

# COMETE: L'EVOLUZIONE DELLE ORBITE E DEL PENSIERO. Dal cerchio alla parabola attraverso la retta di Keplero.

F. Castaldi e L. Pansecchi

Gruppo Astrofili G. e A. Bernasconi, Saronno (VA).

**Summary.** The first astronomers, who thought of comets as real celestial bodies, gave them a circular orbit at first around the Earth (Peurbach, Regiomontanus, Mästlin), then around the Sun (Brahe). But, unsatisfied at the concept of the circle, Kepler proposed (1619) a straight line, covered at a variable speed. It was a remarkable simplification of reality, but moderately sufficient to satisfy the observations, as shown by the comparison among his ideas, modern computed orbits and the verifications of some results. Therefore the straight path was adopted also by others, like Wren, Hooke, Hevelius and possibly even Newton for a period of time. Hevelius, nevertheless, was aware (1668) that a parabolic path, concave towards the Sun and covered at a gradually variable speed, could explain differences between theory and observations; the Keplerian hypothesis prompted him to combine the principle of inertia, improved by Cartesius about 20 years before, to a kind of aerodynamic interaction of the comet's head with the ether. At the end, the rapid and narrow orbit of the comet of 1680, observed for a long time going towards and returning from the Sun, gave Flamsteed the opportunity of making the assumption that it was the same unique comet. Finally persuaded about it and thanks to exact observations of Flamsteed, Newton was the first to estimate the parabolic orbit of this comet, applying the inertia principle and the law of gravitation, according his work detailed in *Principia* (1687, first edition).

## 1- PREMESSA

A partire dall'antichità, tre furono le ipotesi sulla natura delle comete:

I) illusioni ottiche, sostenute in vario modo da filosofi greci, come Anassagora e Democrito (V sec. a.C.), e, più recentemente, da Galilei (1619).

II) fenomeni del mondo sublunare, come si legge in *Meteorologia* di Aristotele (IV sec. a.C.).

III) reali corpi che si muovono negli spazi interplanetari: dai Pitagorici fino ai giorni nostri.

Ci occuperemo della III, che per essere sostenuta aveva bisogno di un'orbita dove fare viaggiare le comete.

## 2 - PRIMI PASSI: LE ORBITE CIRCOLARI

### 2.1 - Rivoluzione intorno alla Terra.

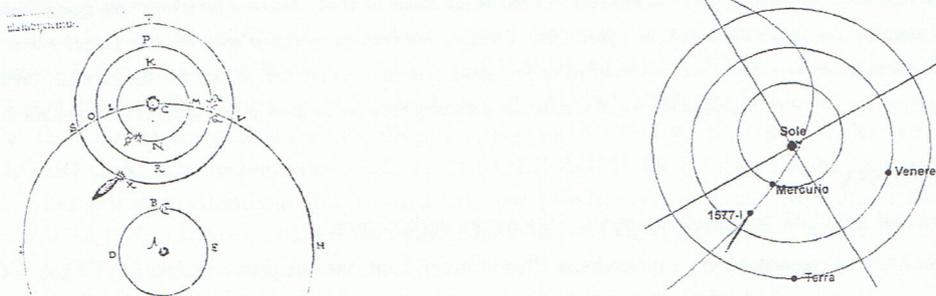
Nel '400 Peurbach e Regiomontano effettuano i primi tentativi (senza successo) di misurare la parallasse di alcune comete. Entrambi le suppongono all'interno dell'orbe lunare, ma molto lontane dalla Terra.

Mästlin, maestro di Keplero, misura la parallasse diurna della Cometa 1577 I, trovandola estremamente piccola. Ne deduce che la cometa doveva trovarsi al di là della Luna e formula una teoria che la pone in rivoluzione oltre Venere.

### 2.2.- Rivoluzione attorno al Sole: Tycho Brahe.

In base alle misure di parallasse della Cometa 1577 I, Tycho, non rilevando valori apprezzabili, conclude che la cometa doveva trovarsi molto oltre la Luna e in rivoluzione attorno al Sole, come un qualsiasi pianeta del suo sistema (il Sistema Tychonico). Quindi scrive (1588) [1]: *Qualcuno stimerà che la certezza della nostra ipotesi planetaria si guasta a causa della non poco in sé persistente e grande ineguaglianza (dei moti cometari) e questo non deve accadere. Infatti, è verosimile che, non possedendo le comete*

