

Matematica x Tutti - 17 ottobre 2023

**Archimede di Siracusa,  
un grande scienziato dell'antichità**

Lunghezza della circonferenza, area del cerchio, volume e  
superficie dei solidi rotondi (cilindro, cono e sfera)

Luigi Tomasi



Con il contributo della  
**Fondazione  
Cassa di Risparmio  
di Padova e Rovigo**

# Matematica per tutti

Un piccolo corso di presentazione della matematica, con riferimenti storici e ai suoi apporti logico filosofici. La matematica è alla base delle Scienze e della Tecnologia ed ha sempre più vaste applicazioni; quindi fa parte della preparazione del cittadino. Il corso è rivolto a chi ha una preparazione di scuola superiore e voglia rivedere o approfondire, anche dal punto di vista storico e culturale, alcuni concetti fondamentali di matematica.

## Prima parte: ottobre-novembre 2023

DATA	TEMA	RELATORE
Martedì 03/10/2023	Origini della matematica. La matematica greca: la geometria, ma non solo (Euclide, III sec. a.C.)	Luigi Tomasi
Martedì 17/10/2023	Archimede: la misura della lunghezza della circonferenza, dell'area del cerchio, del volume e superficie dei solidi rotondi (cilindro, cono e sfera)	Luigi Tomasi
Martedì 31/10/2023	Le coniche. Elisse, parabola e iperbole (da Apollonio di Perga al Seicento...)	Luigi Tomasi
Martedì 14/11/2023	La trigonometria (Tolomeo, i matematici arabi, Copernico...); le funzioni goniometriche	Luigi Tomasi

## Seconda parte: maggio-giugno 2024

DATA	TEMA	RELATORE
Martedì 07/05/2024	L'algebra, il contributo della matematica araba e gli algebristi italiani del Cinquecento	Luigi Tomasi
Martedì 14/05/2024	La geometria analitica (Cartesio e Fermat)	Luigi Tomasi
Martedì 21/05/2024	La nascita del calcolo differenziale e integrale (Newton e Leibniz); la Matematica e la rivoluzione scientifica del Seicento	Luigi Tomasi
Martedì 28/05/2024	Gli sviluppi dell'analisi matematica, da Eulero alla nascita del concetto di limite	Luigi Tomasi
Martedì 04/06/2024	Il calcolo delle probabilità e le sue applicazioni	Luigi Tomasi
Martedì 11/06/2024	La teoria degli insiemi. La crisi dei fondamenti. La "matematica moderna". Matematica e Informatica. Matematica dappertutto.	Luigi Tomasi

### CRONOLOGIA

- 360	Eudoxus on proportion and exhaustion (approx.)	- 347	Death of Plato
- 350	Menaechmus on conic sections (approx.) Dinostratus on quadratrix (approx.)	- 332	Alexandria founded
- 335	Eudemus: <i>History of Geometry</i> (approx.)	- 323	Death of Alexander
- 330	Autolyceus: <i>On the Moving Sphere</i> (approx.)	- 322	Deaths of Aristotle and Demosthenes
- 320	Aristaeus: <i>Conics</i> (approx.)	- 311	Beginning of Seleucid Era in Mesopotamia
- 300	Euclid's <i>Elements</i> (approx.)	- 306	Ptolemy I (Soter) of Egypt
-287ca.	<b>Nascita di Archimede</b>	- 283	Pharos at Alexandria
- 260	Aristarchus' heliocentric astronomy (approx.)	- 264	First Punic War opened
- 230	Seive of Eratosthenes (approx.)	- 232	Death of Asoka, the "Buddhist Constantine"
- 225	<i>Conics</i> of Apollonius (approx.)	- 210	Great Chinese Wall begun
- 212	Death of Archimedes	- 166	Revolt of Judas Maccabaeus
- 180	Cissoid of Diocles (approx.) Conchoid of Nicomedes (approx.) Hysicles and 360° circle (approx.)		

### Cronologia sintetica

ellenismo greco (323 – 31 a.C.)

ellenismo romano (31 a.C. – 500 d.C. ca.): "[Graecia capta  
ferum victorem cepit](#)"

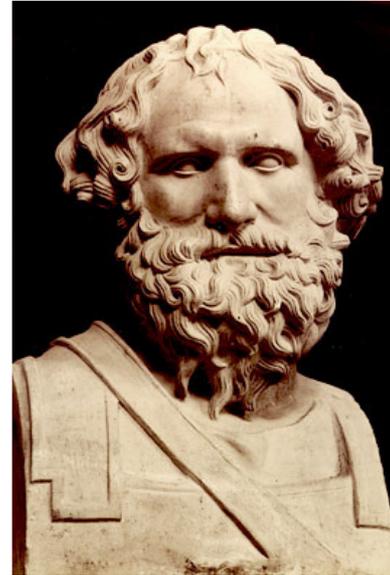
**Euclide di Alessandria** (vissuto tra il IV  
e il III sec. a.C.)

**Archimede di Siracusa** (ca. 287 a.C. – 212 a.C.)

**Apollonio di Perga** (ca. 262 a.C. – 190 a.C.)

## Archimede di Siracusa (287 – 212 a.C.)

- Grande scienziato, forse il più grande dell'antichità e di ogni tempo
- Nato a Siracusa ca. 287 a.C.
- Morì a Siracusa ucciso da un soldato romano durante la conquista di Siracusa da parte dell'esercito romano nel 212 a.C., nella II guerra punica tra Roma e Cartagine.



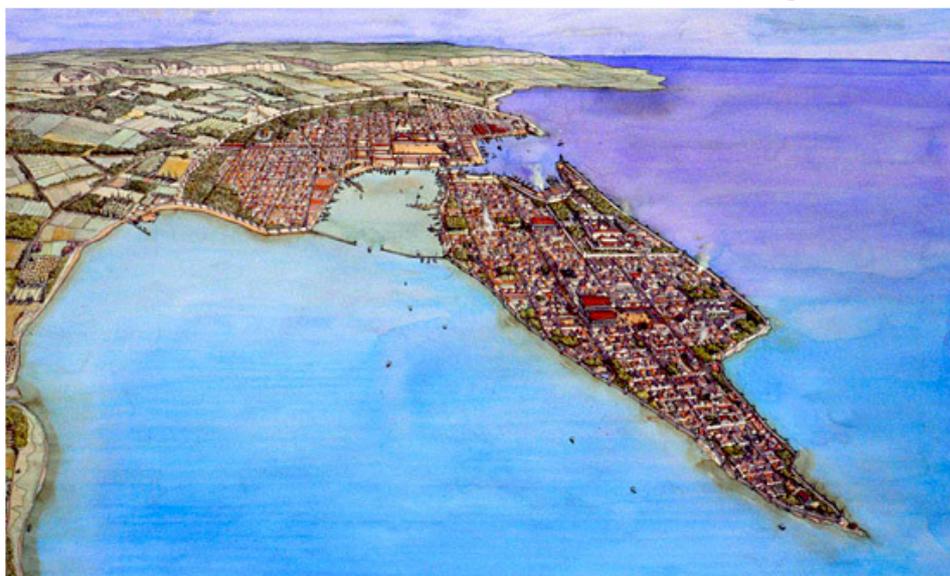
## Il secolo di Archimede: III sec. a.C.

- Si ha la tendenza a pensare Archimede come un genio isolato...
- Così lasciano intendere i racconti straordinari che si raccontano su Archimede e che ne hanno tramandato la memoria nei secoli
- In realtà Archimede è uno dei massimi rappresentanti, se non il più grande di tutti, di uno straordinario sviluppo culturale e scientifico avvenuto nell'età ellenistica.
- Il III sec. a.C. nel quale si svolge la vita del grande scienziato, è l'apice della cultura ellenistica.

## Siracusa nel III sec. a.C.

- Nel III sec. a.C. Siracusa è una grande città del mondo greco; è la capitale della Sicilia
- Purtroppo in quel periodo era alleata di Cartagine...
- Per questo verrà saccheggiata e distrutta dai romani nel 212 a.C. dopo un lungo assedio.
- In questo anno (212 a.C.) Archimede viene ucciso da un soldato romano durante il saccheggio e la conquista della città (questo ci è stato tramandato da Polibio, Vitruvio, ecc.)

## Siracusa nel III sec. a.C. – isola di Ortigia

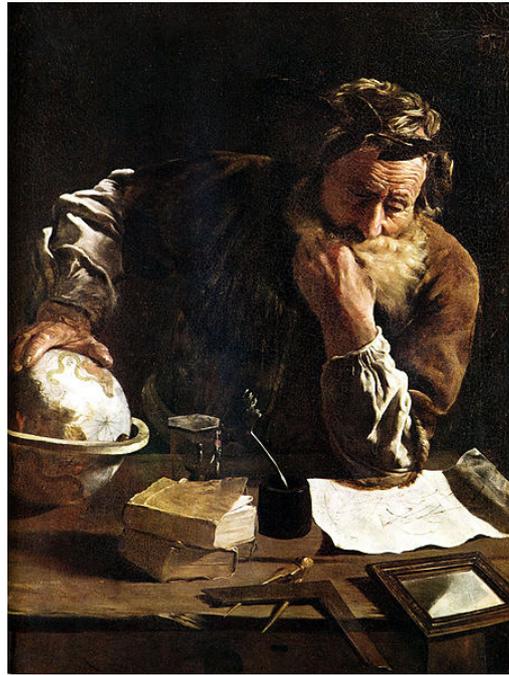




Un mosaico romano che rappresenta Archimede prima della sua uccisione (I sec. d.C.)



Archimede assorto nei suoi studi (di Angelo Fetti, 1620)



L'uccisione di Archimede



La Mort d'Archimède, peinture par Gustave Courtois. — Dessin de Henri Girardet.

## L'uccisione di Archimede



## L'uccisione di Archimede



La morte di Archimede. Thomas Degeorge (1786-1854). Clermont-  
Ferrand, Musée des beaux-arts



Statua di Archimede (a Siracusa)



## **Siracusa cade nel 212 a.C. per mano dei romani e viene saccheggiata e distrutta: uccisione di Archimede**

- Dopo una lunga resistenza, le legioni romane riuscirono a entrare in città per opera del console Marco Claudio Marcello e avvenne la capitolazione. Durante la conquista, un soldato romano uccise Archimede.
- Tutte le ricchezze di Siracusa, accumulate in secoli di egemonia e prosperità, vennero depredate e trasportate a Roma.
- Tuttavia, pur avendo perso la propria autonomia, Siracusa rimase per l'intera epoca romana il centro principale dell'isola. Venne istituita la provincia siracusana e la città fu designata capitale della Sicilia romana.
- Cicerone, approdandovi nel I secolo a.C., la descrisse come «*la più bella e la più grande città greca*» (in *Verrem*, II, 4, 117).

