



La cosmologia di Aristotele

La concezione geocentrica del cosmo che – con il supporto determinante fornito successivamente dalla meccanica celeste di Tolomeo – domina incontrastata per ben 1800 anni, compare nell'opera *"Il cielo"* ^[1] di Aristotele, composta intorno al 350 a.e.v. ^[2]: che, pur essendo la più antica opera di cosmologia che ci sia pervenuta integralmente, tiene conto, come riporta lo stesso Aristotele, di quanto *"... riferiscono a proposito degli astri coloro che, anticamente e per un grande numero di anni, si sono dedicati a osservazioni astronomiche, gli Egiziani e i Babilonesi, dai quali abbiamo, su ciascuno degli astri, parecchie notizie attendibili"* ^[3].

Ce lo ricorda anche nell'incipit della sua *Storia della astronomia* ^[4] un inatteso e giovanissimo Giacomo Leopardi che nel *"Capo primo: storia della astronomia dalla sua origine sino alla nascita di Talete"* scrive:

"L'Astronomia sembra una delle più antiche scienze tra quelle, che sono a nostra cognizione. L'uomo non tardò gran tempo ad avvedersi della necessità ed utilità dello studio degli astri. Secondo Cassini ella fu inventata al principio del mondo, poiché, per servirmi delle sue parole, «non fu la sola curiosità, che trasportò gli uomini ad applicarsi alle osservazioni astronomiche; si può dire che vi furon costretti dalla necessità. Perché se non si osservano le stagioni, che si distinguono dal moto del sole, è impossibile di riuscire nell'Agricoltura». Quantunque sappiasi, che questa scienza è antichissima, è nondimeno assai difficile il determinare presso qual popolo ebbe ella la prima sua origine".

Leopardi continua riportando nel primo capitolo tra le altre cose:

- della invenzione della scienza degli astri e della invenzione dei segni dello zodiaco (*"... il numero dodici delle parti, nelle quali vien diviso lo Zodiaco, indica i dodici giri compiuti dalla Luna nel tempo di un sol giro del sole..."*);
- della evoluzione nella misura della durata del mese, dell'anno, del giorno, con riferimenti ai Babilonesi (*"... gran parte dei moderni scrittori si accordano difatto nel supporre inventori dell'Astronomia gli Assiri, e specialmente i Babilonesi... Epigeno autor grave secondo Plinio, del quale riferisce Seneca alcuni detti sulle comete, fa menzione di osservazioni fatte dai Babilonesi, e scolpite in pietra cotta, che abbracciavano 720 anni..."*);

[1] Aristotele. *Il cielo*. Bompiani/RCS libri, Milano, 2015, ISBN 978-88-452-9193-7.

[2] "ante era vulgaris". L'espressione "era volgare" compare per la prima volta nel titolo di un'opera di Keplero del 1615: *"Joannis Keppleri Eclogae Chronicae: Ex Epistolis Doctissimorum Aliquot Virorum & Suis Mutuis, Quibus Examinantur Tempora Nobilissima ... Anno Aerae Nostrae Vulgaris ..."* Francofurti, 1615". ETH-Bibliothek Zürich, Rar 6534.

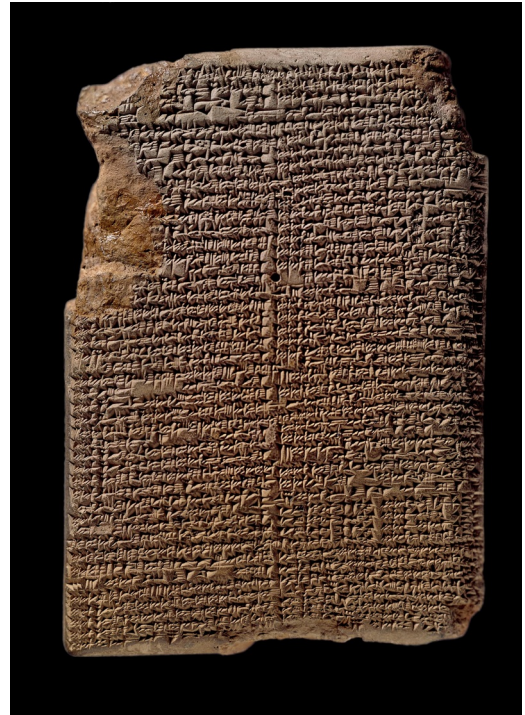
<https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-25830>

[3] *Il cielo*, p. 287 (292a)

[4] Giacomo Leopardi. *Storia della astronomia dalla sua origine fino all'anno MDCCCXIII*. La Vita Felice, Milano, 2014, ISBN 978-88-7799-603-9.

