichi astronomi, potremmo dire che la circonferenza piccola funge da *epiciclo*, mentre il centro di questa si muove su una circonferenza di raggio R/2, concentrica con quella grande, che fa da *deferente*. Nella Figura 4b che riprende l’opera di Copernico, si vedono bene tutte e due.

Il moto rettilineo scaturito da combinazioni di moti circolari restò dunque una possibile peculiarità dei movimenti astronomici, ma la cosa, a quanto pare, non ebbe seguito e, soprattutto, non scese sulla Terra.

I meccanici del secolo XIX, se avessero usato il meccanismo di Tusi, avrebbero potuto costruire macchine oscillanti azionate a ruota, in vari campi in cui si rendono necessarie, ad es. in agricoltura per realizzare macchine per cernere i cereali.

La nostra Associazione Culturale Scienza Viva (www.scienzaviva.it) si propone da decenni di rendere i concetti scientifici fruibili e verificabili con le proprie mani. I fenomeni fisici vengono riprodotti mediante *exhibit* da azionare direttamente. Perciò abbiamo voluto realizzare due modelli del meccanismo di Tusi, uno azionabile a mano e l’altro comandato da un motorino elettrico. Quello della *Figure 5 a, 5b e 5c* è azionabile a mano. Il rotolamento è ottehnuto mediante accoppiamento di ruote dentate. Sulla circonferenza piccola è fissato l’estremo di un’asticella, retta da una lamina forata sul bordo della circonferenza grande. Le foto non rendono bene il movimento, ma si nota che l’asticella si sposta in modo lineare durante il movimento delle ruote.

*Figura 5 a*

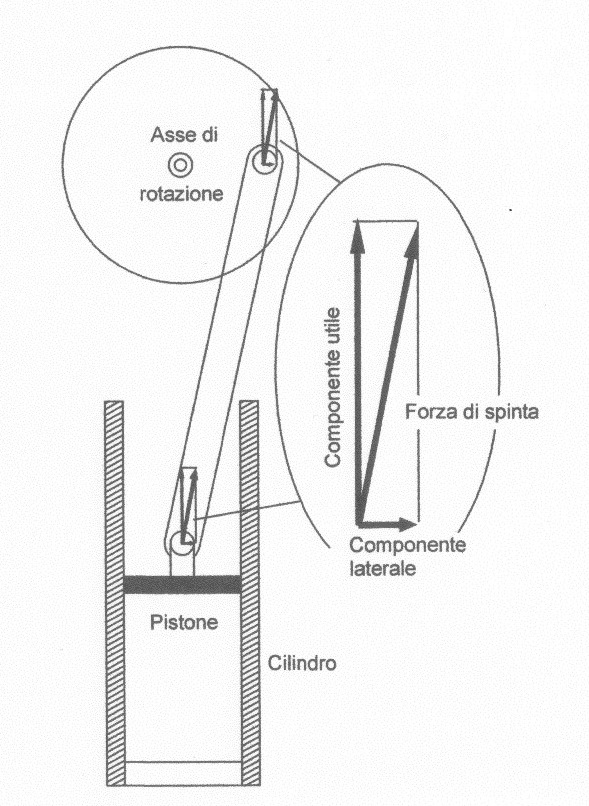


*Figura 5 b e c.*

*Realizzazione dell’exhibit del meccanismo di Tusi*

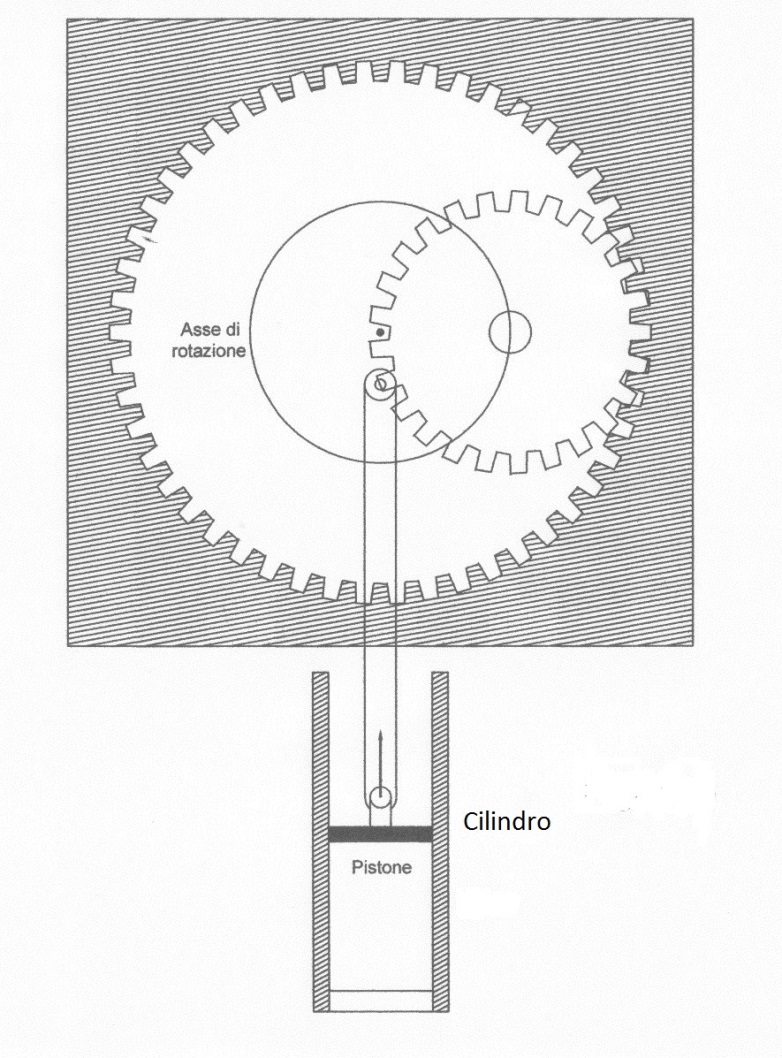
L’asse della circonferenza grande viene azionato a mano da un pomello non visibile nelle foto, ma, il modello evidenzia molto bene la trasformazione del moto circolare in moto lineare.