## **Siracusa cade nel 212 a.C. per mano dei romani e viene saccheggiata e distrutta**

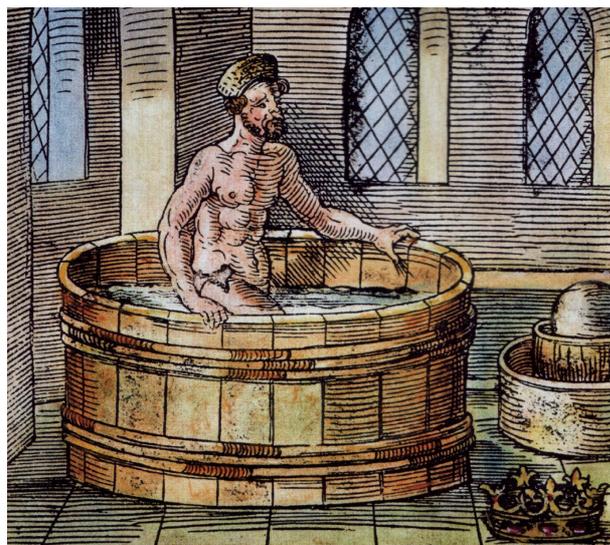
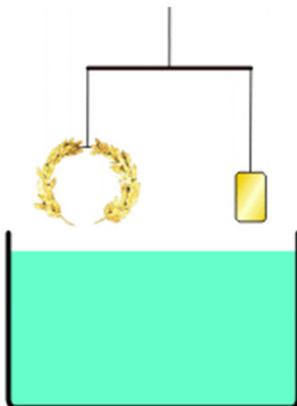


## Due aneddoti leggendari (ma di dubbia veridicità...) su Archimede

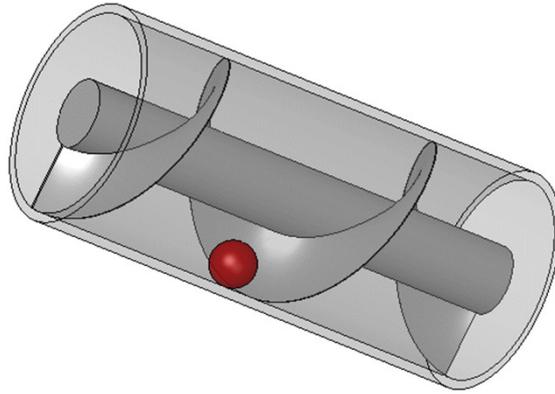
- Nell'immaginario collettivo il ricordo di Archimede è indissolubilmente legato a due aneddoti leggendari.
- Vitruvio (80/70 a.C. - 23 a.C.), *De Architectura* racconta che Archimede avrebbe iniziato ad occuparsi di idrostatica perché il sovrano di Siracusa Gerone II gli aveva chiesto di determinare se una corona fosse stata realizzata con oro puro oppure utilizzando all'interno altri metalli.
- Egli avrebbe scoperto come risolvere il problema mentre faceva un bagno, notando che immergendosi provocava un innalzamento del livello dell'acqua. Questa osservazione l'avrebbe reso così felice che sarebbe uscito nudo dall'acqua esclamando *eureka!*
- Se non si avesse il trattato *Sui corpi galleggianti* non si potrebbe dedurre il livello dell'idrostatica archimedeica dal racconto vitruviano.

## La corona di Gerone II e l'eureka!

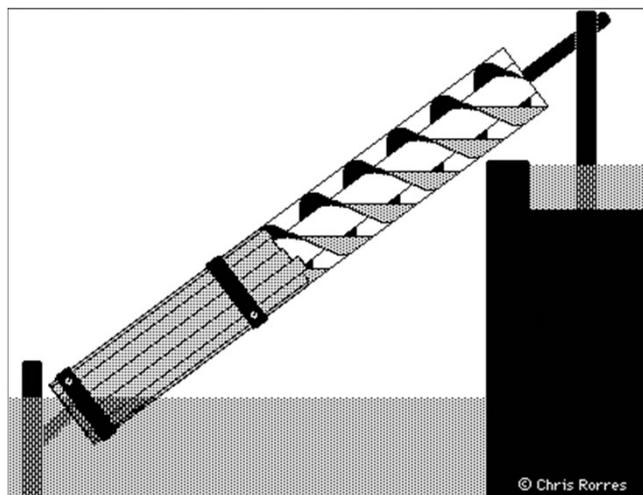
- L'episodio della corona
- Era d'oro?



## Coclea o vite di Archimede



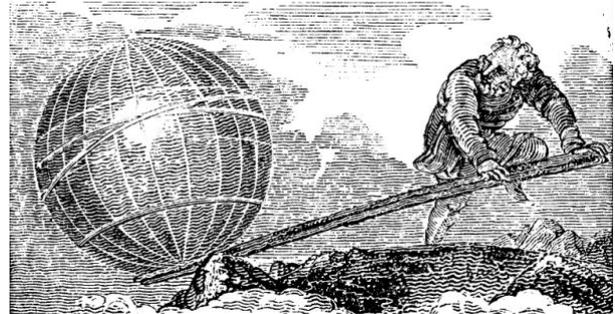
## Coclea o vite di Archimede



La vite di Archimede (animazione di Chris Rorres)

## Datemi un punto di appoggio e vi solleverò il mondo... (aneddoto inventato?)

- Un altro detto attribuito ad Archimede che ha avuto altrettanta fortuna è connesso al suo interesse per la costruzione di macchine capaci di spostare grandi pesi con piccole forze (leve).
- Secondo una storia tramandata da Pappo di Alessandria (300 d.C.), *Collectiones mathematicae* e Simplicio, *Aristotelis Physicorum Libros Commentaria*, lo scienziato, entusiastatosi per le possibilità offerte dalla nuova meccanica, avrebbe esclamato «datemi un punto d'appoggio e vi solleverò il mondo».



## Archimede e il suo genio

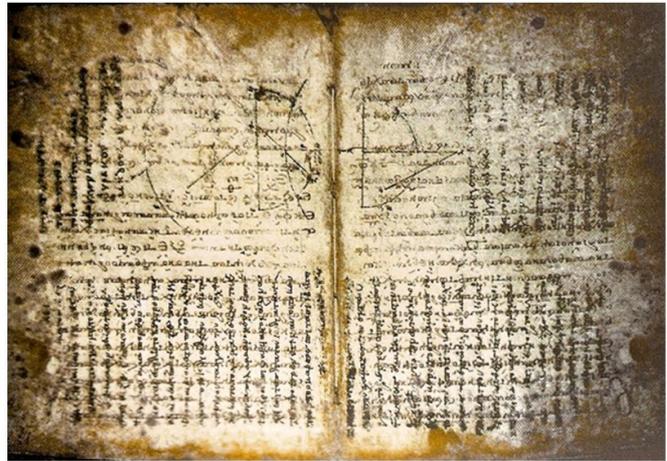
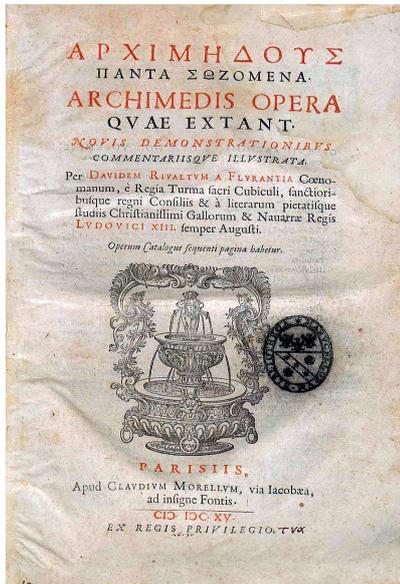
- Questi sono solo due semplici aneddoti della vita del più grande scienziato e matematico dell'età ellenistica (vedere il libro «La rivoluzione dimenticata» di Lucio Russo)
- Il suo genio si può paragonare a quello di Newton.
- La sua mente lo portò a sviluppare concetti originali e temerari per l'epoca, pieni di novità.
- Lo strumento principale che lo condusse a questi risultati fu il "principio di esaustione", intuito già da Ippocrate, ma utilizzato ampiamente e scritto in forma rigorosa da Eudosso di Cnido (408 a.C. - 365 a.C.) e da Euclide (vissuto tra il IV e III secolo a.C.).

## Il metodo di esaustione

- Grazie a tale principio Archimede spinse la sua ricerca fino ai limiti di una "teoria infinitesimale"; riuscì a calcolare l'area di una sfera, l'area di un segmento parabolico e addirittura il volume di un paraboloido di rivoluzione con il suo *Metodo* che sarà l'argomento principale di questa trattazione.
- Con il "metodo" il matematico siracusano arriva ad una teoria infinitesimale che si può definire moderna, molto simile alla teoria degli "indivisibili" di Cavalieri (allievo di Galileo) alla quale il matematico arriverà attraverso altri studi non influenzati dal "metodo" archimedeo, che fino al suo ritrovamento nel 1906 era ritenuto perduto dall'inizio dell'Era Cristiana.

## Come ci sono pervenute le opere di Archimede

- Diversamente dagli *Elementi* di Euclide, dei quali abbiamo parecchi manoscritti greci e arabi, i trattati di Archimede sono pervenuti sino a noi per il tramite di una tradizione manoscritta molto esile.
- Quasi tutte le copie derivano da un unico originale greco che era ancora esistente all'inizio del XVI secolo e che era a sua volta stato copiato da un originale più antico risalente al IX - X secolo circa.
- Vi sono stati periodi in cui poche o addirittura nessuna opera era conosciuta. In tali condizioni è stupefacente che sia sopravvissuta fino a noi una quantità così grande degli scritti di Archimede.



## Sunto dell'intervento

- Si tiene a precisare che quanto qui esposto non ha l'ambizione di essere esaustivo, ma ha l'obiettivo di chiarire quale fosse il grande genio di Archimede e come le sue idee hanno influenzato lo sviluppo della Matematica e più in generale della Scienza.
- Per questo motivo dopo un breve excursus storico basato soprattutto su testi di matematici, storici e filosofi antichi e su racconti leggendari, ci si soffermerà non tanto su un'analisi dettagliata di tutte le opere del Siracusano, ma sul *Metodo*, l'opera che forse meglio riassume il suo pensiero e il suo approccio innovativo alla geometria.

## Archimede: la vita

- Intorno alla vita di Archimede ci sono forse più leggende che documenti storici e ciò amplifica ancora di più il fascino di questo grande scienziato.
- Tutte le fonti concordano sul fatto che fosse siracusano e che sia stato ucciso durante il sacco di Siracusa del 212 a.C.
- Probabilmente Siracusa fu la più importante, ricca e popolosa colonia dorica della Magna Grecia.

## Archimede: la vita

- Tra le poche altre notizie certe vi è inoltre quella, tramandata da Diodoro Siculo, che abbia trascorso un periodo di studio in Egitto (Diodoro Siculo (90 a.C. -27 a.C.), *Biblioteca Historica*), e che ad **Alessandria d'Egitto** strinse amicizia con il matematico e astronomo Conone di Samo.
- Ad Alessandria venne quindi in contatto con il più importante centro di studi matematici dell'età ellenistica e sicuramente studiò sotto la guida dei discepoli di Euclide.
- Tornato a Siracusa, tenne corrispondenza con vari scienziati di Alessandria, tra i quali Dositeo, scolaro di Conone, ed Eratostene, il direttore del Museo di Alessandria, al quale dedicò il trattato *Il Metodo*.

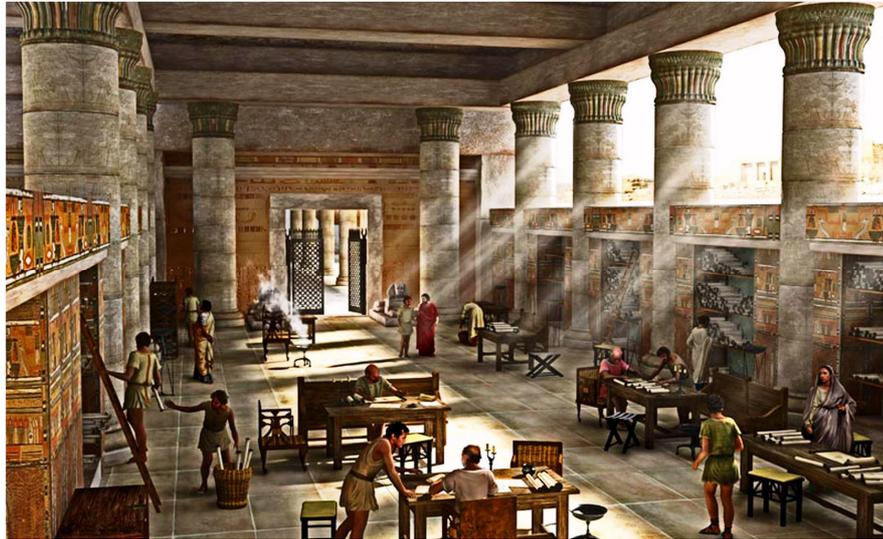
## Alessandria d'Egitto, capitale della scienza ellenistica

- **Alessandria d'Egitto è la capitale della scienza ellenistica al tempo di Archimede e lo resterà per almeno sette secoli.**
- Ma non è l'unica città dove si fa scienza. L'attività di ricerca e di produzione di nuova conoscenza appartiene a tutto il mondo ellenistico (come dimenticare Pergamo, per esempio?) ed è frutto di una serie di cofattori culturali, sociali ed economici che mancheranno totalmente nell'impero romano.
- A Roma, e forse ancora oggi, si dimentica la straordinaria fioritura scientifica che si è realizzata nel mondo ellenistico.

