Università di Udine, Facoltà di Scienze della Formazione

Corso di Storia della Scienza (9)
La nascita della scienza moderna
Kepler, Galileo e il movimento

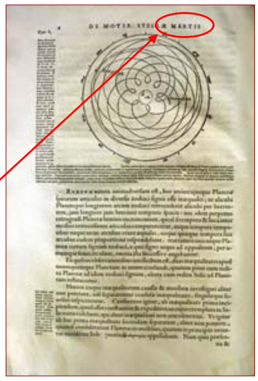
Universitas Studiorum Utinensis

Giorgio T. Bagni

Dipartimento di Matematica e Informatica
Università di Udine
bagni@dimi.uniud.it
www.syllogismos.it

Kepler e la meccanica celeste

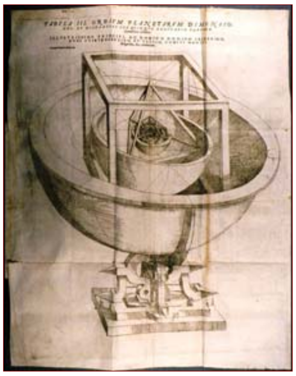
- **Johannes Kepler** (1571- 1630) pubblicò nel 1601 *Astronomia nova seu physica coelestis*.
- **Kepler si basava sulle osservazioni di Marte (effettuate da Brahe)** e nota una **discrepanza regolare rispetto alle previsioni** basate sulla teoria copernicana.

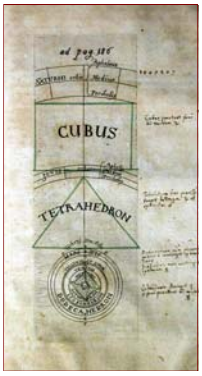


Kepler e la meccanica celeste

- Da ciò deduce che la velocità del moto intorno al sole non è costante (**II legge di Kepler**: i settori di ellisse descritti dalla congiungente Sole-pianeta hanno aree uguali se considerati in tempi uguali)
- Ciò è possibile se le orbite non sono circolari, ma ellittiche (**I legge**).

Kepler e la meccanica celeste





Kepler e la meccanica celeste

- La **III legge di Kepler** (secondo la quale i quadrati dei tempi di rivoluzione dei pianeti sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle ellissi descritte) risale al 1619 (fu pubblicata nell'opera *Harmonices mundi*).

Kepler e la meccanica celeste

- Al di là delle questioni metodologiche, affrontate in questo periodo da Galileo e da Descartes, Kepler basa la propria ricerca sull'**applicazione della matematica.**
- Le leggi di Kepler saranno riformulate da Isaac Newton (1687) sulla base del proprio approccio dinamico.

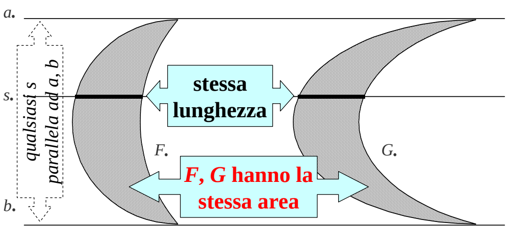
Kepler e il calcolo infinitesimale

- Kepler nel 1615 pubblicò il trattato *Geometria Doliorum*; in tale opera egli si mostrava in grado, ad esempio, di calcolare correttamente il volume del toro (esemplificando un caso particolare del teorema detto di Pappo-Guldino); ovvero, considerato un toro ottenuto dalla rotazione di un cerchio intorno ad un retta complanare ed esterna ad esso.
- Nei procedimenti di Kepler sono presenti alcuni elementi (come la suddivisione di una superficie in parti "estremamente sottili") che verranno sviluppati nel **metodo degli indivisibili** di Cavalieri, un seguace di Galileo.

Una nota importante: Cavalieri e gli indivisibili

- Bonaventura Cavalieri (1598-1647) mise a punto il **metodo degli indivisibili…**
- **…un versatile strumento di ricerca!**
- Cavalieri riprese anche alcune idee di Kepler, G. Roberval (1602-1675), E. Torricelli (1608-1647).

Il principio di Cavalieri
Un esempio di geometria piana



Cavalieri e la *reductio ad absurdum*

- Il metodo di Cavalieri, talvolta presentato nella pratica didattica, richiede un'introduzione storica.
- **Cavalieri mostrò avversione per i metodi indiretti**: la *reductio ad absurdum* fu usata solo nella Proposizione 12 del II libro della *Geometria indivisibilibus continuorum*; e pochi anni dopo, Cavalieri stesso diede una nuova dimostrazione, diretta, di tale risultato.
- I matematici del XVII secolo richiedevano procedimenti efficaci, ma **il metodo di Cavalieri non appariva del tutto "rigoroso"…**

Cavalieri e il rigore

- Tuttavia **il rigore deve essere esaminato nel proprio contesto concettuale**.
- È impossibile che i matematici nella storia abbiano potuto rifiutare un procedimento…
- … a causa di una debolezza fondazionale **evidenziabile solo attraverso il nostro approccio moderno!**

Ma torniamo a Galileo

- **Galileo Galilei** (1564-1642) è certamente una delle figure chiave per la nascita della fisica moderna. I suoi contributi possono essere così sintetizzati:
- aspetto filosofico: l'**esperienza** è supporto essenziale per la conoscenza;
- aspetto metodologico: importanza della trattazione **matematica** nell'elaborazione teorica (Loria, 1938);
- aspetto fenomenologico: considerazione del **sistema di riferimento.**
- Il metodo scientifico che si riconduce a Galileo è assolutamente decisivo per la conoscenza scientifica ottenuta negli ultimi trecentocinquant'anni.