– degli Egizi che (*"... con tanto maggiore ardore si diedero a coltivare l'astronomia, quanto maggiore di quello degli altri popoli era il bisogno che essi ne avevano. Osservarono che l'inondazione del Nilo era preceduta da un vento Etesio, cioè vento annuale, che cacciava i vapori verso la plaga meridionale e causava le abbondanti piogge, che ingrossando il Nilo producevano l'inondazione nell'Egitto..."*).

La documentazione storica letteraria fornita da Leopardi (624 riferimenti bibliografici nel solo primo capitolo) la vediamo oggi arricchita da reperti archeologici straordinari, come questa tavoletta d'argilla babilonese incisa in caratteri cuneiformi *"... con due colonne di iscrizione ... che include un elenco delle tre divisioni del cielo, le date (nell'anno ideale di 360 giorni) del sorgere delle stelle principali e di quelle che sorgono e tramontano insieme, e le costellazioni sul percorso della luna..."* [5], che risale a un periodo compreso tra il 1000 e il 500 a.e.v. Abbiamo pertanto testimonianze certe dell'ampiezza e della profondità delle conoscenze astronomiche degli antichi di gran lunga precedenti ad Aristotele.



Queste le principali affermazioni di Aristotele ne *"Il cielo"*:

→ la terra è sferica:

"... la forma della terra è necessariamente sferica, e lo è anche in quanto tutti i corpi pesanti cadendo formano degli angoli uguali, anziché descrivere traiettorie parallele. Ma questa è la forma naturale della caduta verso ciò che è sferico per natura ... Che la terra sia sferica lo si accerta anche mediante i fenomeni che cadono sotto i sensi. Diversamente le eclissi di luna non presenterebbero le sezioni che vediamo. Ebbene, in occasione delle sue fasi mensili la luna mostra tutti i tipi di divisione (viene infatti tagliata da una linea retta o diviene biconvessa o concava); al momento delle eclissi, invece, ha sempre come linea di delimitazione una linea curva. Di conseguenza, poiché l'eclissi è causata dall'interposizione della terra, è il profilo della terra a determinare tale figura, avendo forma sferica" [6];

"Alcuni astri sono visibili in Egitto o in prossimità di Cipro, e invisibili, invece, nelle regioni settentrionali. Peraltro, gli astri che nelle regioni settentrionali appaiono per tutto il tempo, nei luoghi menzionati in precedenza invece tramontano. Da queste osservazioni risulta chiaro non soltanto che la forma della terra è quella di una sfera, ma anche che si tratta di una sfera di modeste dimensioni; altrimenti, gli effetti di uno spostamento tanto piccolo non si manifesterebbero con tale rapidità" [7];

→ la terra è immobile al centro del cosmo:

"... È dunque evidente che la terra deve trovarsi al centro [del cosmo] e rimanervi

[5] © The Trustees of the British Museum. Shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) licence.

https://www.britishmuseum.org/collection/object/W_1899-0610-108

[6] *Il cielo*, p. 323 (297b)

[7] *ivi*, p. 325 (297b)

immobile: lo provano le ragioni precedentemente illustrate, come pure il fatto che i corpi pesanti lanciati con la forza verso l'alto in linea verticale ricadono al loro punto di partenza, e questo anche se la forza li avesse scagliati a un distanza infinita..." [8];

→ esiste un motore esterno che genera il movimento circolare che vediamo degli oggetti celesti:

"... Se dunque esiste un movimento semplice, e il movimento circolare è semplice ... deve esistere un corpo semplice che in virtù della sua natura ha la proprietà di muoversi di moto circolare" [9];

"Il corpo primo ... che si trova nell'ultima orbita ... che si muove di traslazione circolare è sferico ... lo è anche quello che gli è contiguo, perché ciò che è contiguo a un corpo sferico è anch'esso sferico..." [10];