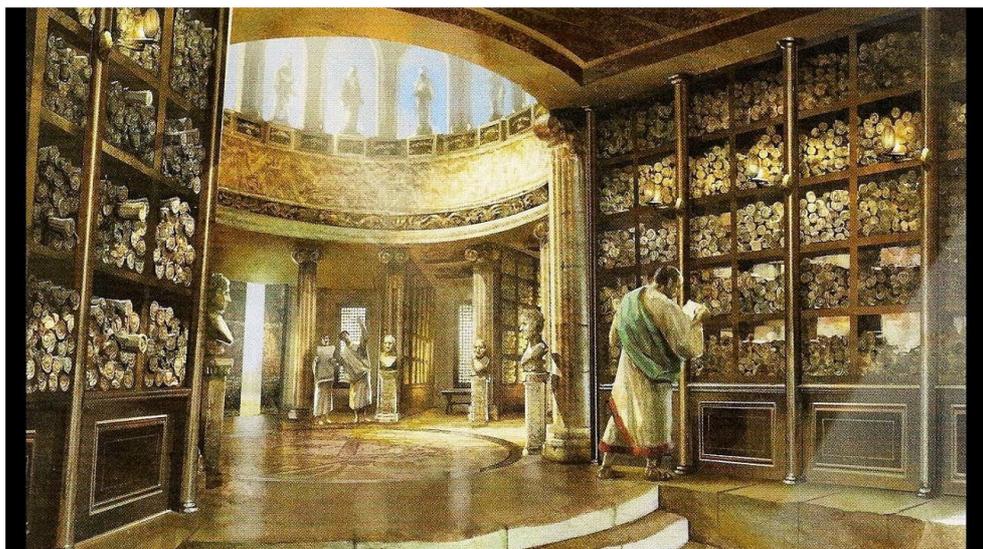
## Alessandria d'Egitto: fondata nel 332 a.C. da Alessandro Magno (356 a.C. – 323 a.C.)



## Alessandria: la grande Biblioteca e il Museo



## Alessandria: la grande Biblioteca e il Museo



## Archimede: la vita

- La fonte che ci dà maggiori informazioni sulla vita dello scienziato siracusano è la narrazione della vita del generale romano Marcello da parte di Plutarco (127 a.C - 46 a.C.), *Vita di Marcello*.
- Secondo lo scrittore greco, Archimede era imparentato con Gerone II (circa 308 a.C. - 216 a.C.) che fu tiranno di Siracusa dal 270 al 216 a.C.; altri studiosi ritengono invece che tra i due vi fosse solo una profonda amicizia.
- Viene di solito accettata come data di nascita quella del 287 a.C., sulla base dell'informazione che Archimede sia morto all'età di 75 anni.
- L'ipotesi che fosse figlio di un astronomo siracusano di nome Fidia, altrimenti sconosciuto, fa pensare che Archimede abbia ereditato dal padre l'amore per le scienze esatte.

## Archimede, le scienze matematiche-fisiche e le applicazioni

- Dalle opere conservate e dalle testimonianze si sa che Archimede si occupò di tutte le branche delle scienze matematiche a lui contemporanee (aritmetica, geometria piana e geometria solida, meccanica, ottica, idrostatica, astronomia, ecc.) e di varie applicazioni tecnologiche.
- Si tramanda anche che si sia occupato di molte applicazioni alla costruzione di macchine belliche (catapulte, baliste, rostri, specchi ustori ?, ecc.) durante la difesa di Siracusa.

## Siracusa e le macchine belliche di Archimede

- Durante la seconda guerra punica (219 - 202 a.C.) la città di Siracusa venne coinvolta nel conflitto tra Roma e Cartagine, ed essendosi schierata dalla parte di quest'ultima, venne assediata dai romani dal 214 al 212 a.C..
- Come già anticipato, Siracusa era una delle maggiori potenze economiche per produzione di olio, grano e vino della Sicilia e di fatto questa sua grandezza la condannò all'occupazione da parte di romani; essa inoltre aveva un importante porto.
- Polibio (206 a.C. - 124 a.C.), *Historiae*, Tito Livio (59 a.C - 17 d.C.), *Ab Urbe condita libri* e Plutarco riferiscono che durante la seconda guerra punica, su richiesta di Gerone II, Archimede si dedicò (a detta di Plutarco con minore interesse, ma certamente con successo) alla realizzazione di macchine belliche che potessero aiutare la sua città a difendersi dall'attacco di Roma.

## Archimede: la difesa di Siracusa

- Sempre Plutarco racconta che, contro le legioni e la potente flotta di Roma, Siracusa non disponeva che di poche migliaia di uomini e *del genio di un vecchio*; le macchine di Archimede avrebbero tenuto lontane dalla costa le sessanta imponenti quinquereme di Marco Claudio Marcello.
- Archimede inventò ingegnose macchine come catapulte per lanciare pietre; corde, carrucole e ganci per sollevare e schiantare le navi romane; dispositivi per sviluppare incendi sulle navi.
- Nel 212 a.C., però, Siracusa cadde nelle mani dei romani a opera di una "quinta colonna". Archimede fu ucciso durante il sacco della città da un soldato romano, nonostante l'ordine di Marcello di catturarlo vivo.

## Archimede: la matematica e le applicazioni

- L'importanza di Archimede per lo sviluppo della matematica va sicuramente oltre l'invenzione di geniali macchine da guerra.
- Gli storici concordano nel dipingere lo scienziato siracusano come una persona che attribuiva scarso valore ai suoi "congegni meccanici" rispetto ai "prodotti" della sua attività intellettuale.
- Anche quando trattava di leve e di altre ingegnose macchine, Archimede era molto più interessato ai principi generali che le governavano che alle loro applicazioni pratiche.

## Archimede: la morte (secondo Plutarco)

- Secondo la leggenda le ultime parole di Archimede, rivolte al soldato romano che stava per ucciderlo furono: «Noli turbare circulos meos», Valerio Massimo, *Factorum et dictorum memorabilium libri*.
- Plutarco, dal canto suo, narra tre differenti versioni della morte di Archimede. Nella prima afferma che un soldato romano avrebbe intimato ad Archimede di seguirlo da Marcello; al suo rifiuto di farlo prima di aver risolto il problema cui si stava applicando, il soldato lo avrebbe ucciso.
- Nella seconda, un soldato romano si sarebbe presentato per uccidere Archimede e quest'ultimo lo avrebbe pregato invano di lasciargli terminare la dimostrazione nella quale era impegnato.
- Nella terza, dei soldati avrebbero incontrato Archimede mentre portava a Marcello alcuni strumenti scientifici, meridiane, sfere e squadre, in una cassetta; i soldati, pensando che la cassetta contenesse oro, lo avrebbero ucciso per impadronirsene.

## Archimede: la morte secondo Tito Livio

- Secondo Tito Livio e Plutarco, Marcello, che avrebbe conosciuto e apprezzato l'immenso valore del genio di Archimede e forse avrebbe voluto utilizzarlo al servizio di Roma, sarebbe stato profondamente addolorato per la sua morte.
- Questi autori raccontano che fece dare onorevole sepoltura allo scienziato.
- Ciò non è però riferito da Polibio, che è considerato essere la fonte più autorevole sull'assedio e il saccheggio di Siracusa.
- Cicerone racconta di avere scoperto egli stesso la tomba di Archimede grazie ad una sfera inscritta in un cilindro, che vi sarebbe stata scolpita in ottemperanza alla volontà dello scienziato.

## Siracusa: la cosiddetta tomba di Archimede

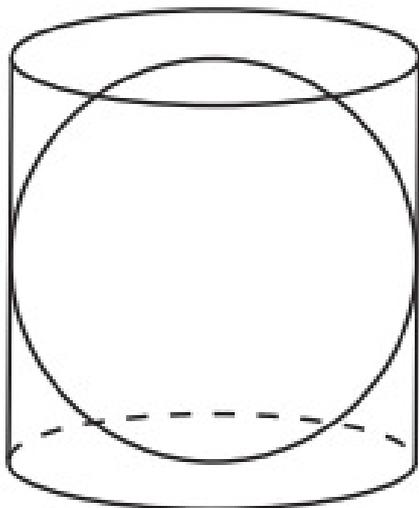


## Il racconto di Cicerone

- *Io questore scoprii la tomba di Archimede, sconosciuta ai Siracusani, cinta con una siepe da ogni lato e vestita da rovi e spineti, sebbene negassero completamente che esistesse. Tenevo, infatti, alcuni piccoli senari, che avevo sentito essere scritti nel suo sepolcro, i quali dichiaravano che alla sommità del sepolcro era posta una sfera con un cilindro. Io, poi, osservando con gl'occhi tutte le cose - c'è, infatti, alle porte Agrigentine una grande abbondanza di sepolcri - volsi l'attenzione ad una colonnetta non molto sporgente in fuori da dei cespugli, sulla quale c'era sopra la figura **di una sfera e di un cilindro**.*

*Cicerone, Tusculanae, 5. 23*

## Il grande teorema e la tomba di Archimede



Il grande **teorema di Archimede** per la sfera e il cilindro equilatero circoscritto:

$$\frac{S_{sfera}}{S_{cilindro}} = \frac{V_{sfera}}{V_{cilindro}} = \frac{2}{3}$$



## Il racconto di Cicerone

- *E allora dissi subito ai Siracusani - c'erano ora dei principi con me - che io ero testimone di quella stessa cosa che stavo cercando. Mandati dentro con falci, molti ripulirono e aprirono il luogo. Per il quale, dopo che era stato aperto l'accesso, arrivammo alla base posta di fronte. Appariva un epigramma sulle parti posteriori corrose, di brevi righe, quasi dimezzato.*
- *Così la nobilissima cittadinanza della Grecia, una volta veramente molto dotta, avrebbe ignorato il monumento del suo unico cittadino acutissimo, se non lo fosse venuto a sapere da un uomo di Arpino.*

Cicerone, *Tusculanae*, 5. 23

## Il metodo di esaustione

### Eudosso di Cnido e il metodo di esaustione

- Ad Eudosso si attribuisce la sistemazione critica della teoria delle proposizioni, indipendentemente dall'incommensurabilità delle grandezze. A lui, secondo l'esplicita testimonianza di Archimede, deve attribuirsi la prima dimostrazione rigorosa dei due teoremi sul volume del cono e della piramide, già enunciati da Democrito e la dimostrazione del teorema sulla proporzionalità dei cerchi con i quadrati dei loro diametri, scoperta da Ippocrate da Chio.