assolutamente corpi perfetti e predisposti per una durata perpetua..., così anche nei loro circuiti non si osserva un grado di uguaglianza tanto preciso e costante; ma, almeno come somiglianze, qualcuna imita in qualche modo la regolarità uniforme dei pianeti, senza uguagliarli in nessun modo; il ché ce lo insegnarono senza incertezze certe comete di anni immediatamente successivi (1580 e 1585), le quali non di meno si trovavano nella regione eterea del mondo. Pertanto o questa nostra cometa effettuò un circuito non da ogni parte e perfettamente rotondo rispetto al Sole, ma un pochino prolungato, alla maniera della figura che volgarmente si dice **ovale**; oppure passò per un circuito perfettamente circolare; tuttavia si spostò con moto per sé all'inizio più lento e poi a poco a poco accelerato; attorno al Sole ad ogni modo in verità si avvolgeva come producendo una certa variazione (di velocità), non però irregolare e disordinata. Due le novità, oltre alla collocazione della cometa attorno al Sole: il sospetto di un'orbita ovale e una graduale variazione della velocità.



**Fig. 1 – Cometa 1577 I.** A sinistra, riproduzione dello schema di Tycho [1], che mostra la cometa in orbita attorno al Sole (cerchio XVTS). A destra, rappresentazione attuale secondo gli elementi orbitali tratti dal Catalogue [3]. In entrambi i casi il piano dell'eclittica coincide col piano del foglio.

### 3 - LE TRAIETTORIE RETTILINEE DI KEPLERO.

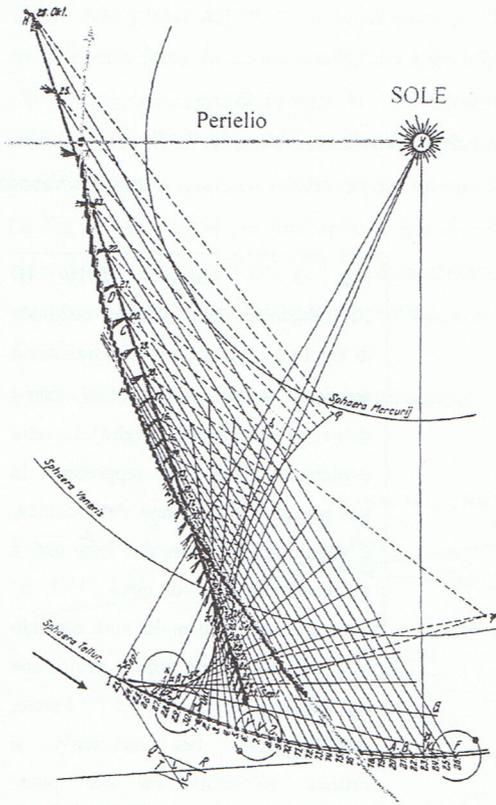
#### 3.1 - La Cometa del 1607.

Scrive **Keplero** (1619) [2]: ..dal momento che non è verosimile che il moto di corpi che non ritornano allo stesso posto sia circolare, il contrario è **pertanto più verosimile, cioè che i loro moti siano rettilinei**. ..Visto dunque che mi ero convinto, in base agli argomenti più probabili, sullo spostamento in linea retta della cometa, come osservatore di quella del 1607 mi venne in mente se e in qual modo (ammessi sia il moto circolare della Terra, sia la traiettoria rettilinea della cometa) si potesse investigare la distanza della cometa e la localizzazione della sua traiettoria nello spazio del mondo. Seguono alcune **Premesse** per la cometa del 1607.

I- La Terra si muove negli spazi del mondo col moto annuo attorno al Sole che le attribuirono **Aristarco e Copernico**.

II- La cometa si sposta per gli spazi del mondo all'incirca in una certa traiettoria in linea retta.

III- All'inizio il suo moto avviene con velocità costante, poi aumenta a poco a poco mentre prosegue il viaggio, secondo la legge delle tangenti ad un arco di cerchio che crescono costantemente o con legge simile, cioè ordinata.



**Fig. 2 – Cometa del 1607** (uno dei passaggi della cometa di Halley). Schema originale di Keplero [2] con le posizioni giornaliere di Terra e cometa, dal 23 settembre al 26 ottobre. La retta evidenziata da codine sempre opposte al Sole é la proiezione sul piano dell'eclittica (e del foglio) della traiettoria della cometa, secondo Keplero. Si noti l'aumento di spazio percorso ogni giorno, a causa dell'aumento di velocità della cometa che andava verso il perielio (27 ottobre). La linea curva, di cui la parte in neretto corrisponde allo stesso periodo, è invece la proiezione di un tratto dell'orbita reale, secondo dati moderni [3].

