

Università di Udine, Facoltà di Scienze della Formazione  
**Corso di Storia della Scienza (7)**  
**La scienza araba e medievale**  
**Astronomia da Tolomeo a Copernico**



**Universitas Studiorum Utinensis**

**Giorgio T. Bagni**  
 Dipartimento di Matematica e Informatica  
 Università di Udine  
[bagni@dimi.uniud.it](mailto:bagni@dimi.uniud.it)  
[www.syllogismos.it](http://www.syllogismos.it)

**“Il miracolo arabo” (G. Loria)**

- Il ruolo della civiltà araba, che nel volgere di circa un centinaio d’anni (tra il VII e l’VIII secolo) estese il proprio dominio ad una notevole parte del mondo conosciuto, fu molto importante nella storia della scienza in generale e nella storia della matematica in particolare.
- **L’effettiva originalità dei contributi arabi è dibattuta**; in ogni caso, possiamo affermare con certezza che la gran parte dell’esperienza matematica del mondo antico ebbe garantita la sopravvivenza proprio grazie all’azione politica e culturale degli Arabi.

**“Il miracolo arabo” (G. Loria)**

- “Una volta completate le loro conquiste, gli antichi nomadi si diedero a costruire una civiltà e una cultura e piuttosto rapidamente svilupparono un crescente interesse per le arti e le scienze. Si suole parlare della matematica araba, ma essa era araba essenzialmente soltanto di lingua. La maggior parte degli studiosi erano greci, cristiani, persiani ed ebrei. **Gli Arabi si dedicarono anche a migliorare le traduzioni già esistenti e scrissero dei commentari.** Furono queste traduzioni, alcune delle quali giunte fino a noi, che passarono più tardi in Europa quando gli originali greci erano già andati perduti” (Kline, 1991, I, pp. 223-224).

**“Il miracolo arabo” (G. Loria)**

- È dunque usuale fare riferimento alla matematica araba intendendo con tale denominazione l’opera di ricerca, di rielaborazione o di traduzione di coloro che, indipendentemente dall’origine o dalla religione, scrissero in arabo.
- Attraverso gli Arabi fu possibile **la diffusione della notazione numerica posizionale nell’Europa medievale**, in sostituzione del sistema additivo romano, scomodo e divenuto insufficiente rispetto alle crescenti esigenze di praticità che caratterizzavano la matematica medievale.

**Il contributo degli Arabi all’ottica geometrica**

- “La matematica era studiata dagli Arabi soprattutto per far avanzare le scienze che essi coltivavano. L’obiettivo, nuovo nella storia della scienza, era quello di acquisire il dominio della natura” (M. Kline).
- **Alkindi** (800-873) scrisse *De aspectibus* mostrando di essere buon conoscitore delle teorie ottiche euclidee.
- L’astronomo e matematico **Ibn Haitam** detto **Alhazen** (965-1039) scrisse *Opticae Thesaurus Libris Septem*, tradotto in latino nel XII secolo da Gherardo da Cremona: si ribalta l’impostazione euclidea sulla propagazione della luce, sostenendo che i raggi visivi partono dagli oggetti per giungere all’occhio.

**Il contributo degli Arabi all’ottica geometrica**

- Il “problema di Alhazen” sarà ripreso da Vitellione...
- e infine trattato da Ch. Huygens, nel XVIII secolo, con l’applicazione di metodi geometrici.



## Altri settori della scienza araba

- Oltre alla matematica e all'ottica, gli scienziati arabi svilupparono in particolare l'astronomia e la medicina.
- La medicina araba è esposta sistematicamente nelle opere di **Avicenna**.
- Grande importanza per la diffusione della dottrina aristotelica in Europa ebbe l'arabo di Cordova **Averroè** (1126-1198), filosofo, giurista, medico e teorico dell'astronomia.



## Il medioevo e la tecnologia

- “Con la nascita delle **università** (...), a partire di fatto dal secolo XIII lo studio dei classici e l'approfondimento di antiche o nuove tematiche, promosso soprattutto negli ambienti artigianali, mise capo ad una serie di rinascite anche della tradizione scientifica. (...) Dal punto di vista dell'innovazione tecnologica il Medioevo costituisce indubbiamente uno dei periodi più geniali e fecondi. La **diffusione del materiale scritto**, dapprima la pergamena e poi la carta, che risultò particolarmente rilevante per il mondo universitario, oltre che per il mondo giuridico e per i commercianti, fu la più cospicua di tali innovazioni” (Pizzamiglio, 2001, p. 129).

## Oltre Aristotele: il moto nel medioevo

- La **dottrina di Aristotele** (unita al **geocentrismo tolemaico**, che esamineremo) si collega con la **teologia scolastica** e dunque diventano parte integrante dell'insegnamento cristiano.
- La teoria aristotelica del moto subì però alcune modifiche già a partire dal VI secolo.
- Il bizantino **Giovanni Filopono** **contrastò l'antica impostazione secondo la quale ogni moto implica la presenza di un motore esterno** e suggerì l'esistenza di una “forza” che, attribuita ad esempio ad un proiettile al momento del lancio, sia responsabile dell'intera traiettoria.