Abbiamo accennato al fatto che la trasformazione del moto circolare in moto lineare potrebbe comportare implicazioni terrestri, ad esempio, nelle macchine agricole. Ma, avendo fra le mani il modello, si osserva facilmente che il meccanismo di Tusi è *reversibile***.** Cioè, azionando a mano l’asticella*, si trasforma il moto lineare in moto circolare.*



*Figura 6*

*Schema di azionamento classico con biella e manovella*

Il *motore a scoppio*,questa meravigliosa invenzione che ha di fatto rivoluzionato la nostra civiltà, è stato concepito come un sistema in cui il vapore o un gas, espandendosi all’interno di un *cilindro* muove linearmente un *pistone*. In *Figura 6* ne abbiamo schematizzato il funzionamento. Come tutti sappiamo, il pistone, tramite un *sistema biella-manovella*, genera il *movimento circolare* di un asse. Tutti i motori delle automobili funzionano su questo principio. Abbiamo disegnato anche i vettori che rappresentano le forze in gioco. Ebbene, il sistema *biella-manovella* si sposta non solo verticalmente, ma anche orizzontalmente. Perciò, alla componente verticale della forza, che è quella utile, si aggiunge una componente laterale che deve essere controbilanciata all’interno del cilindro. E, a lungo andare, come ben sanno tutti quelli che posseggono un’automobile, nel pistone si logorano le fasce che assorbono queste componenti laterali.

*Figura 7*

*Azionamento mediante meccanismo di Tusi*

Nella *Figura 7* abbiamo un cilindro che spinge un pistone, il quale va ad azionare un asse di rotazione mediante il *meccanismo di Tusi*. Il pistone aziona una biella che si muove sempre e solo *verticalmente*. L’asse di rotazione, che nell’automobile chiamiamo “albero motore”, diventa quello che per gli antichi astronomi era il *deferente* e la ruota dentata piccola costituisce l’*epiciclo*. Non vi sono spinte laterali a logorare pistone e cilindro, anzi quelle che di fatto si generano vengono assorbite dalle ruote dentate che sono, in genere, ben più robuste del sistema biella-manovella.

Un’altra importante osservazione è che, nella *Figura 6*, quando il pistone si trova a metà della sua corsa, la sua forza di spinta diventa la forza tangenziale che aziona l’asse di rotazione. Nel sistema di Tusi, quando il pistone si trova a metà della sua corsa, (all’incirca la situazione di *Figura 7*) la sua forza tangenziale genera un *momento* sulla ruota dentata interna che ha come braccio il *diametro* di essa. Nell’agire sull’asse di rotazione (il deferente), il braccio diventa il *raggio* della ruota dentata interna. Poiché il *momento agente* viene controbilanciato dal *momento resistente*, se il braccio si dimezza, la forza tangenziale che agisce sull’asse di rotazione, si *raddoppia* rispetto a quella del pistone. E’ chiaro che ci sono gli attriti a diminuire il rendimento teorico, però, certamente, il meccanismo di Tusi è molto più efficiente del sistema tradizionale biella-manovella nella trasformazione del moto lineare in moto circolare, perché (teoricamente) raddoppia la forza.

Costruiamo motori con sistema biella-manovella da più di duecento anni e non vogliamo certamente sconvolgere un sistema industriale così consolidato. Però, la umana curiosità ci spinge a chiedere come mai nelle grandi locomotive a vapore non si è adottato il sistema di Tusi. O anche nelle automobili, o nelle macchine per cucire delle nostre nonne, che venivano azionate a pedali, perché tale sistema non è stato adoperato.

Chi desidera il programma EXCEL o il programma Visual Basic in versione .exe può contattarci via e-mail. Su Internet è facile trovare riferimenti alla figura di Tusi, alle sue opere e, in particolare al suo Teorema. Per vedere i modelli meccanici realizzati nella nostra Associazione, si può accedere al sito indicato in fondo. Si possono vedere delle sorprendenti costruzioni cinematiche visitando il sito <https://tallbloke.wordpress.com/2015/02/09/copernicus-and-the-tusi-couple-or-was-it-proclus/>.

Ma, stranamente, non vi sono riferimenti alla possibilità di applicarlo al contrario, riconoscendone la reversibilità. Insomma, il Teorema di questo antico astronomo avrebbe potuto far funzionare meglio i nostri motori. Come mai non è venuto fuori?



Vincenzo Favale

Associazione Culturale SCIENZA VIVA – Calitri (Av)

Cell. 329 88 70 706

[favalevincenzo@tiscali.it](mailto:favalevincenzo@tiscali.it)

[www.scienzaviva.it](http://www.scienzaviva.it)