E dopo una lunga serie di teoremi necessari per investigare la linea di spostamento delle comete, Keplero tira le sue **Conclusioni**. Eccone alcune, di cui sono state effettuate verifiche sulla base degli elementi orbitali attuali [3]:

I - .. il 30 settembre (la cometa) fu in congiunzione col Sole secondo longitudine e procedette diritta..

In effetti la congiunzione avvenne in quel giorno, intorno alle 20<sup>h</sup>30<sup>m</sup> TU, anche se, per quella data, gli elementi orbitali suddetti pongono la cometa a 0.26 UA dalla Terra, mentre i dati pubblicati da Keplero in una sua Tabella (omessa per ragioni di spazio) la pongono a 0.18 UA.

VI - .. pertanto la Terra fu nel punto più vicino alla cometa il 28 o 29 settembre.

Sappiamo che la cometa raggiunse il perigeo intorno alle 0<sup>h</sup> TU del 29 settembre, cioè proprio a cavallo delle due date indicate da Keplero, ad una distanza di 0.25 UA, mentre i dati di Keplero indicano 0.17 UA.

XIII - ... la traiettoria della cometa non fu parallela al piano dell'eclittica, ma durante il percorso si alzò sopra il piano dell'eclittica in direzione nord, anche se la latitudine apparente (eclitticale geocentrica) diminuiva.

Dagli elementi orbitali moderni [3] si ricava che la cometa era passata al nodo ascendente (giusto da sud a nord del piano dell'eclittica) l'8 agosto del 1607 e da quel momento la sua latitudine eclitticale eliocentrica





uniforme. Le sue conclusioni vengono pubblicate soltanto nel 1678 da **Hooke** in una raccolta di scritti [4] al paragrafo dal titolo: *L'ipotesi di sir C. Wren e il problema geometrico sulle comete.*

In verità, all'inizio Hooke propende per le orbite circolari delle comete e solo più tardi accetta il moto rettilineo, mentre si pensa che lo scervellarsi a capire i loro moti capricciosi portasse a importanti conseguenze. Scrive infatti un moderno storico [5, Cap. 12]: *Per Hooke, o per Wren, un moto cometario rettilineo uniforme produceva un senso fisico di moto inerziale libero da influenze, e ogni deviazione, indicata da un benché minimo disaccordo rispetto alle osservazioni, era spiegata in modo naturale da influenze attrattive di corpi nel cui campo magnetico la cometa si trovava a passare. La cometa rappresentava per Hooke, in un modo particolarmente drastico, i componenti fondamentali della meccanica – un'inerzia rettilinea e una forza centrale d'attrazione – per un moto planetario orbitale che egli cominciò a considerare come un caso speciale della sua teoria cometaria: "...in modo particolare abbozzando il percorso della cometa del 1664 è del tutto evidente che o le osservazioni sono false o le sue apparenze non possono essere risolte da quell'ipotesi senza supporre il suo moto leggermente incurvato dal potere di attrazione del Sole, attraverso il cui sistema essa stava passando, anche se in effetti non veniva rallentata e costretta in un cerchio".*

## **5 - HEVELIUS: la retta s'incurva.**

Da *Cometographia* [6]. Nel *Libro IX – Il moto delle comete*, con una serie di teoremi che dimostrano la sua aderenza alle idee di Keplero, Hevelius tira le somme di tutte le precedenti dimostrazioni, riducendo a pochi schemi i comportamenti di tutte le comete di cui dispone di dati, a partire da quella del 1472 di Regiomontano. Alcune notevoli Conseguenze:

**14 -** *Se il percorso della cometa fosse uniforme (spazi uguali in tempi uguali) il suo moto diurno apparente apparirebbe massimo dove fosse più vicina alla Terra: in effetti, quando i tratti giornalieri di percorso crescono o decrescono, può accadere che il moto apparente sia massimo altrove e non dov'è vicina alla Terra.*

**16 -** *Più una cometa si avvicina al Sole lungo il suo cammino, più appare perciò distendere la sua corsa in una velocissima traiettoria, quanto più la retta condotta dal Sole alla cometa si avvicina alla perpendicolare della traiettoria stessa. E di contro, quando una cometa si allontana dal Sole, cala il suo moto. In entrambi i casi l'aumento o il calo variano di più all'avvicinarsi della cometa alla perpendicolare condotta dal Sole; cosicché la traiettoria non è mai percorsa uniformemente, ma i tratti giornalieri crescono o decrescono in modo uniforme. Attestano questo tutte le comete di cui ci rimangono osservazioni, e sulla loro base si è potuto costruire la teoria.*