## Archimede ed Eudosso di Cnido: il metodo di esaustione

- È lo stesso Archimede ad esaltare il rigore delle dimostrazioni eudossiane, che dichiara essere simili alle sue, perché si fondavano su principi molto simili da quelli che egli stesso adoperava. Indubbiamente Eudosso è stato il più grande tra i matematici preeuclidei, colui che contribuì maggiormente a stabilire i metodi rigorosi della scienza, il vero precursore di Archimede.
- Giustamente lo si considera come l'autore di quel metodo di dimostrazione, mediante il quale la matematica antica fu in grado di proseguire le ricerche infinitesimali e anticipare il nostro calcolo integrale, del cosiddetto "metodo di esaustione".

## Archimede, La quadratura della parabola con il metodo di esaustione

- Nell'opera di Archimede Quadratura della parabola, il matematico ci fornisce importanti informazioni sulla natura delle dimostrazioni eudossiane:
- *[...]per quanto riguarda il segmento compreso da una retta e da una sezione di cono rettangolo sappiamo che nessuno ha prima di noi tentato di quadrarlo, ciò che da noi è stato ora trovato. Dimostriamo infatti che qualunque segmento compreso da una retta e da una sezione di cono rettangolo è uguale ai quattro terzi del triangolo avente la stessa base altezza uguale al segmento: ciò avendo assunto il seguente lemma per la sua dimostrazione:*
- *date due superficie disuguali, la differenza di cui la maggiore supera la minore è tale che aggiunta ripetutamente a se stessa può superare qualunque superficie preassegnata.*

## Archimede, La quadratura della parabola con il metodo di esaustione

- Anche i geometri anteriori a noi [Archimede] si son serviti di questo lemma: infatti se ne sono serviti per dimostrare che i cerchi stanno fra loro in ragione duplicata dei diametri, e che le sfere stanno in ragione triplicata dei diametri, e ancora che ogni piramide è la terza parte del prisma avente la stessa base della piramide e uguale altezza, e che qualunque cono è la terza parte del cilindro avente la stessa base del cono e altezza uguale, ciò assumendo un lemma simile a quello suddetto.
- Accade ora che dei suddetti teoremi ciascuno è considerato non meno degno di fiducia di quelli dimostrati senza questi lemma; a noi basta che venga concessa simile fiducia ai teoremi da noi qui dati.

## Archimede, La quadratura della parabola con il metodo di esaustione

- Il lemma di cui si fa cenno nel passo precedente è il cosiddetto postulato di Archimede. Tale postulato segue facilmente dalla proposizione che Eudosso pose a fondamento della sua teoria generale e che è riportata nella definizione 4 del V libro degli *Elementi* di Euclide:
- *Si dice che hanno tra loro un rapporto quelle grandezze che sono tali che una qualunque di esse moltiplicata può superare una qualunque delle altre.*
- Da questa infatti si deduce che, viceversa, se due grandezze ammettono un rapporto, una di esse moltiplicata può superare l'altra.

## Archimede, La quadratura della parabola con il metodo di esaustione

- Dall'analisi delle dimostrazioni del XII libro degli *Elementi* si nota che esse procedono su uno schema comune. Questa coincidenza non può essere casuale, deve essere stata voluta dall'autore; essa mostra come, giustamente, si sia voluto vedere in quelle dimostrazioni delineato un metodo di dimostrazione, che segue regole determinate e suppone certi principi: il "metodo di dimostrazione per esaustione".
- L'uniformità delle dimostrazioni non può che derivare da un metodo uniforme di ricerca e di scoperta e, nonostante la forma rigorosamente sintetica, le dimostrazioni stesse conservano le tracce di questo metodo. A base di esse si trova un procedimento infinitesimale, che corrisponde all'odierno metodo delle serie convergenti.

## Archimede, Area del cerchio

- Ad esempio, nella XII, 2 degli *Elementi* il cerchio è rappresentato con la serie indefinitamente crescente dei poligono regolari inscritti di 4, 8, 16,... lati.
- Ciascuno di questi poligoni rappresenta un valore approssimato per difetto del cerchio; e il difetto può farsi tanto piccolo quanto si vuole aumentando continuamente il numero dei lati del poligono stesso. La convergenza della serie era assicurata dalla proposizione X, 1 degli *Elementi*

## Archimede, Area del cerchio

- *Date due grandezze disuguali, se si sottrae dalla maggiore una grandezza maggiore della metà, dalla parte restante un'altra grandezza maggiore della metà, e così si procede successivamente, rimarrà una grandezza che sarà minore della grandezza minore assunta.*
- Si avevano così le condizioni per concludere che il limite della serie stessa, quando il numero dei lati divenisse infinitamente grande, era il cerchio.

## Archimede, Area del cerchio

- Ma le dimostrazioni di Euclide (Eudosso) evitano questo passaggio al limite, ed escludono ogni diretta considerazione infinitesimale. Della convergenza della serie esse approfittano solo per affermare che si può inscrivere nel cerchio un poligono, la cui differenza dal cerchio stesso sia *più piccola di qualunque altra grandezza assegnata.*
- Il resto della dimostrazione non è che una riduzione all'assurdo della tesi contraria. La quale non si ottiene che in base all'accennata possibilità di inscrivere un poligono che differisca dal cerchio di tanto poco quanto si vuole.

## Archimede, Area del cerchio

- La riduzione all'assurdo si poteva evitare se fosse stato ammesso il concetto di limite.
- Ma la critica dei concetti infinitesimale non aveva ancora raggiunto quell'alto grado di sviluppo che consentiva di dare di esso una definizione chiara e precisa, atta ad evitare tutti gli equivoci.
- Perciò fu esclusa come mezzo di dimostrazione, sebbene non si possa negare che un concetto primitivo di limite sia stato presentato ed adoperato nelle ricerche, sia pure in una forma per niente semplice ed intuitiva.

## Archimede, Area del cerchio

- Per i geometri greci era evidente che ogni figura aveva la sua area o il suo volume.
- Per dimostrare che l'area o il volume  $A$  di una certa figura è uguale ad un'area o a un volume  $B$ , essi dimostravano che non poteva essere  $A > B$  e  $A < B$ , facendo vedere che qualunque differenza si supponesse tra  $A$  e  $B$ , questa doveva essere minore in qualsiasi grandezza arbitraria.
- La forma negativa che assumono queste dimostrazioni sembra imposta soltanto dall'esigenza di evitare il concetto dell'infinito: sebbene un più libero impiego di tale concetto sia un presupposto necessario delle ricerche preliminari tendenti a determinare la grandezza di  $B$ .

## Affinità e differenze tra Archimede ed Euclide

### Affinità e differenze con Euclide

- Con Euclide si compie il passaggio dalla Geometria basata sull'intuizione e l'approssimazione data dalla figura, alla trattazione teorica, anche se non così "pura" come è stata ritenuta per secoli. Queste esigenze di "purezza" saranno assunte anche da Archimede che farà suoi alcuni metodi dimostrativi del grande matematico di Alessandria.
- Una differenza fondamentale si ha nello stile espositivo, che fa ritenere diverso il pubblico cui erano destinati gli *Elementi* e le opere di Archimede.
- La connotazione di Euclide era di tipo didattico, e seguendo le sue dimostrazioni, talvolta ci sembrano prolisse, proprio per la sua esigenza di non trascurare passaggi, ma di esplicitarli il più possibile. *Gli Elementi* dovevano servire ad educare alla Geometria.

## Affinità e differenze con Euclide

- Archimede in quasi tutte le sue opere geometriche sembra invece mirare a parlare con i dotti, che saranno in grado di integrare le parti che lui dà per ovvie e scontate. Si ha quindi uno stile più sbrigativo, più vicino a quello oggi utilizzato negli articoli scientifici che, casomai, preferiscono citare altri autori piuttosto che riportare integralmente le dimostrazioni.
- Archimede però si attiene alla impostazione euclidea di una trattazione "sintetica" che partendo da postulati presenta i risultati sotto forma di teoremi.
- Parte da Proposizioni primitive ai quali riserva vari nomi: *assunzioni*, oppure *lemmi* e da questi ottiene risultati sempre più complessi.

## Affinità e differenze con Euclide

- Dunque si potrebbe pensare che Archimede continui con la sua opera geometrica gli *Elementi*, anche perché utilizza direttamente i risultati di Euclide.
- Ma la grande novità è che in Archimede compaiono regole di misura e calcoli aritmetici che non sono presenti in Euclide.
- Ed infatti dedica un'opera alla *Misura del cerchio*, un'altra *l'Arenario* ad estendere il concetto (greco) di numero, mostrando come sia possibile (nel finito) esprimere una quantità che dovrebbe essere la più grande possibile, e senza con questo "esaurire" i numeri.

## Archimede: affinità e differenze con Euclide

- Altre opere di Archimede sono dedicate ad un nuovo campo matematico: quella che oggi potrebbe chiamarsi Matematica applicata, non si deve intendere applicazioni ingegneristiche, bensì a questioni teoriche di Fisica risolte mediante lo strumento matematico, come avviene oggi per la Fisica matematica o l'Analisi numerica.
- Dei ritrovati meccanici che resero famoso Archimede nel suo tempo, non si ritrova notizia nelle opere pervenuteci.
- Archimede si può, in un certo senso considerare anche un ingegnere, non tanto per i lavori che faceva "a tempo perso", ma per l'impostazione pratica che conferisce alle sue opere. Si può attribuire infatti a questo suo atteggiamento anche il fatto che la presentazione non mostri esaurientemente tutti i passaggi.

## Archimede: affinità e differenze con Euclide

- Il metodo di esaustione viene usato assai ampiamente negli scritti matematici di Archimede, così come ricorre alla definizione di eguaglianza di rapporto di Eudosso che è in stretta connessione con l'esaustione.
- Nel seguito si vedrà, con maggiori dettagli, il ruolo e l'uso di procedimenti euristici
- Il metodo euristico è un metodo di approccio alla soluzione dei problemi che non segue un chiaro percorso, ma che si affida all'intuito e allo stato temporaneo delle circostanze, al fine di generare nuova conoscenza} nell'opera di Archimede, basandosi spesso, su un principio metafisico di semplicità.

## Archimede, Le opere (qualche accenno)

Presentiamo di seguito un breve commento delle opere più importanti di Archimede, mentre ampio spazio si dedicherà al *Metodo*.

### Archimede, *Arenario*

- L'*Arenario* è un'opera che tocca molte delle branche della scienza che interessarono Archimede oltre alla geometria. In questo trattato il siracusano espone la teoria eliocentrica di Aristarco di Samo (III sec a.C.) e ne discute la veridicità.
- Sempre in ambito astronomico presenta una misurazione, fatta con un antico metodo sperimentale, della grandezza apparente del Sole e della Luna oltre che della Terra.
- Nel suo trattato quindi, si ritrova a dover trattare di grandezze molto grandi, e da qui la necessità di scrivere tali numeri. In quest'ambito si capisce la sua necessità di scrivere per esteso un numero maggiore dei granelli di sabbia contenuti nell'universo.

## Archimede, *Sui corpi galleggianti*

- *Sui corpi galleggianti* è un'opera in due volumi e dà i fondamenti dell'idrostatica. Nel primo volume si trova quello che oggi si chiama il principio di Archimede :

*Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato.*

- In realtà questo principio nell'opera è presentato sotto forma di teorema.
- Inoltre dà una dimostrazione fondata su principi di fisica del fatto che la terra sia sferica, cioè che l'acqua degli oceani, in condizioni di equilibrio, assume una forma sferica.

## Archimede, *Sui corpi galleggianti*

- Il secondo libro parte da un interesse pratico: lo studio della stabilità delle navi.
- Sviluppa allora la teoria sull'equilibrio di segmenti di paraboloide galleggianti.
- Archimede studia la stabilità al variare di due parametri, un parametro di forma e la densità, e determina valori di soglia di entrambi i parametri che separano le configurazioni stabili da quelli instabili.