## I secoli XIII-XIV

- Nel XIV secolo le idee di Giovanni Filopono vennero riprese a Parigi da G. Buridano che propose la teoria dell'*impetus*.
- Contemporaneamente, a Oxford, si fanno i primi tentativi di ottenere una descrizione matematica del moto.
- Importante, in questo periodo, è il ruolo dell'astronomia: la **compilazione di tavole astronomiche** rende possibile lo studio matematico dei movimenti degli astri e costituisce dunque un primo approccio alla meccanica celeste.

## Latitudo formarum e serie numeriche: Nicola d'Oresme (1323-1382)

- Con il *Tractatus de latitudinibus formarum* (1361), Nicola indicò un primitivo sistema di coordinate.
- Per rappresentare un moto, indicò come “**longitudini**” (**orizzontalmente**) gli intervalli di tempo e come “**latitudini**” (verticalmente) le velocità:



## Latitudo formarum e serie numeriche: Nicola d'Oresme (1323-1382)

$$\sum_{i=1}^{+\infty} \frac{1}{i} = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8} + \dots$$

$$\sum_{i=1}^{+\infty} \frac{1}{i^2} = 1 + \frac{1}{2^2} + \left(\frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2}\right) + \left(\frac{1}{5^2} + \frac{1}{6^2} + \frac{1}{7^2} + \frac{1}{8^2}\right) + \dots$$



Le (infinite) parentesi contengono 2, 4, 8, 16, ... addendi: **la serie è divergente** in quanto la somma di ciascuna parentesi è maggiore di 1/2 (anche se questa serie cresce molto lentamente: per superare 20 servono **272 400 200 termini**).

## Astronomia pretolemaica

- Attività astronomica in **Cina** a partire dal 2000 a.C.
- Osservazioni accurate in **Egitto, Babilonia, India**.
- **Pitagorici**: la terra è sferica ed è in moto intorno a un fuoco centrale.
- Scuola di Alessandria (dal IV secolo a.C.):  
**Aristarco** suggerisce la teoria eliocentrica;  
**Eratostene** ottiene una misura del meridiano terrestre;  
**Ipparco** precessione degli equinozi;  
e intorno al 130 d.C. **Tolomeo** introduce un'importazione che sarà accettata per circa 1400 anni...



## Claudio Tolomeo

- **Claudio Tolomeo** di Alessandria (?-168), matematico, astronomo e geografo, scrisse *Sintassi* o *Collezione matematica*, rinominata *Almagesto* (il significato arabo del nome è “il più grande”).
- In essa si trova la **teorizzazione dell'ipotesi geocentrica dell'universo**.



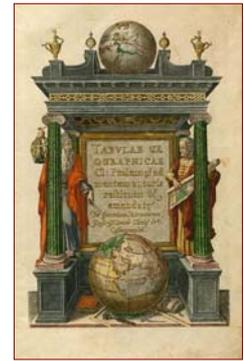
## Claudio Tolomeo

- A Tolomeo sono dovuti alcuni risultati che oggi consideriamo propri della **trigonometria**.
- Sebbene il termine “trigonometria” sia stato introdotto soltanto nel 1613 da Bartholomaeus Pitiscus (1561-1613), gli studi di trigonometria sferica collegati all'astronomia ebbero origine a Rodi e ad Alessandria, ad opera di Ipparco, di Menelao e dello stesso Tolomeo.
- Tolomeo ottenne inoltre l'**approssimazione di  $\pi$  espressa da 3,14167**, considerata la più accurata tra quelle ottenute nell'Antichità.



## La cartografia tolemaica

- Il contributo tolemaico più significativo è nella **cartografia**: ricordiamo la *Geografia*, in 8 libri, e il *Planisphaerium*, opera diffusa fino al Rinascimento.
- La “teoria delle carte” si occupa di rappresentare matematicamente la superficie terrestre su di un piano a scala assegnata.



## La cartografia tolemaica

- Problema: **la forma della terra non è assimilabile a quella di una sfera**.
- C.F. Gauss e F.W. Bessel nel 1840 definirono un'ipotetica forma della superficie terrestre come quella superficie di equilibrio idrostatico assunta dalla superficie degli oceani (senza considerare i fenomeni accidentali o periodici che possono modificarla, quali, ad esempio, le maree)
- Nel 1878 il fisico e geodeta J.B. Listing denominò **geoide** tale figura solida: non è però nota una definizione matematica del geoide e perciò è accettata la sua approssimazione con un opportuno ellissoide di rotazione, denominato **ellissoide di riferimento**.