**17-** *Le comete lungo il loro percorso sembrano un poco deviare dalla perfetta linea retta e flettere il loro cammino verso il Sole. Ciò si evince da tutte quelle comete che furono osservate con cura per più giorni, a cominciare proprio da quelle del 1577 e 1652. Qui infatti le latitudini al principio e alla fine si presentano un poco minori ed in mezzo maggiori, in base all'ipotesi come per quel che mostrano le osservazioni. Queste in effetti vanno d'accordo con l'ipotesi se si incurva la traiettoria un poco verso il Sole. Le altre*

comete lasciano ciò incerto o perché osservate per pochi giorni rispetto al necessario o con minore accuratezza.

Il testo abbonda di tabelle di calcolo e schemi con l'immane traiettoria rettilinea, tranne che per quella del 1664 dove c'è un arco di parabola tangente alla retta. Ad ogni modo, verifiche effettuate mostrano che, qualitativamente, i risultati di Hevelius non si discostano molto dai moderni ed, in alcuni casi, hanno somiglianze notevoli. Questo ad ulteriore conferma che l'ipotesi della retta può essere, in date circostanze, una valida semplificazione della realtà.

Quanto alla causa fisica del moto delle comete, Hevelius scrive: *..ciò che si muove possiede una forza a perseverare nel suo moto (perché qualsiasi cosa tende a permanere nello stato in cui si trova), cioè in un moto della stessa velocità e direzione, a meno che non sia impedito o accelerato da un altro moto sopraggiungente. E pagine addietro aveva infatti precisato: Ogni corpo di per sé persevera sempre nel medesimo stato; quindi una volta in moto, sempre tende a muoversi finché non viene ritardato da altri corpi o annullato da una qualche causa esterna: e così ciò che è in moto ha la forza di perseverare nel suo moto (in quanto ogni cosa tende a permanere proprio nello stato nel quale si trova), cioè in movimento con stessa velocità e stessa direzione; a meno che, stiamo attenti, non ne sia impedito od accelerato da un qualche altro nuovo moto. Questo è quanto in modo perfetto Cartesio, famoso filosofo non da poco, ha ampiamente dedotto nella II parte dei suoi 'Principi della Filosofia'.*

E' il **principio d'inerzia**. E in altre parti leggiamo che la forza esterna atta a deviare la cometa lungo una parabola (fig.GG di pag. 670) è generata, dall'interazione fra la testa della cometa, ipotizzata a forma di disco sempre volto perpendicolarmente al Sole, e l'etere interplanetario; cosicché, per le leggi dell'aerodinamica, il disco accelera col diminuire della superficie esposta alla direzione del moto (e viceversa) e, nello stesso tempo, quasi planando, devia dal moto rettilineo originario in uno parabolico.

## 6 - E FINALMENTE LA PARABOLA.

### 6.1 - Premessa.

Il *Catalogue* [3] mostra che, limitatamente al periodo in esame (sec. XVI e XVII), prima del 1680, soltanto per tre comete su trentuno (1532, 1539 e 1677) la data del passaggio al perielio (T) è compresa nell'arco di tempo (Arc) coperto dalle osservazioni utilizzate e valide per la determinazione delle orbite. Ed anche in quei tre casi T è compreso in Arc per pochi giorni. Questo fatto dovrebbe significare che, di norma, prima di tale data, le comete venivano *perse* dopo il perielio (quando questi coincideva con la congiunzione eliacca) oppure scoperte soltanto dopo tale passaggio. E la cosa non è sorprendente se si considera che le comete venivano osservate ad occhio nudo e gli osservatori erano concentrati nella zona temperata nord della Terra. Queste limitazioni concorsero con altre ad impedire di seguire a lungo una cometa, prima e dopo il perielio, e spiegano le difficoltà incontrate per farsi un'idea precisa circa la vera forma dell'orbita. Occorre un caso speciale: una cometa con caratteristiche orbitali tali da poter essere seguita a lungo dagli osservatori dell'emisfero boreale, prima e dopo il perielio, grazie a due incontri ravvicinati con la Terra.