"... E pare che anche il suo nome si sia tramandato fino alla nostra epoca dal tempo degli antichi ... considerando il corpo primo come qualcosa di diverso dalla terra, dal fuoco, dall'aria e dall'acqua, essi hanno chiamato "etere" il luogo più elevato, traendo il nome che gli hanno attribuito dal fatto che scorre sempre, per l'eternità dal tempo" [11];

→ le sfere inferiori, concentriche, sono composte da terra, acqua, aria, fuoco e gli astri, ciascuno nella propria sfera e con il proprio movimento, sono composti di fuoco:

"Se infatti l'acqua si trova intorno alla terra, l'aria intorno all'acqua, e il fuoco intorno all'aria, i corpi situati in alto sono anch'essi disposti nello stesso modo" [12];

"...ogni astro è fatto del corpo all'interno del quale si trova ad avere la propria traslazione, dal momento che – abbiamo affermato – esiste un corpo che è portato per natura a muoversi di moto circolare. E come quanti sostengono che gli astri sono ignei si pronunziano in questi termini perché dicono che il corpo superiore è fuoco ... così anche noi parliamo collocandoci nella medesima prospettiva ..." [13].

Quindi è lo stesso Aristotele che ci conferma che ai suoi tempi si era già convinti che la Terra fosse una sfera.

Mentre per l'osservazione che *"... i corpi pesanti lanciati con la forza verso l'alto in linea verticale ricadono al loro punto di partenza..."*, considerata da Aristotele come la prova del fatto che la Terra è immobile [14], vale la pena di riportare Kuhn [15]:

"... Aristotele fu capace di esprimere in forma sintetica ed armonica molte nozioni naturali dell'universo, che l'uomo aveva avuto da secoli prima che egli desse loro una logica interpretazione verbale ... Ma le idee di Aristotele, nella loro sostanza, contrariamente al modo in cui egli le esprime e documenta, mostrano in effetti importanti residui primitivi ... La visione aristotelica del mondo non fu la sola idea nell'antichità, né fu la sola a guadagnare seguaci. Ma fu molto più vicina alla primitiva concezione del mondo delle sue antiche competitori e corrispose più strettamente all'evidenza della pura e semplice percezione sensoriale ... [e anche per questo] ebbe

[8] *ivi*, p. 317 (296b)

[9] *ivi*, p. 127 (269a)

[10] *ivi*, p. 251 (287a)

[11] *ivi*, p. 139 (270b)

[12] *ivi*, p. 255 (287b)

[13] *ivi*, p. 267 (289a)

[14] In realtà alla latitudine della Grecia Aristotele si muoveva, come anche noi oggi, a oltre 1200 chilometri all'ora per la rotazione della Terra sul proprio asse, ruotava con la Terra attorno al Sole velocità di circa 30 chilometri al secondo, ruotava con il Sole attorno al centro della nostra galassia alla velocità di circa 250 chilometri al secondo, si spostava con la nostra galassia verso un punto indefinito del cosmo a una velocità di circa 600 chilometri al secondo.