## La cartografia tolemaica

- La superficie del geoide (ellissoide di riferimento) non è sviluppabile su di un piano (come per un cilindro).
- L'**inevitabile approssimazione** è costituita da distorsioni o da variazioni delle dimensioni relative.
- Un'inesistente “carta ideale” dovrebbe essere:  
**equidistante** (due segmenti congruenti sullo sviluppo del geoide dovrebbero essere congruenti sulla carta),  
**conforme** (due angoli congruenti sullo sviluppo del geoide dovrebbero essere congruenti sulla carta),  
**equiestesa** (due superfici aventi aree uguali sullo sviluppo del geoide dovrebbero avere rappresentazioni di uguale area sulla carta).



## La cartografia tolemaica

- Sembra che Tolomeo sia stato il primo ad affrontare il problema della cartografia. Due sono i metodi indicati:
- la **proiezione ortografica**, riportata nell'*Analemma* (forse ripresa da Ipparco; del problema si era occupato Vitruvio), consistente nel proiettare i punti della superficie terrestre su tre piani perpendicolari;
- e la **proiezione stereografica**, descritta nel *Planisphaerium*, in cui i punti sono proiettati dal polo sud al piano dell'equatore. La caratteristica del metodo è la **conservazione nella carta degli angoli della realtà**. Nella proiezione stereografica, cerchi hanno per corrispondenti cerchi (a parte, ad esempio, nel caso di un meridiano, a cui corrisponde una retta).



## La cartografia tolemaica

- La proiezione stereografica fu una pietra miliare: **nessun altro procedimento cartografico sarà messo a punto sino al tramonto del Medioevo.**
- Spesso Tolomeo si collega all'*Optica* di Euclide: ciò conferma la connessione tra le ricerche cartografiche e lo sviluppo della geometria.
- La cartografia influenzò la prospettiva rinascimentale: importante sarà la diffusione nella Firenze del Quattrocento delle traduzioni di Tolomeo.



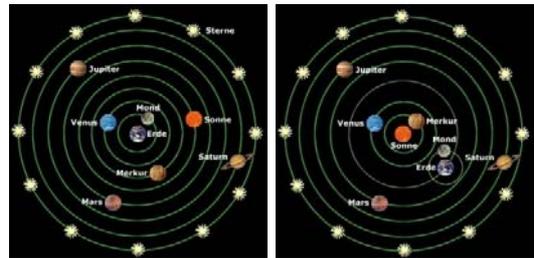
## Una data importante: 1453, Copernico

- Dopo il periodo arabo (in cui vengono comunque effettuate molte osservazioni), nel **1453** il polacco **Nikolaj Kopernik** (Nicola Copernico, 1473-1543) propone la teoria eliocentrica.
- Nel *De revolutionibus Orbium Coelestium libri VI*, scritto a partire dal 1530, Copernico resta legato al **moto circolare dei pianeti** (in ossequio al "principio di perfezione").
- Tale scelta fu la causa di un livello di imprecisione, rispetto alle osservazioni effettuate, non molto dissimile da quello ottenuto sulla base della teoria tolemaica.



## La teoria eliocentrica

- La teologia contrastò la "**rivoluzione copernicana**": la terra avrebbe dovuto infatti collocarsi immobile al centro dell'universo.



## La teoria eliocentrica

- Anche l'interpretazione letterale di alcuni passi della Bibbia portava a privilegiare un'impostazione geocentrica.
- All'originale impostazione copernicana, come sopra accennato, erano connessi diversi problemi.
- La teoria eliocentrica sarà radicalmente perfezionata nel corso del secolo e mezzo successivo grazie alle leggi di **Keplero**, alle osservazioni mediante il cannocchiale di **Galileo** e alla teoria della gravitazione di **Newton**.



## Tyge Brahe

- Il danese Tyge Brahe (1546-1601) rifiutò la teoria eliocentrica copernicana sulla base di alcune osservazioni.
- Tentò di rilevare e di misurare la **parallasse stellare**, cioè il moto apparente delle stelle descritto sulla volta celeste a causa del moto della Terra nella propria orbita intorno al Sole.



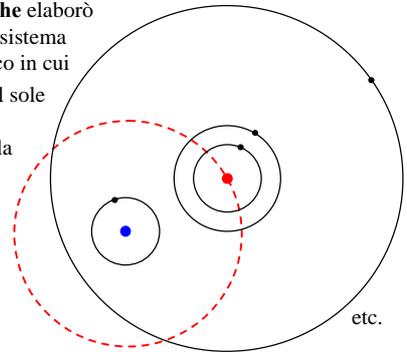
## Tyge Brahe

- I tentativi, per quanto accurati (condotti con strumenti molto precisi, realizzati dallo stesso astronomo), di Brahe non ebbero esito positivo.
- Brahe fu così portato a concludere che la Terra **non poteva muoversi intorno al Sole.**



## Tyge Brahe

- **Tyge Brahe** elaborò un nuovo sistema geocentrico in cui la luna e il sole ruotano intorno alla terra e i pianeti ruotano intorno al sole.



**A tutti grazie dell'attenzione**