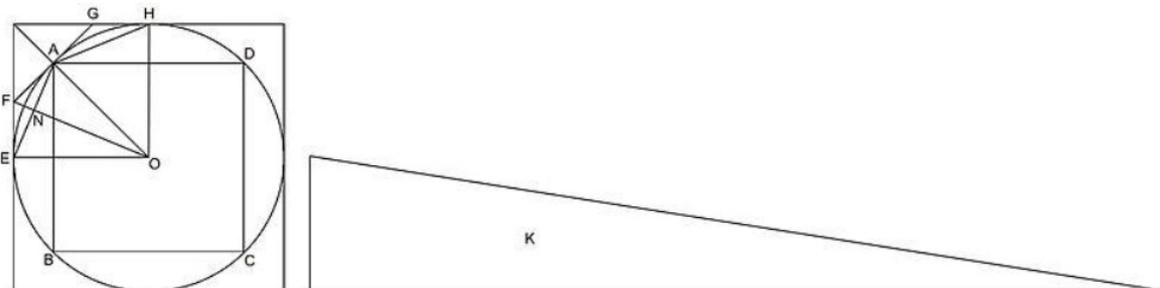
## Archimede, *Misura del cerchio*

- Il nuovo approccio di Archimede rispetto ai problemi geometrici si rivela già in questa breve opera, in tutto tre sole Proposizioni, che si occupa di un problema lasciato irrisolto da Euclide.
- Secondo antichi commentatori, l'opera avrebbe fini pratici: "questo libro è necessario per i bisogni della vita" .
- La precisazione avrebbe lo scopo di non fare credere che Archimede non fosse al corrente dei risultati trovati da altri, sull'irrazionalità di  $\pi$  e la non costruibilità della quadratura del cerchio, ma di fare apprezzare questo trattatello di Calcolo numerico, per il suo vero valore. In altri libri, Archimede dà ampia prova di conoscere i problemi delle grandezze incommensurabili ed i metodi per trattarli.

## Archimede, *Misura del cerchio*

Tra i risultati più importanti di questo trattato c'è il seguente:

- *Proposizione 1. Ogni cerchio è uguale ad un triangolo rettangolo se ha il raggio uguale ad un cateto [del triangolo] e la circonferenza uguale alla base [all'altro cateto].*

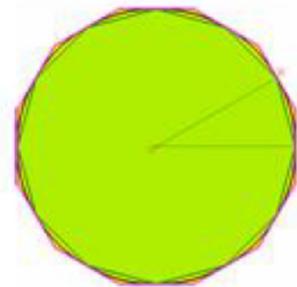
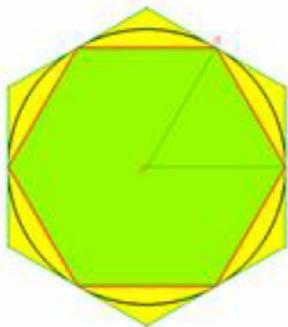


## *Misura del cerchio, il metodo di esaustione*

- La dimostrazione è uno degli esempi più famosi di dimostrazione per **esaustione**.
- Le due successioni utilizzate per arrivare ai due assurdi sono quelle dei poligoni inscritti e circoscritti; che, facendo aumentare il numero dei lati approssimano per difetto ed eccesso la circonferenza.

## *Archimede, Misura del cerchio*

La determinazione di un valore approssimato del numero  $\pi \approx 3,1415\dots$



[Vedi animazione](#)

$$\frac{\text{circonferenza}}{\text{diametro}} = \pi = 3,1415\dots$$

## Archimede, *Misura del cerchio*

- Con lo stesso procedimento Archimede riesce ad approssimare (con approssimazione data) il rapporto tra circonferenza e diametro di un cerchio dato, trovando un valore approssimato di

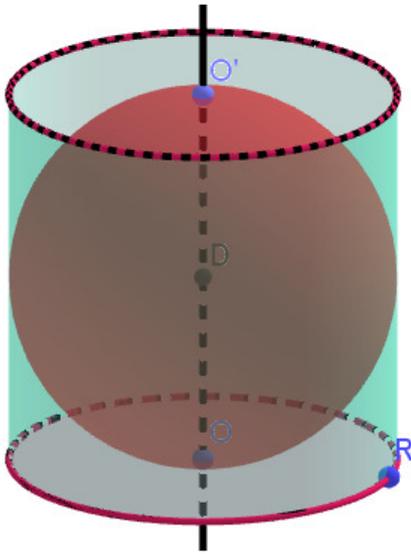
$$3 + \frac{10}{71} < \pi < 3 + \frac{1}{7}$$

$$\frac{223}{71} < \pi < \frac{22}{7}$$

## Archimede, *Sulla sfera e sul cilindro*

- Tra le opere di Archimede *Sulla sfera e sul cilindro* è quella a cui il siracusano stesso diede maggior importanza, almeno in base a quanto tramandano Plutarco e Cicerone, secondo i quali Archimede era così fiero di aver dimostrato che la superficie della sfera è quadrupla del suo cerchio massimo e che il suo volume è i due terzi di quello del cilindro circoscritto che volle che fosse riprodotto come epitaffio sulla sua tomba.

## Archimede: il grande teorema



Il grande **teorema di Archimede** per la sfera e il cilindro equilatero circoscritto:

$$\frac{S_{sfera}}{S_{cilindro}} = \frac{V_{sfera}}{V_{cilindro}} = \frac{2}{3}$$

## Archimede, *Sulla sfera e sul cilindro*

- L'opera è formata da due Libri, entrambi introdotti da lettere a Dositeo (suo amico, ad Alessandria d'Egitto).
- Il primo Libro comprende 44 Proposizioni e 5 Lemmi che sono frutto di geometri precedenti, in particolare 4 di essi sono la ripetizione quasi testuale di Proposizioni del Libro XII degli *Elementi* di Euclide.
- Il II Libro di *Sulla sfera e sul cilindro* risolve i problemi relativi alle figure di rotazione studiate nel Libro I.

## Archimede, *Quadratura della parabola*

- Questo trattato presenta 24 Proposizioni.
- In esso Archimede getta le basi di quella che in futuro sarà la teoria delle serie, e dell'integrazione, riprendendo procedimenti e strumenti che sono già intuiti ed intuibili negli Elementi.
- Dà inoltre alcune informazioni sul suo criterio euristico, che sarà l'oggetto principale del *Metodo*.
- Le prime proposizioni presentate trattano proprietà elementari della parabola, ed alcune sono date senza dimostrazione, di queste solo alcune sono dovute ad Archimede.

## Archimede, *Quadratura della parabola*

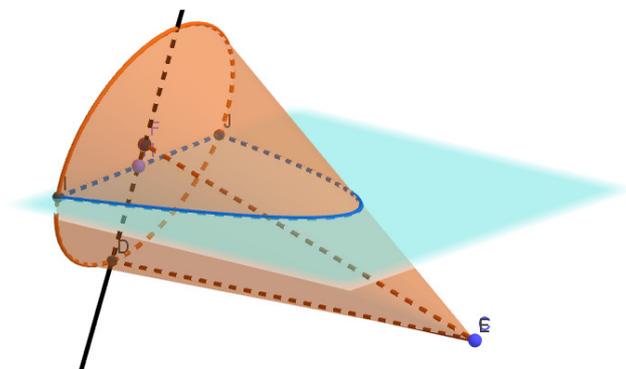
- Seguono poi due prove della quadratura della parabola, la prima tramite un procedimento meccanico, mentre la seconda esclusivamente con mezzi geometrici.
- Il risultato principale dell'opera è quindi il calcolo dell'area di un segmento di parabola, trovando che vale i  $\frac{4}{3}$  dell'area del triangolo avente la stessa base e uguale altezza.
- Vorrei riproporre ora le due proposizioni e le rispettive dimostrazioni per poterle poi confrontare con i risultati ottenuti nel *Metodo*.

## Archimede, Quadratura della parabola, dimostrazione geometrica

- *Proposizione 21. Se in un segmento compreso da una retta e da una sezione di cono rettangolo si inscrive un triangolo avente la stessa base del segmento e la stessa altezza, e si iscrivono altri triangoli nei segmenti residui, aventi la stessa base di [detti] segmenti e la stessa altezza, il triangolo inscritto nell'intero segmento sarà ottuplo di ciascuno dei triangoli inscritti nei segmenti residui.*

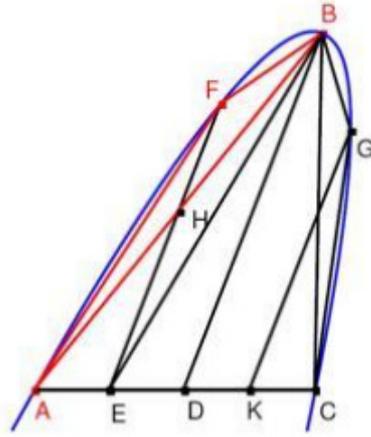
## Quadratura della parabola, dimostrazione geometrica

- La parabola è definita da Archimede come sezione di un cono con un piano.



## Quadratura della parabola, dimostrazione geometrica

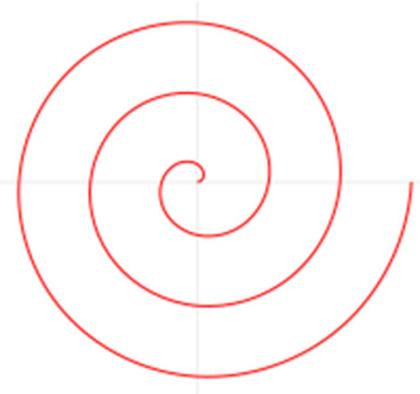
- Proposizione 21. Se in un segmento compreso da una retta e da una sezione di cono rettangolo si inscrive un triangolo avente la stessa base del segmento e la stessa altezza, e si inscrivono altri triangoli nei segmenti residui, aventi la stessa base di [detti] segmenti e la stessa altezza, il triangolo inscritto nell'intero segmento sarà ottuplo di ciascuno dei triangoli inscritti nei segmenti residui.



$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{T}{4^n} = T + \frac{T}{4} + \frac{T}{4^2} + \frac{T}{4^3} + \dots = \frac{4}{3}T$$

## Archimede, *Sulle spirali*

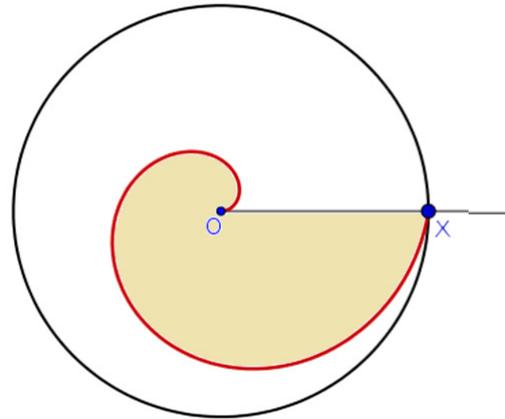
- Tra le opere di Archimede la più profonda dal punto di vista matematico è probabilmente il trattato *Sulle spirali*.
- Archimede vi studia la curva piana che ora noi chiamiamo «spirale di Archimede».
- La curva è definita in modo cinematico come composizione di due moti (uno circolare uniforme e l'altro rettilineo uniforme).