## 6.2 - La Cometa del 1680.

Il 14 novembre 1680, appare una cometa nel Leone, ad est di Regolo. Dirigendosi verso il Sole, quasi lungo l'eclittica, essa diviene sempre più luminosa, si da poter essere seguita facilmente sino a pochi giorni prima del perielio, che avviene il 18 dicembre a sole 0.006222 UA dal Sole. Poi la cometa riemerge dai bagliori del Sole e, portandosi a nord dell'eclittica (e quindi ancora meglio accessibile), rimane visibile sino al 19 marzo 1681. La cometa è del tipo "sun-grazing", e perciò il suo rapido giro di boa attorno al Sole è abbastanza evidente. Questo fatto, unitamente alle prolungate e precise osservazioni, fornisce preziosi suggerimenti ed offre, per la prima volta, l'opportunità di calcolare l'orbita di una cometa. Ma non senza incertezze e ripensamenti, come si evince dal carteggio [7] dei protagonisti principali.

**-15/12/1680.** Lettera di **Flamsteed**, dall'Osservatorio di Greenwich, per **Newton**: *Non ho visto la recente cometa apparsa prima dell'alba in novembre, mentre Culbert la vide; ma, in base a quanto ho appreso da altri, dedussi che, dopo avere passato il Sole, sarebbe apparsa in dicembre dopo il tramonto; in accordo con ciò, mentre la cercavo venerdì scorso, ho scorto una piccolissima coda in corrispondenza dell'Aquila...* E nelle notti seguenti Flamsteed prosegue le osservazioni.

**-17/2/1681.** Mentre gli astronomi d'Europa sono in fermento, Flamsteed scrive ad Halley: *..Debbo innanzi tutto ringraziarvi del resoconto che mi avete mandato sulla serie di osservazioni di Gallet a Roma: da esse ricavo il mio primo tema. Considero la cometa che apparve in novembre come la stessa che è stata osservata di recente. Voi potete ricordare che vi dissi, prima che ritornaste (da Parigi) e quando avevo solo sentito dire della cometa, che l'avremmo vista di nuovo dopo il suo passaggio dal Sole.. Io ritengo che il Sole attragga tutti i pianeti e i corpi simili che vengono all'interno del nostro vortice, più o meno in accordo ai loro diversi componenti e alla vicinanza o distanza da lui che attira la cometa.*

Fig. 5.a.

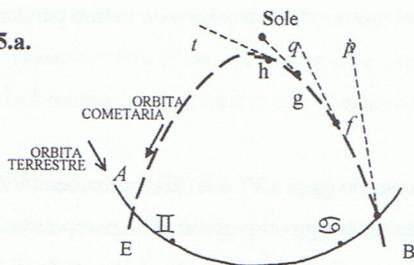
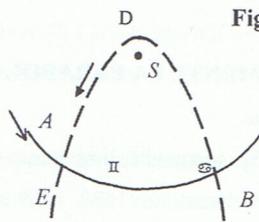


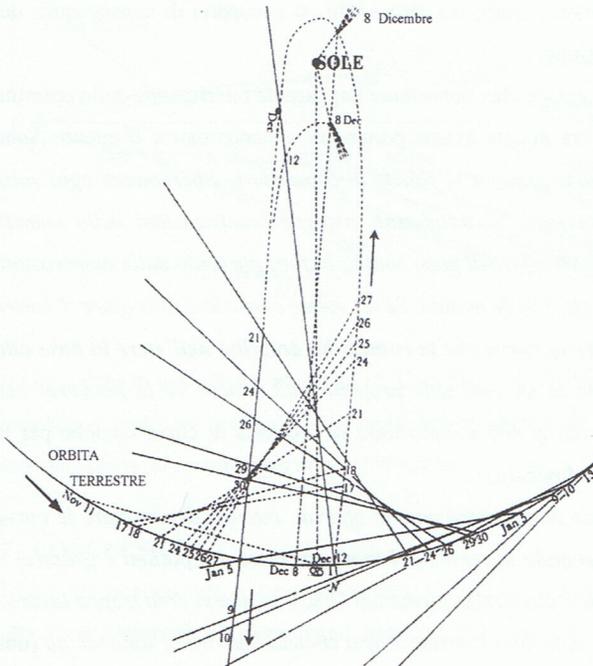
Fig. 5.b.



**-28/2/1681.** Newton gentilmente interrompe le fantasie di Flamsteed, con forze magnetiche solari attrattive e repulsive e vortici cartesiani, e presenta due schemi: nel primo (fig. 5.a.) riporta, per contestarlo, il tracciato di Flamsteed al di sotto del Sole, BfghE, e conclude: *Secondo me l'unico modo per superare questa difficoltà è supporre che la cometa sia andata non fra il Sole e la Terra, ma che abbia descritto un compasso come in questa figura (fig. 5.b).* Tuttavia non è convinto: *Ancora sospetto che la cometa di novembre e di dicembre che il sig. Flamsteed considera unica e medesima, fossero due differenti; e trovo che Cassini, in una copia di una sua lettera mostratami dal sig. Ellis, è del mio parere. Se si è trattato di una sola cometa, allora il suo moto si è ritardato ed accelerato del triplo.* E spiega che ritiene contraddittori i dati osservativi fornitigli da Flamsteed con quelli di altri.