L'evoluzione della meccanica

- I quattro grandi protagonisti dell'evoluzione della meccanica sono:

  Galileo

  Newton

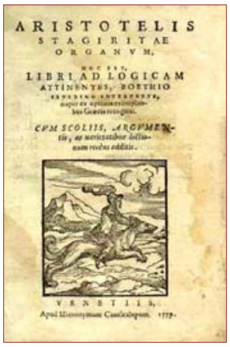
  Einstein

  Heisenberg
- La "relatività galileiana" si è basata sulla corretta considerazione delle leggi della meccanica rispetto ad un sistema di riferimento ed alle trasformazioni di tale sistema. Un'impostazione modernissima che ritroveremo nell'approccio di Einstein.

Esperienza e matematica

- Questione epistemologica aperta: **secondo Galileo i due fattori principali della ricerca sono "sensate esperienze e certe dimostrazioni".** Ma non viene chiarita la natura della connessione tra aspetto sperimentale e rigore matematico (evidenziato ad esempio da Koyré).
- "La grandezza di Galileo non va cercata soltanto nelle sue scoperte, nelle sue battaglie culturali, nelle sue indicazioni metodologiche, ma anche nei problemi che ha saputo aprire lasciandoli in eredità ai propri continuatori" (Geymonat, 1977).

L'infinito: la tradizione aristotelica

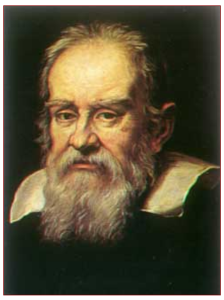


- Aristotele notava implicitamente che la somma di una serie di "infiniti" addendi **può essere limitata.**
- **Ma per Aristotele l'infinito è inteso esclusivamente in senso potenziale!**
- Per l'infinito **attuale** dovremo attendere il XIX secolo.

Galileo e l'infinito

- "Concedo dunque ai signori filosofi che il continuo contiene tante parti quante piace a loro [dotate di misura, seppur minore di qualsiasi altra prefissata piccola a piacere], e gli ammetto che le contenga in atto o in potenza, a loro gusto e beneplacito (...) [Una linea] contiene ella infiniti punti: chiamateli poi in atto o in potenza, come più vi piace, ché io (...) in questo particolare mi rimetto arbitrio e giudizio" (cit. in Arrigo & D'Amore, 1992, p. 75).
- Inoltre Galileo indicò la corrispondenza biunivoca tra i naturali e i quadrati, in contrasto con l'assioma euclideo secondo cui il tutto è maggiore della parte.

Il tutto e la parte: una cruciale "nozione comune"



- Citiamo Galileo:
- "Io non veggo a che altra decisione si possa venire, che a dire, infiniti essere tutti i numeri, infiniti i quadrati, né la moltitudine de' quadrati esser minore di quella di tutti i numeri, né questa maggior di quella;
- e in ultima conclusione gli attributi di eguale, maggiore, minore non aver luogo ne gl'infiniti, ma solo nelle quantità terminate" (*Discorsi*, prima giornata).

Il tutto e la parte: Bernhard Bolzano nel 1851 riprenderà Galileo Galilei

- I numeri naturali e i naturali quadrati:

0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**…**
0	**1**	**4**	**9**	**16**	**25**	**36**	**…**

- Ma siamo nel XVII secolo, e i tempi non sono ancora maturi per l'**infinito attuale**.
- **Bernhard Bolzano** (1781-1848), in *Paradoxien des Unendlichen* (1851), noterà che il paradosso galileiano secondo cui è possibile stabilire una corrispondenza biunivoca tra un insieme ed un suo sottoinsieme proprio, è caratteristica degli insiemi infiniti.
- Osservazione preziosissima che sarà ripresa alcuni anni più tardi da Dedekind…

La fondamentale definizione di Richard Dedekind (1831-1916)

- **Richard Dedekind** introdusse la **definizione di insieme infinito**.
- È un insieme che **può essere messo in corrispondenza biunivoca con una sua parte propria**.
- In contrasto con la celebre VIII nozione comune euclidea!

Il grande protagonista: Georg Cantor

- La nozione aristotelica di **infinito potenziale** influenzò il pensiero matematico per oltre due millenni.
- L’apertura definitiva all’**infinito attuale** si ha soltanto nel XIX secolo per opera di **Georg Cantor** (1845-1918).

A tutti grazie dell’attenzione