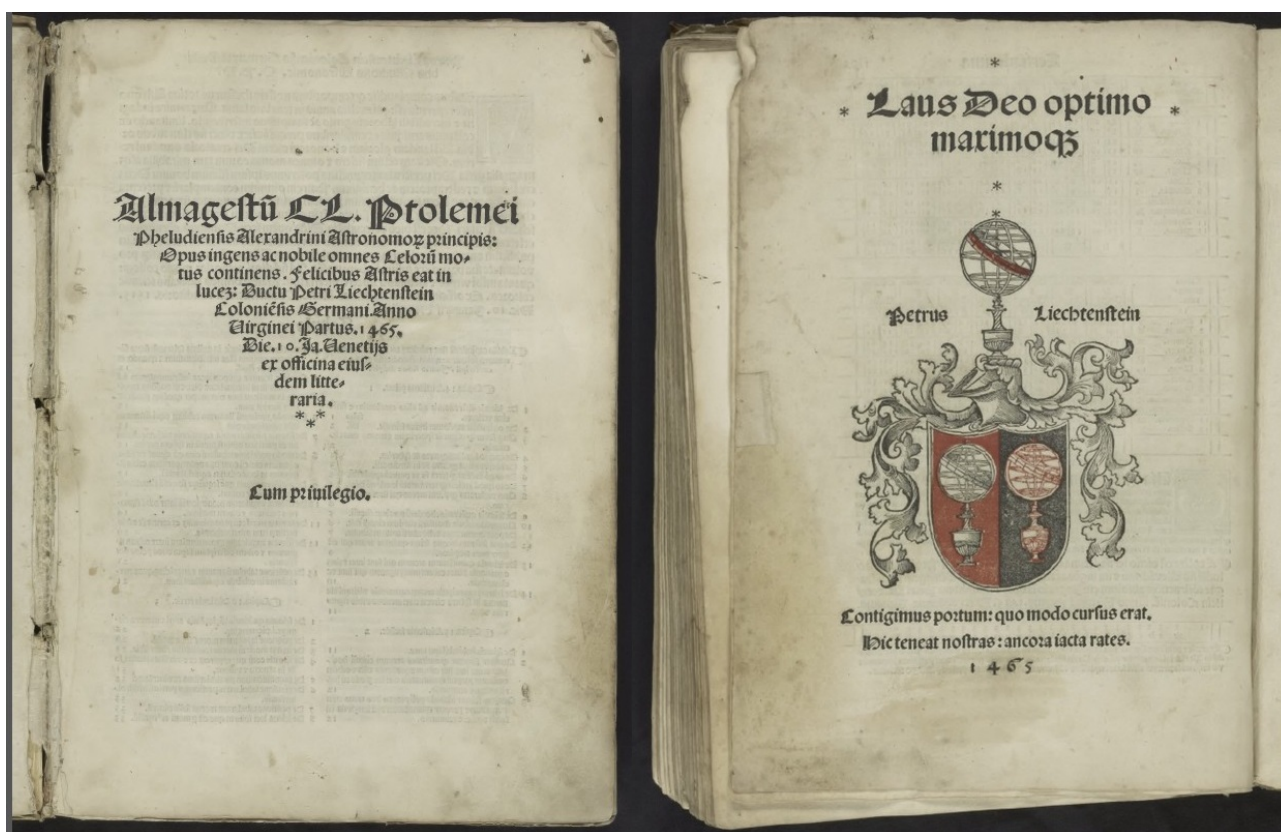
[15] Thomas Samuel Kuhn (Cincinnati, 1922 – Cambridge, 1996).

una così immensa influenza, particolarmente durante il tardo Medioevo" [16].

Solo Aristarco di Samo [17] proverà, un centinaio di anni dopo Aristotele, a proporre una teoria alternativa, eliocentrica [18], ma senza successo visto che come ci testimonia Plutarco [19] si pensava addirittura:

"... che i Greci dovessero citare in giudizio per empietà Aristarco di Samo per aver sconvolto le fondamenta dell'universo, poiché quest'uomo tentava di salvare la realtà apparente supponendo che il cielo rimanesse immobile e che invece la terra ruotasse lungo l'eclittica ruotando nello stesso tempo sul suo stesso asse..." [20].

L'ipotesi di Aristarco di Samo prevedeva che l'orbita della Terra attorno al sole fosse circolare, ma in questo modo non era in grado di spiegare completamente le osservazioni astronomiche: e invece di cercare di migliorare il modello eliocentrico di Aristarco si optò decisamente per il modello geocentrico, rafforzato nel secondo secolo e.v. dalla meccanica celeste di Claudio Tolomeo [21] riportata nel suo "*Almagesto*", qui nella copia conservata nella Library of Congress a Washington [22].



[16] Thomas S. Kuhn. *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Giulio Einaudi editore, Torino, 1972, ISBN 88-06-33332-1, p. 127.

[17] Aristarco di Samo (Samo, circa 310 – 230 a.e.v.)

[18] Thomas Heath. *The Copernicus of Antiquity (Aristarchus of Samos)*. London / New York, 1920. Credits: The Project Gutenberg Literary Archive Foundation.

<https://dev.gutenberg.org/ebooks/58498>

[19] Plutarco (Cheronea, 46 ca. – Delfi, 126 ca.)

[20] Plutarco. *Tutti i Moralia*. Giunti/Bompiani, Firenze/Milano, 2017, ISBN 978-88-587-7742-8, p. 1787.