-7/3/1681. Flamsteed, dopo avere ribattuto che le perplessità di Newton derivano dal fatto di avere mescolato certe osservazioni datate in *Vecchio Stile* con altre in *Nuovo Stile*, replica: *Per rimuovere l'ostacolo darò le stesse osservazioni, così come trasmessemi da Parigi tramite il sig. Halley che le ricevete dal sig. Cassini; del quale non mi fa meraviglia l'opinione di ritenere che le comete apparse in novembre e dicembre fossero due differenti, considerando che egli non ammette i moti della Terra, quanto meno quello annuo.* Ed avendo ricevuto, tramite Halley, altri dati può ribadire: *Paragonando le osservazioni della cometa a oriente con quelle qui fatte all'altra a occidente in dicembre apparirà altamente probabile che entrambe erano la stessa.* E a conferma compone uno schema (fig. 6) e spiega: *Dal disegno il sig. Newton vedrà che la cometa corre su verso il Sole quasi lungo una retta e ritorna indietro lungo un'altra simile, in quanto le dislocazioni di queste linee anche se cambiate non si allontanano da dove le avevo previste; eccettuato che egli soporrà l'accelerazione del moto in andata (verso il Sole) e la decelerazione nel ritorno essere molto diverse da quanto avevo stabilito.*

Quindi conclude: *Il sig. Newton pensa improbabile che la cometa curvasse la traiettoria del suo moto prima del (raggiungimento del) Sole.* E, dopo qualche esitazione, finalmente si mette dalla parte di Newton: *...tuttavia posso accondiscendere a questo percorso in ragione del fatto che esso facilita molto l'inclinazione e la curva della traiettoria.*



**Fig. 6 - Cometa del 1680.**  
 Schema di Flamsteed (lettera del 7/3/1681) con le date in V.S. La curva tratteggiata al di sotto del Sole rappresenta la prima ipotesi di Flamsteed; per questo troviamo due volte l'indicazione della cometa per l'8 dicembre. Vedasi, per confronto, lo schema definitivo di Newton in Fig. 7.

- 16/4/1681. Lettera di Newton direttamente a Flamsteed, dove dapprima dibatte a lungo circa l'orbita rappresentata nel disegno di Flamsteed, poi ritorna al problema principale: *Ma qualunque cosa ci sia in queste difficoltà, ciò che mi rende incerto è ammettere unica la cometa di novembre e di dicembre, fatto paradossale. Se fosse andata lungo una tale linea curva, altre comete avrebbero fatto lo stesso e tuttavia*

niente di simile è stato osservato in esse, ma piuttosto il contrario. Le comete del 1665, 1677 e altre che andarono verso il Sole (cioè, viste prima del perielio), o almeno alcune di loro, avrebbero girato attorno al Sole e non sarebbero, procedendo in avanti, andate oltre dietro di lui; e sarebbero di nuovo state viste di ritorno dal Sole. La maggior parte di quelle che sono state viste provenire dal Sole (dopo il perielio), o almeno alcune di loro, sarebbero state viste nella prima parte del percorso andare verso di lui, purché avessero effettuato quella prima parte non lungo la linea che le portava indietro nelle regioni di là dal Sole, ma girandogli attorno da entrambi i lati. In sostanza Newton si domanda perché solo questa cometa avrebbe dovuto comportarsi diversamente, dal momento che: *Quelle che (secondo lui) sono state viste sia prima sia dopo il loro perielio, come le comete del 1472, 1556, 1580 e 1664, non sarebbero, come fecero in realtà, apparse in una parte del cielo e scomparse dalla parte opposta, attraversando quasi un semicerchio con moto prima lento, poi veloce, indi lento di nuovo, come se effettuato lungo una retta, se ciò si fosse verificato lungo la curva della vostra ipotesi. ..Consideriamo solamente la cometa del 1664 dove le osservazioni furono fatte da uomini accurati. Essa fu vista molto prima del suo perielio e per molto tempo dopo e per tutto l'intervallo si mosse (per consenso dei migliori astronomi) in una linea quasi retta.* E qui Newton cade in errore. Infatti, in base al *Catalogue* [3] e agli astronomi di quei tempi, sappiamo che le comete 1472 e 1566 furono osservate solo prima del perielio e le comete 1580 e 1664 soltanto dopo. Inoltre questi migliori astronomi erano dei geocentristi, i quali, nei loro scritti, si occupano di conseguenza del passaggio della cometa al perigeo, e non al perielio.