## Archimede, *Sulle spirali* (l'area racchiusa dal primo giro della spirale)

Archimede dimostra il seguente  
mirabile Teorema

- *L'area compresa dal primo giro della spirale è  $1/3$  dell'area del primo cerchio.*



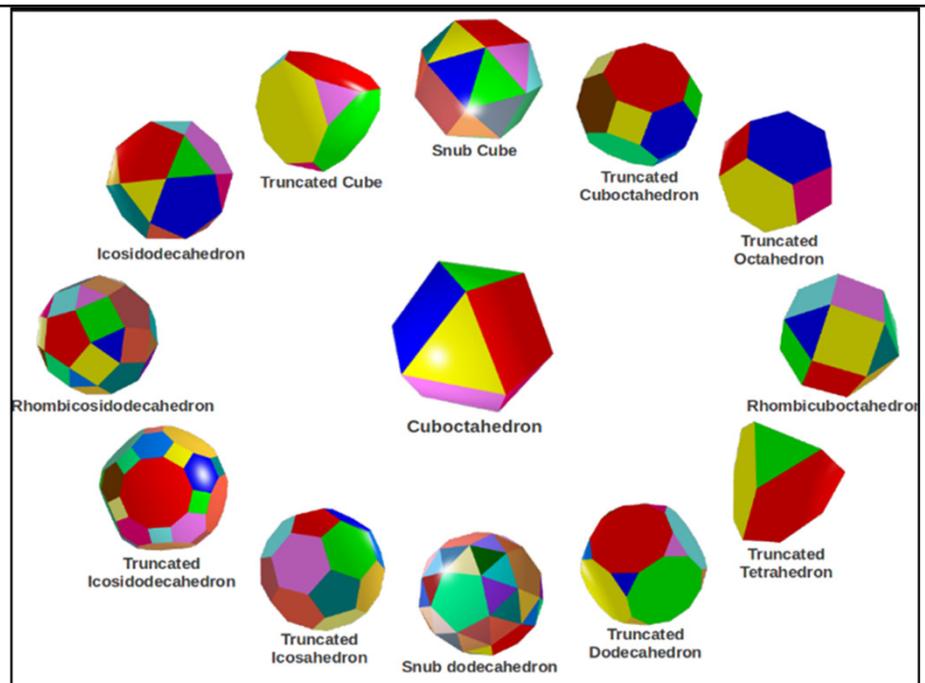
Archimede, Le opere perdute

## Archimede, Sui poliedri

- Pappo di Alessandria (ca. 290 d.C.-ca.350 d.C.) afferma che Archimede aveva scritto un'opera, ora perduta, sui poliedri semiregolari.
- Un poliedro si dice **semiregolare** se ha le facce a forma di poligoni regolari, ma di tipi diversi (a differenza dei poliedri regolari), per es. pentagoni ed esagoni regolari, gli spigoli sono tutti uguali e gli angoli tutti uguali.

[https://it.wikipedia.org/wiki/Solido\\_archimedeo](https://it.wikipedia.org/wiki/Solido_archimedeo)

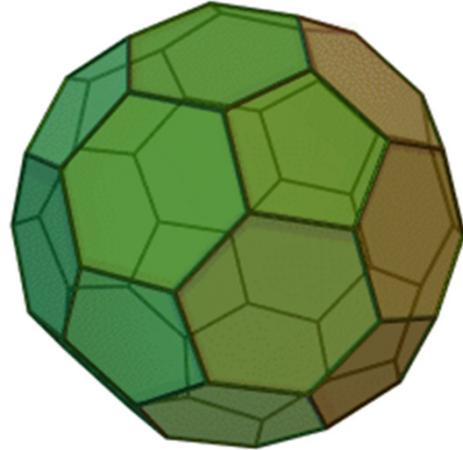
I poliedri archimedei sono 13



## Il poliedro archimedeo... più noto

Icosaedro troncato

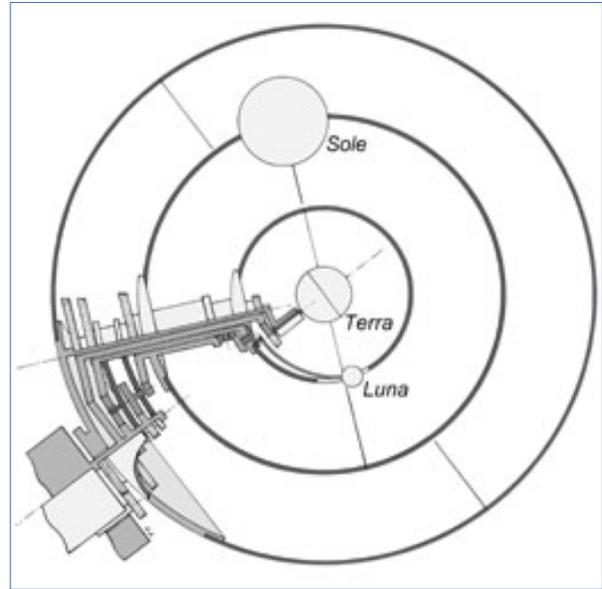
detto oggi  
«pallone da calcio»



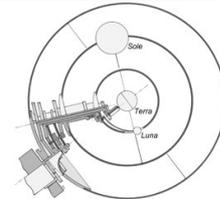
Il planetario di Archimede  
(un'opera materiale perduta...)

## Il planetario perduto di Archimede

- Di Archimede sono rimaste alcune opere (che erano scritte su papiro e poi su pergamena, infine su carta)
- Non ci sono rimaste, ovviamente, le sue realizzazioni concrete (che erano costruite in legno, in metallo, in vetro e altri materiali).
- Tra le opere di questo tipo non ci è rimasto il famoso **planetario che si dice Archimede avesse costruito** (una ricostruzione qui a fianco).



## Il planetario perduto di Archimede

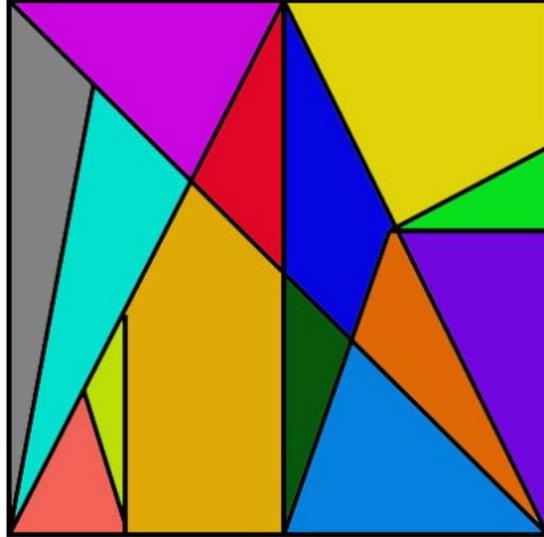


- Cicerone (106-43 a.C.) riferisce che, dopo la conquista di Siracusa nel 212 a.C., il console romano Marcello aveva portato a Roma un globo celeste e un planetario costruiti da Archimede.
- Il planetario era un oggetto straordinario che mostrava a ogni rotazione la Luna levarsi dopo il Sole sopra la Terra immobile, le eclissi di Luna e di Sole a intervalli di tempo debiti, nonché i moti degli altri cinque pianeti allora noti: Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno (*De re publica*, I, 14, 21-22; *Tusculanae disputationes*, I, 63).
- Questo planetario è menzionato anche da Ovidio (I sec. a.C.) nei Fasti (VI, 263-283), da Lattanzio (IV sec. d.C.) nelle *Divinae institutiones* (II, 5, 18) e in un epigramma di Claudiano (IV sec. d.C.) intitolato *In sphaeram Archimedis*. In particolare, Claudiano aggiunge che lo strumento era racchiuso in una sfera stellata di vetro.

## Archimede, *Stomachion* (di quest'opera è stato ritrovato un frammento)

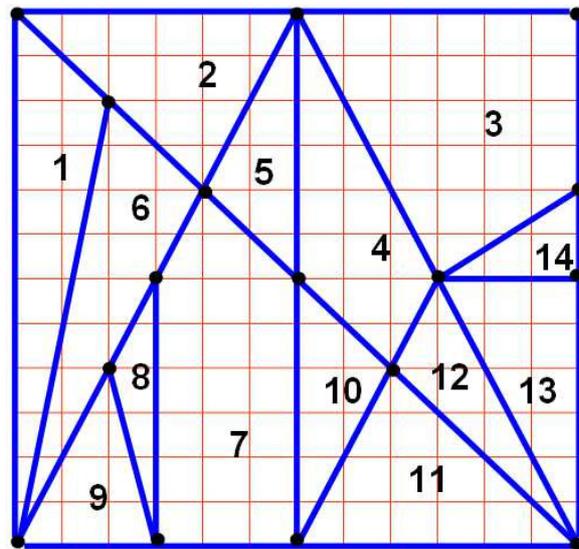
Si occupa di un  
Puzzle di 14 pezzi,  
un quadrato formato da:

- 11 triangoli
- 2 quadrilateri
- 1 pentagono  
(nessuno regolare).



## Archimede: stomachion (puzzle a 14 pezzi)

Lo *stomachion*  
rappresentato  
in un quadrato  
12x12

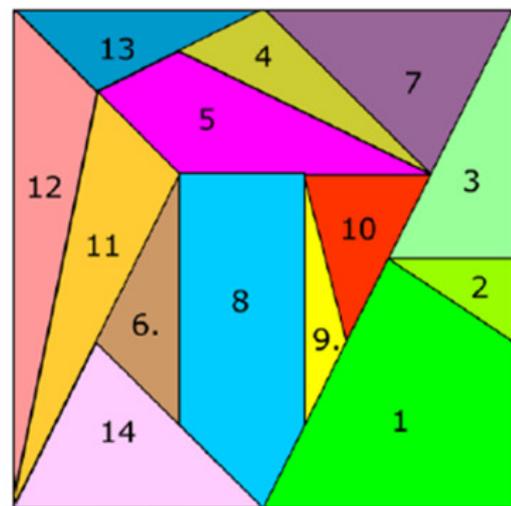


## Stomachion

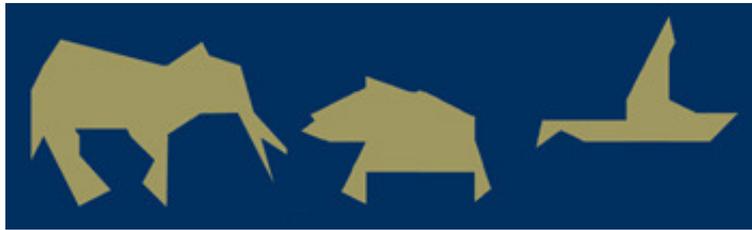
- È un gioco molto antico, definito anche come un puzzle, simile al gioco del *tangram*, ma più difficile.
- Lo stomachion è composto da 14 tessere piane che insieme formano un quadrato, di cui 11 forma triangolare, 2 dei quadrilateri e 1 che ha la forma di un pentagono irregolare.
- Non sappiamo se Archimede ne sia stato l'inventore o si sia soltanto limitato a studiarlo.
- Sono giunti sino a noi due manoscritti, uno scritto in greco attribuibile ad Archimede, purtroppo incompleto, che si occupa delle relazioni dei vari angoli dei pezzi. Il secondo, scritto in arabo, si occupa della determinazione delle aree dei pezzi.

## Stomachion

- Ribattezzato dai latini come la «scatola di Archimede», lo *Stomachion* è un gioco di origine greca, molto simile al Tangram, ma con 14 pezzi irregolari, rispetto ai soli 7 del Tangram.
- Il suo vero nome forse deriva dal greco *ostomachion*, ovvero «battaglia degli ossi», perché inizialmente veniva costruito con degli ossicini oppure in avorio.