[21] Claudio Tolomeo (Pelusio, 100 circa – Alessandria d'Egitto, 168 circa)

[22] *Almagestu[m] Cl. Ptolemei Pheludiensis Alexandrini astronomo[rum] principis ...*

<http://hdl.loc.gov/loc.rbc/General.17936>

Nel 1500 per la struttura del cosmo vige ancora, dopo 1800 anni, il dogma aristotelico/tolemaico. Vale la pena di rivederlo attraverso queste due pagine della *Cosmografia* [23] di Pietro Apiano [24], che scrive:



"Il mondo è diviso in due parti: la regione Elementare e la regione Eteera. La regione Elementare, costantemente soggetta alle alterazioni, contiene quattro elementi, la Terra, l'Acqua, l'Aria e il Fuoco. Invece la regione Eteera (che i filosofi chiamano quinta essenza) che con la sua concavità cinge quella elementare, e la cui sostanza resta sempre immutata, avvolge dieci sfere. Delle quali la maggiore circonda sempre sfericamente (nell'ordine che segue) la minore a lei prossima. Pertanto come prima cosa attorno alla sfera del fuoco Dio creatore del mondo collocò la sfera della Luna: quindi quella di Mercurio: dopo quella di Venere e quella del sole, quindi quella di Marte, di Giove e di saturno: ciascuna di esse tuttavia ha una sola stella ... segue quindi il firmamento, che è la sfera delle stelle ... Circonda questa la nona sfera, che poiché in essa non si discernono stelle, viene denominato cielo cristallino o acqueo.

[23] Pubblicata nel 1524 con il titolo "*Cosmographicus liber Petri Apiani Mathematici studiose collectus*".

https://preserver.beic.it/delivery/DeliveryManagerservlet?dps_pid=IE7922157

L'immagine qui riportata è tratta dall'edizione del 1564 curata dal cartografo olandese Rainer Gemma Frisio (Dokkum, 1508 – Lovanio, 1555), "*COSMOGRAPHIA PETRI APIANI, PER GEMMAM FRISIVM apud Lovanienses Medicum & Mathematicū insignem ... M.D.LXIII. ANTVERPIAE Apud Ioannem V Vithagium*".

<https://archive.org/details/cosmographiaapia00apia/>

[24] Peter Bennewitz, latinizzato in Petrus Apianus (Leisnig, 1495 – Ingolstadt, 1552)

Infine, queste sfere eteree sono avvolte dal primo mobile, che è denominato decimo cielo, e gira continuamente sui poli del mondo compiendo una rivoluzione nell'intervallo di 24 ore, dal sorgere attraverso il mezzogiorno al tramonto e nuovamente tornando da oriente. E con la sua forza circonda contemporaneamente tutte le sfere inferiori, e in esso non esiste alcuna stella ... Al di là di questo qualunque cosa vi sia, è immobile, e i nostri professori della fede ortodossa affermano [questo] essere il cielo Empireo (che Dio abita con gli eletti)" [25].

In questa teoria, che ancora ai primi del 1500 nessuno metteva in discussione, restavano due problemi.

Il primo problema era che la meccanica celeste che Tolomeo aveva ideato 1300 anni prima sulla base di questa visione geocentrica del cosmo, ricorrendo a un complicatissimo accrocco di sfere, cicli ed epicicli per rappresentare i moti dei pianeti sullo sfondo delle stelle fisse:

- dal punto di vista pratico, con il miglioramento nell'accuratezza delle osservazioni astronomiche, si stava rivelando inadeguata (con la scoperta dell'America, per guidare la navigazione nell'oceano Atlantico si rese ben presto evidente la necessità di produrre tavole delle effemeridi molto più accurate di quelle ottenibili con il modello tolemaico);
- dal punto di vista filosofico e alla luce principio di economia delle ipotesi previsto dal rasoio di Occam iniziavano ad emergere perplessità in merito al fatto che il Creatore avesse voluto che i fenomeni celesti fossero guidati da meccanismi così cervellotici.