-5/1/1685. Lettera di Flamsteed, dalla quale si evince che, nonostante l'apparente interruzione dello scambio epistolare, la discussione fra lui e Newton era andata avanti portandoli a concordanza d'intenti: *Sono cordialmente felice dell'utilità delle mie comunicazioni e vi chiedo di comandarle liberamente ogni volta che pensate che vi possa servire quanto possiedo. Se desiderate avere le localizzazioni della cometa calcolate per le date che avete citato, questo è un affare di poco conto; lo farò partendo dalle osservazioni francesi che sembrano sufficientemente accurate e ve le mando. Se mi volete concedere di arguire il vostro piano, credo che voi stiate tentando di definire la curva che la cometa ha descritto nell'etere in base alla vostra teoria del moto e se la mia assistenza in un così utile progetto può aiutare ve la presterei ben volentieri.* Sono gli anni in cui Newton è ormai giunto a dimostrare la necessità di curve coniche per le orbite dei corpi celesti e Flamsteed ha quindi indovinato.

- 12/1/1685. Risposta di Newton: *..Vi ringrazio della vostra gentile offerta.. Intendo determinare le curve descritte dalle comete del 1664 e del 1680 secondo le regole dei moti osservate dai pianeti e gradirei il vostro aiuto nei riguardi delle localizzazioni dell'ultima (la cometa del 1680), se non vi crea troppo lavoro.*

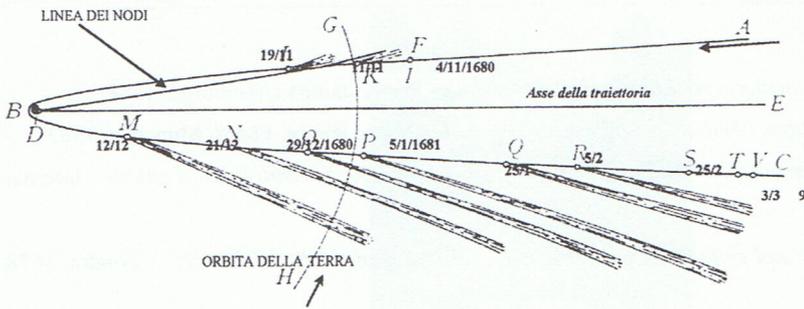
- 19/9/1685. Newton scrive: *..Non ho ancora calcolato l'orbita di una cometa, ma ora ci sono vicino (una nota ci ricorda che in quei giorni era al lavoro attorno al Libro III dei Principia); e, riprendendo a considerare di nuovo quella del 1680, sembra molto probabile che quelle di novembre e dicembre fossero la stessa cometa* (un'altra nota evidenzia che queste parole appaiono sottolineate due volte da Flamsteed, che a margine aveva scritto: *prima non lo accettava, vedere sua lettera del 1681*). E Newton chiede ancora controlli di coordinate, concludendo: *Il mio calcolo dell'orbita dipenderà soltanto da 3*

osservazioni e, se posso averne 3 a convenienti intervalli con l'esattezza del minuto primo o di meno, spero che l'orbita risponderà abbastanza esattamente non solo alle osservazioni di dicembre, gennaio, febbraio e marzo, ma anche a quelle di novembre, prima che la cometa fosse in congiunzione col Sole.

- 26/9/1685. Questa volta senza riserve Flamsteed denota un certo orgoglio: Sono cordialmente felice che stiate considerando la teoria delle comete: finora abbiamo solo abbozzato le linee dei loro moti; d'ora in avanti spero che potremo pronunciarci con maggiore certezza su di loro. Seguono osservazioni con dettagli utili a Newton, diventato sempre più esigente a mano a mano che progredisce verso il suo scopo di calcolare una curva in accordo con tutti i dati della cometa 1680. Da qui una lunga spiegazione di Flamsteed per rassicurare Newton sull'affidabilità dei suoi dati rispetto a quelli francesi o di altri.

- 14/10/1685. Lettera di Newton che ripaga Flamsteed della sua sollecitudine: *Le vostre osservazioni della cometa, veramente esatte come vedo dalla vostra prima lettera, mi salveranno da una gran mole di angustie. Per ora non avrò necessità di darvi ulteriore incomodo, ma fra un po' credo che avrò occasione di chiedervi ulteriore assistenza.*

Sembra che, almeno per la cometa del 1680, non ci sia stato bisogno di altri dati. Intanto comincia la stampa dei *Principia* e di lì a poco (1687) il mondo saprà come Newton, grazie all'assistenza di Flamsteed, interpreta l'orbita di questa cometa (fig.7).