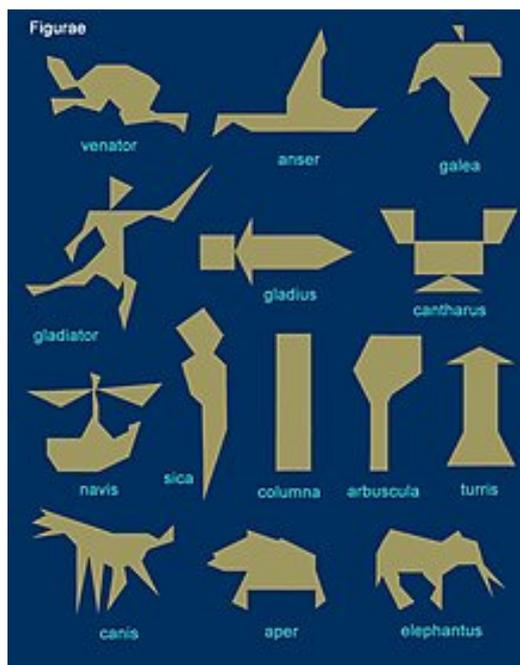
## Stomachion



*"I diversi raggruppamenti di questi pezzi - scrive il poeta latino Ausonio - rappresentano mille cose: un grande elefante, un cinghiale feroce, un'oca in volo, un mirmillone armato, un cacciatore appostato, un cane che abbaia, e ancora una torre, un cantaro e una gran quantità d'altre immagini di questo genere, che variano secondo l'abilità del giocatore".*

Molto probabilmente non fu inventato da Archimede, il quale si limitò a studiarne le proprietà geometriche. È verosimile che Archimede si sia servito di questo "passatempo" non solo per elaborare molti dei suoi teoremi geometrici, ma anche per analizzare il calcolo combinatorio - un ramo della matematica che prende in considerazione le combinazioni e le sistemazioni degli oggetti- tentando di calcolare il numero di quadrati differenti che si sarebbero potuti creare con i pezzi del puzzle (che recentemente si è scoperto essere 536).

## Stomachion

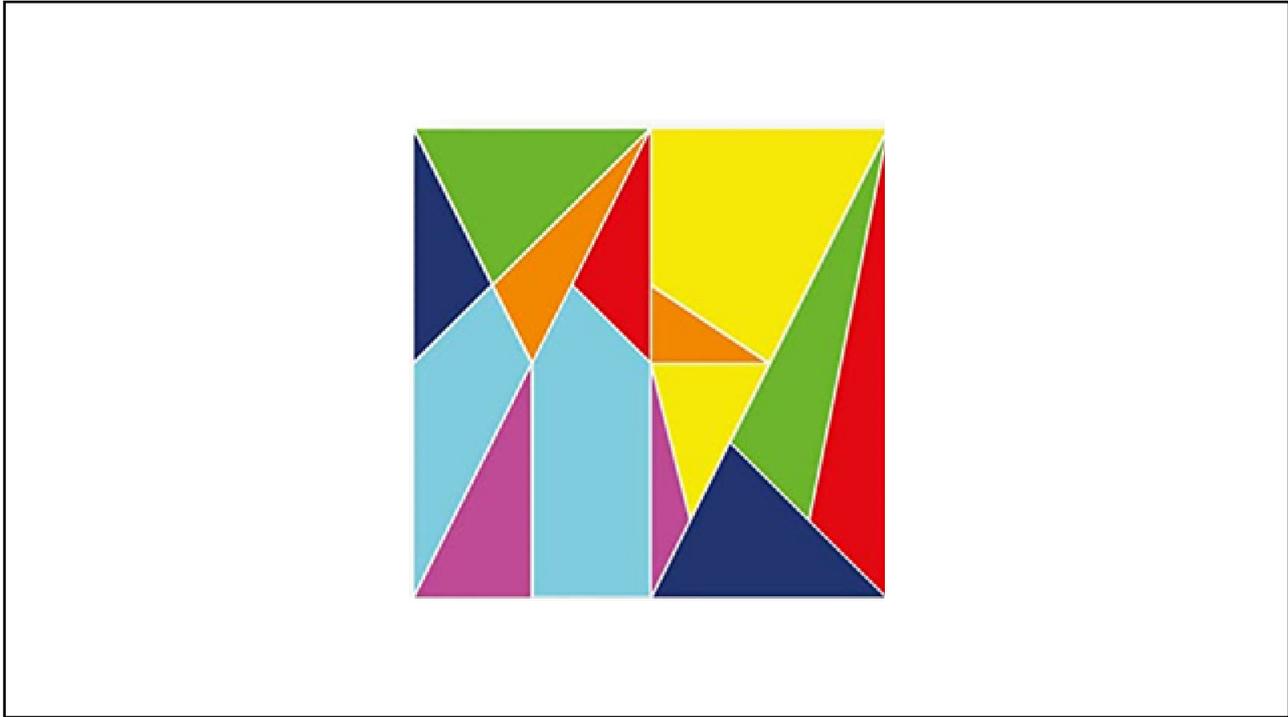
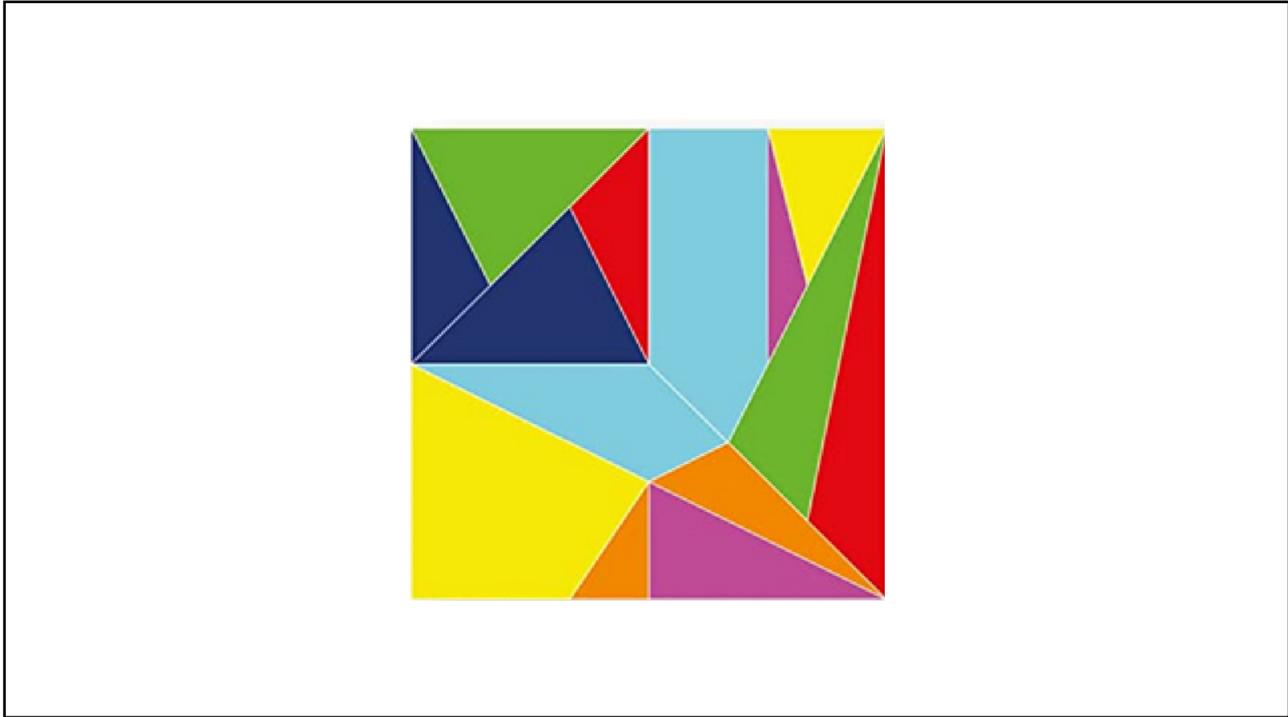


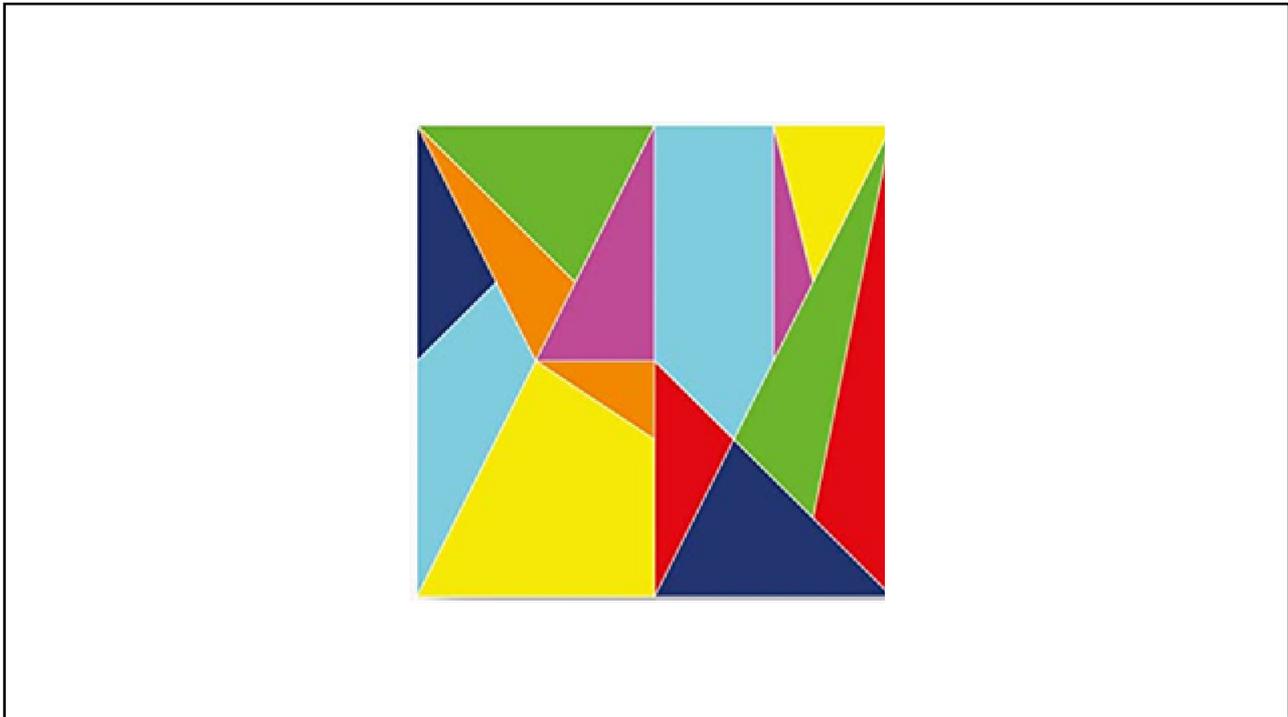
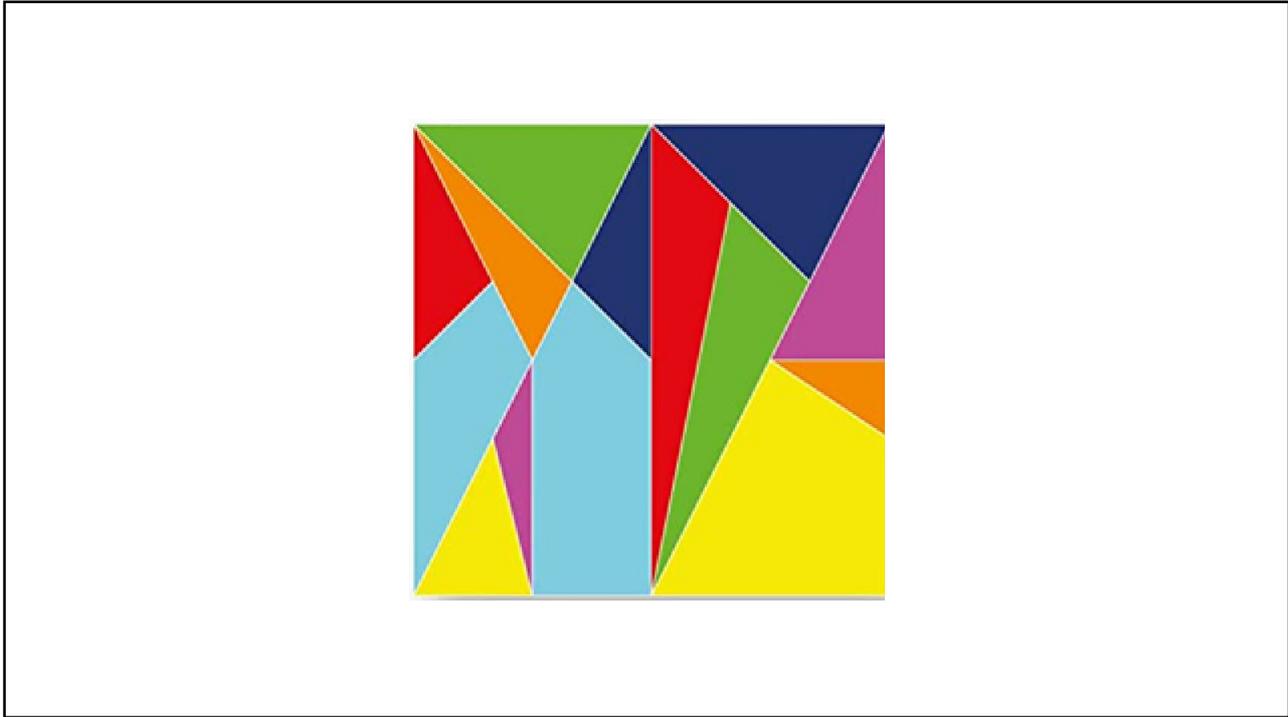
## Stomachion: è l'inizio del calcolo combinatorio?