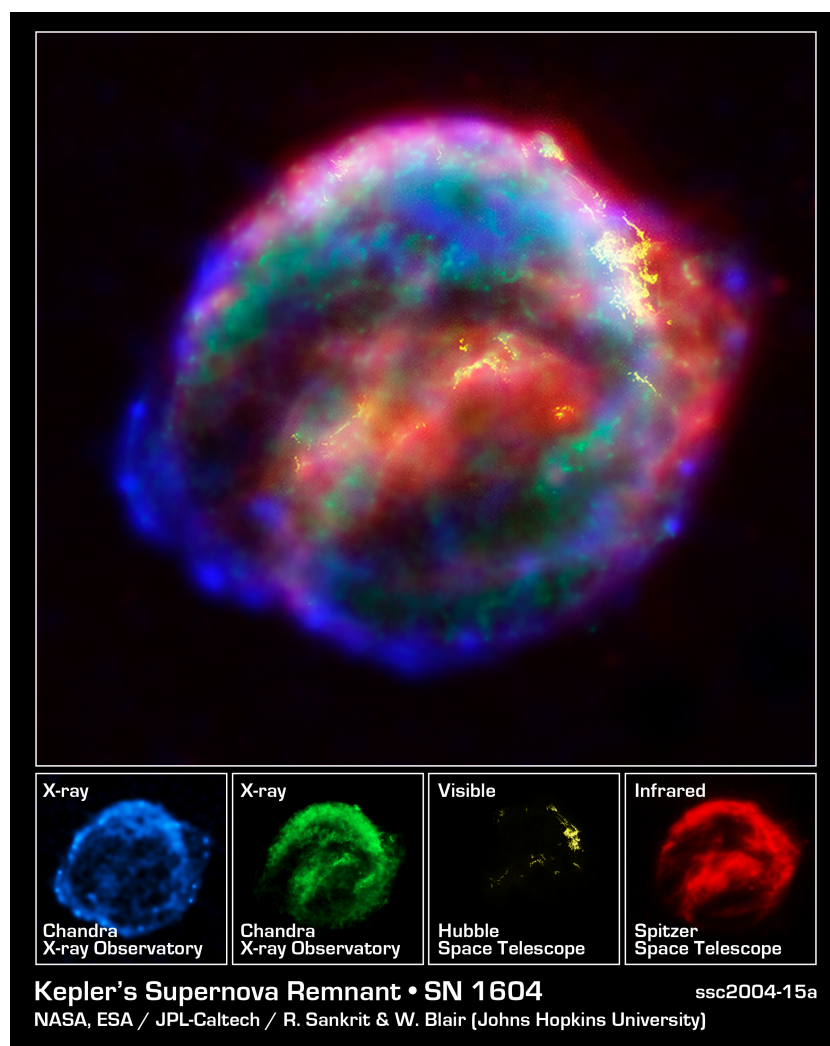
Questo primo problema verrà affrontato da Copernico [26] con il suo "*De revolutionibus orbium coelestium*" [27] del 1543 mettendo al centro del cosmo il sole anziché la Terra e innescando il processo che attraverso Keplero, Galileo e Newton riuscirà finalmente a demolire la visione aristotelico/tolemaica del cosmo, aprendo la strada alla scienza moderna. E non senza qualche difficoltà, visto che Galileo fu costretto nel 1633 all'abiura dal Tribunale dell'Inquisizione di Roma dopo essere stato processato per aver sostenuto la teoria eliocentrica, contraria alla dottrina ecclesiastica e alle Sacre Scritture.

[25] "*Mundus bifariam dividitur, in Elementarem regionem, & Ætheream. Elementaris quidem assidue alterationi subiecta, quatuor Elementa, Terram, Aquam, Aërem, & Ignem, continet. Ætherea autem regio (quam Philosophi quintam nuncupant essentiam) elementarem sua concavitate ambit, invariabilisque substantia semper manens, decem sphæras complectitur. Quarum maior semper proximam minorem sphæricè (eo quo secuit ordine) circumdat. Imprimis igitur circa sphæram ignis, Deus mundi opifex locavit sphærulem Lunae: Deinde Mercurialem: Postea Veneream, solarem: Deinde Martiam, Iouiam, & saturniam: quælibet autem istarum unam tantum habet stellam ... Mox sequitur firmamentum, quod stellifera sphæra est ... Illam circumdat nona sphæra, quæ quum nulla in ea stellarum cernitur, cælum crystallinum seu aqueum appellatur. Istas tandem æthereas sphæras, primum mobile, quod & decimum cælum dicitur, suo ambitu amplectitur, & continue super polos mundi semel facta revolutionem in 24 horarum intervallo, ab ortu per meridiem in occasum, iterum in orientem recurrendo rotatur. Et omnes inferiores sphæras suo impetu simul circumvoluit, nullaque in eo existit stella ... Ultra hunc quicquid est, immobile est, & Empyreum cælum (quem Deus cum electis inhabitat) nostæ orthodoxæ fidei professores esse affirmant".*