**Fig. 7 - Cometa del 1680,** Riproduzione dello schema originale di Newton, tratto dalla 3<sup>a</sup> edizione dei *Principia*. Date in Vecchio Stile.

Il commento di uno storico moderno [5, Cap.10]: *... il problema se quella cometa era la stessa oppure no, avrebbe giocato un ruolo considerevole nel progresso del pensiero di Newton verso il tempo in cui intraprendeva la scrittura dei suoi "Principia".*

### 7 - CONCLUSIONI.

Una volta riconosciute come corpi celesti, si attribuisce alle comete un'orbita circolare, dapprima attorno alla Terra (Peurbach, Regiomontano, Mästlin), poi attorno al Sole (Tycho). Tuttavia, il cerchio non soddisfa e Keplero propone l'altro estremo: una retta, percorsa con velocità che varia in modo graduale e regolare. Si tratta di una notevole semplificazione della realtà, ma, sorprendentemente, sembra soddisfare meglio le osservazioni, come dimostrano il confronto dei suoi schemi con le orbite calcolate secondo dati moderni (Fig. 2 e 4) e la verifica di alcuni suoi risultati effettuata sulla scorta di tali dati. Perciò, la traiettoria rettilinea viene adottata (pur con differenze di moto, uniforme o variabile) anche da altri, tra i quali Wren,

Hooke, Hevelius e, forse per qualche tempo, persino Newton. Ad Hevelius, però, va il merito di essersi accorto che una traiettoria parabolica, concava al Sole e percorsa a velocità gradualmente variabile, potrebbe spiegare certe differenze tra teoria ed osservazioni. L'ipotesi kepleriana gli suggerisce di legare il principio d'inerzia, come perfezionato da Cartesio da una ventina d'anni, all'interazione aerodinamica di una testa piatta di cometa con l'etere; ne risulterebbe una forza in grado d'incurvare la traiettoria e spiegare anche le variazioni di velocità osservate. Tuttavia, la mancanza di osservazioni prolungate, prima e dopo il perielio, impedisce di verificare appieno ogni teoria.

Ma finalmente arriva la cometa del 1680. Si tratta di una cometa che compie un'orbita rapida e stretta attorno al Sole e che viene lungamente osservata sia all'andata sia al ritorno dal Sole; questo permette a Flamsteed di ipotizzare che si tratta di un'unica medesima cometa. Infine interviene Newton che, dopo essersi anche lui convinto che si tratta di una stessa cometa, vi applica le leggi della meccanica celeste che andava formulando nei *Principia*; così, grazie a tre precise osservazioni di Flamsteed, per primo riesce a calcolare la vera orbita parabolica di una cometa.

Si noti che tra la retta di Keplero e la parabola di Newton intercorrono solo una settantina d'anni. Pertanto, ci sentiamo di sostenere che l'ipotesi di Keplero fu un'idea feconda, che contribuì ad indirizzare nel verso giusto gli studi per la comprensione delle cause del moto dei corpi celesti.

---

### Bibliografia

- [1] – Brahe T. - *De Mundi aetherei recentioribus phoenomenis* – Prima stampa Uraniburgo, 1588.
- [2] – Kepler J. – *De cometibus libelli tres*. Augusta, 1619. (*Gesammelte Werke Vol. 8- Munchen, 1963*).
- [3] – Marsden B.G e Williams G.V. – *Catalogue of cometary orbits 1992. Seventh Edition (2000)* – Internat. Astronom. Union.
- [4] – Hooke R. – *Lectures and collections made by R.H. , Secretary of the Royal Society.* – Londra, 1678. (Microprint)
- [5] -*The General History of Astronomy - Vol. 2: Planetary astronomy.. – Part A* – Edited by R. Taton & C. Wilson – Cambridge University Press, 1989. Citazioni da :
  - Cap.12. *Magnetical philosophy and astronomy from Wilkins to Hooke* di J.A. Bennet - pag. 227.
  - Cap.10. *Predictive astronomy in the century after Kepler* di Curtis Wilson – pag. 204.
- [6] – Hevelius J. – *Cometographia* – Danzica, 1668
- [7] – *The correspondence of Isaac Newton – Vol. II: 1676-1687-* Edited By H.V. Turnbull, F.R.S. Cambridge. Published for the Royal Society at the University Press. 1960