[26] Niccolò Copernico (Toruń, 1473 – Frombork, 1543)

[27] NICOLAI COPERNICI TORINENSIS DE REVOLVTIONIBVS ORBIum coelestium, Libri VI. Norimbergæ apud Ioh. Petreium, Anno M.D.XLIII.

https://archive.org/details/nicolaicopernici00cope_1/



Il secondo problema era l'immutabilità della sfera delle stelle fisse, assunta come dogma nella cosmologia aristotelico/ptolemaica, che stava diventando difficile da sostenere a causa della comparsa di "nuove stelle". Per un caso fortuito nell'arco di trentadue anni, e a breve distanza dall'opera di Copernico, compaiono nel cielo due "nuove stelle" perfettamente osservabili a occhio nudo nella loro evoluzione: una viene descritta nel 1572 da Tycho Brahe ^[28], l'altra viene descritta nel 1604 da Keplero ^[29] ed è riportata in questa immagine ^[30].

[28] TYCHONIS BRAHE, *DANI DE NOVA ET NVLLIVS AVI MEMORIA PRIVS VISA Stella, iam pridem Anno à nato CHRISTO 1572. menſe Nouembrj primùm Conſpecta, CONTEMPLATIO MATHEMATICA*. HAFNIÆ, IMPRESSIT LAVRENTIVS Benedictlj. 1573.

<https://play.google.com/books/reader?id=GjgPAAAAQAAJ>

[29] JOANNIS KEPLERI *Sac. Caf. Majeſt. Mathematici DE STELLA NOVA IN PEDE SERPENTARII, ET QUI SUB EJUS EXORTUM DE NOVO INIIT, TRIGONO IGNEO. LIBELLUS ASTRONOMICIS, PHYSICIS, METAPHYſICIS, Meteorologicis & Aſtrologicis Diſputationibus plenus. ACCEſſerunt I. DE STELLA INCOGNITÄ CYGNI: Narratio Aſtronomica. II. DE JESV CHRISTI SERVATORIS VERO Anno Natalitio, confideratio noviſſima ſententia LAVRENTII SVSLYGE Poloni, quatuor annos in uſitata Epocha deſiderantis. Cum Privilegio S. C. Majeſt. ad annos xv. PRAGAE Typis PAULI SESSII, impenſis AUTHORIS. ANNO M.DCVI.*

<https://play.google.com/books/reader?id=Bk5RAAAACAAJ>

[30] Nell'immagine i residui della supernova del 1604 osservata da Keplero come appaiono oggi, mentre si espandono a una velocità attorno a 2000 chilometri al secondo, in una

Oggi sappiamo che si trattava di due supernove, esplosioni stellari avvenute nella nostra galassia (da notare che da allora esplosioni di supernove nella nostra galassia non ne sono più avvenute, mentre ne sono state documentate in altre galassie), e di entrambe oggi abbiamo, data l'accuratezza con la quale ne era stata determinata la posizione dai due astronomi, il riscontro osservativo ottenuto con i telescopi spaziali.

Queste due "nuove stelle" contribuiranno a demolire l'assunto dell'immutabilità della sfera delle stelle fisse, aggiungendo quindi una ulteriore prova alla necessità della nuova visione del cosmo che si andava costruendo, anche se per la spiegazione delle supernove sarà necessario attendere i giorni nostri per arrivare con la fisica nucleare e la relatività generale al cuore dei meccanismi che governano la materia e l'energia generando le esplosioni stellari.



immagine composita a diverse lunghezze d'onda ottenuta con tre telescopi spaziali.

<https://www.spitzer.caltech.edu/image/ssc2004-15a1-composite-view-of-keplers-supernova-remnant-sn-1604>