- Lo scopo principale del gioco è quello di riuscire a formare diverse figure utilizzando l'insieme delle tessere.
- Il nome potrebbe essere stato cambiato perché si pensa che il vero nome sia *ostomachion*, ossia «battaglia degli ossi» perché le tessere che lo componevano erano ricavate da semplici ossa animali, o in alcuni casi da avorio.
- Nel 2003 Bill Cutler riuscì a creare 536 possibili disposizioni (a forma di quadrato) delle tessere anche se si trattava talvolta della stessa figura ma ruotata.

## Stomachion: possibili quadrati (8 di 536...)





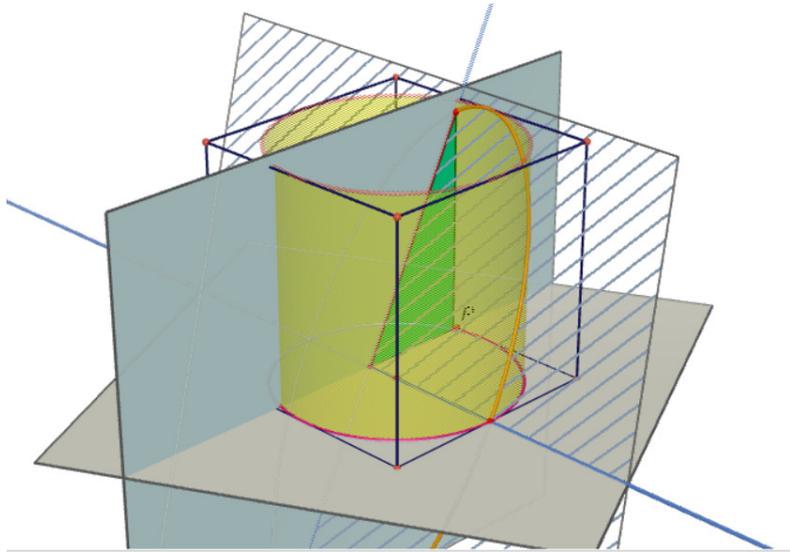


## Il palinsesto perduto (e ritrovato...) di Archimede

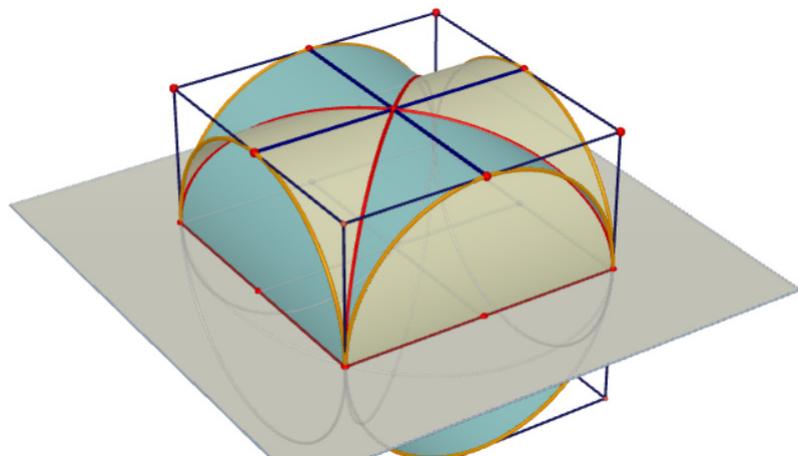
### Il palinsesto di Archimede (con *Il Metodo*)

- L'argomento principale de *Il Metodo* consiste nell'esposizione del modo in cui avvenne la scoperta di due teoremi riguardanti il volume dell'unghia cilindrica e del solido nato dall'intersezione di due cilindri inscritti in un cubo, e della loro dimostrazione geometrica.
- Archimede quindi approfitta di questa occasione per esporre il metodo che lo portò a dimostrazioni relative a volumi, aree e alla determinazione di centri di gravità.

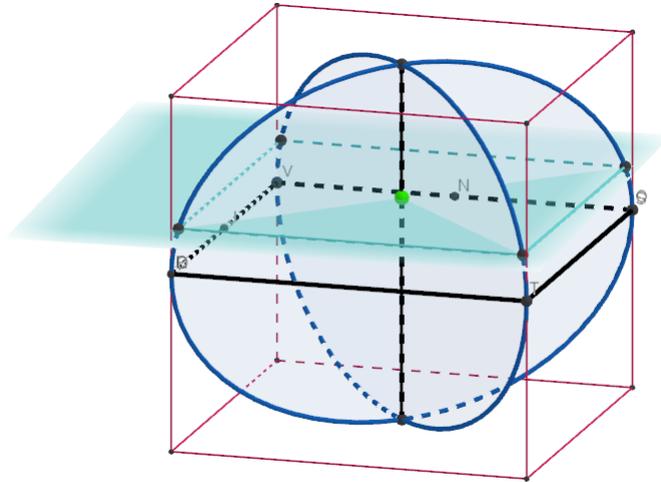
Volume dell'  
«unghia  
cilindrica» di  
Archimede  
(con //  
*Metodo*)



Volume della  
doppia volta a  
padiglione  
(intersezione di  
due cilindri con  
lo stesso  
diametri, assi,  
perpendicolari)



Volume della  
doppia volta a  
padiglione  
(intersezione di  
due cilindri con  
lo stesso  
diametri, assi,  
perpendicolari)



## Archimede, *Il Metodo*

- È proprio nella presenza della descrizione del metodo di ricerca la novità di quest'opera rispetto a tutti gli altri scritti archimedei.
- In questi ultimi, infatti, Archimede non faceva altro che esporre i risultati delle sue ricerche presentandoli nella forma tradizionale derivata dall'uso della dimostrazione per esaustione, la quale è di natura sintetica, non analitica; e quindi posteriore, in ordine logico, alla scoperta del risultato che dimostra.

## *Il Metodo*

- Per questi motivi, a un lettore che si avvicina agli scritti archimedei, è consigliabile proporre la lettura del *Il Metodo* tra le prime opere.
- Questo in ordine logico, perché è praticamente impossibile determinare l'ordine cronologico in cui Archimede scrisse le sue opere.
- Anche perché il matematico era solito, prima di redigere la versione definitiva e rigorosa dei suoi risultati, inviare delle bozze di essi ai suoi colleghi ed amici ad Alessandria, perché ne discutessero e ne suggerissero, eventualmente, modifiche o perfezionamenti.

## *Il Metodo*

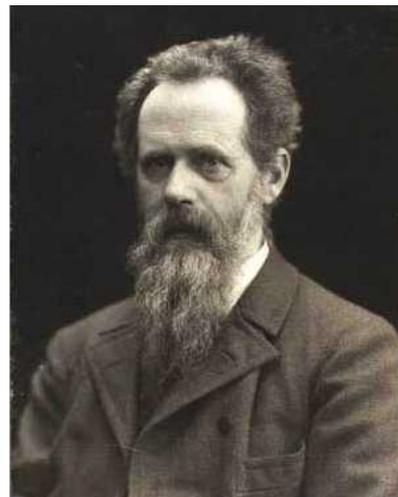
- Molti storici e studiosi dell'opera di Archimede (la cui opinione è sicuramente autorevole), che molto più interessante dell'ordine cronologico in cui sono state scritte le opere, sia l'ordine cronologico delle scoperte.
- Quindi è presumibile che dapprima Archimede abbia approfondito lo studio della parabola e della sua quadratura, poi sia passato alla sfera e poi, con un processo di generalizzazione, agli ellissoidi, paraboloidi ed iperboloidi di rotazione.

## La scoperta del palinsesto di Archimede, 1906 e il ritrovamento de *Il Metodo*

- Fino ai primi anni del secolo scorso l'opera più innovativa dell'epoca ellenistica rimase sconosciuta e la sua scoperta fu quasi fortuita.
- Nel 1906 lo studioso danese J.L. Heiberg, famoso filologo e massimo esperto delle opere di Archimede, si recò a Costantinopoli per esaminare un palinsesto (pergamena sulla quale ciò che vi era originariamente scritto è stato cancellato solo imperfettamente e sostituito con un nuovo testo diverso), che pareva avere un testo matematico
- Il palinsesto apparteneva alla Biblioteca del *Metochion* e proveniva dal Monastero del Santo Sepolcro di Gerusalemme: *Codex rescriptus Metochii Costantinopolitani S. Sepulchri monasterii*.

## La scoperta del palinsesto di Archimede e la trascrizione de *Il Metodo* (Heiberg, 1910-15)

- Nel 1906 lo studioso danese **Johan Ludvig Heiberg** (1854-1923), famoso filologo classico e massimo esperto delle opere di Archimede - e dei matematici greci dell'antichità - si recò a Costantinopoli per esaminare un palinsesto (pergamena sulla quale ciò che vi era originariamente scritto è stato cancellato solo imperfettamente e sostituito con un nuovo testo diverso), che pareva avere un testo matematico.

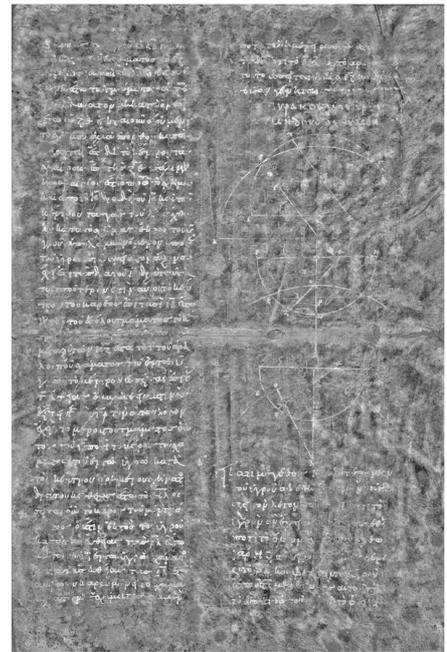


## Il palinsesto di Archimede, ritrovato nel 1906

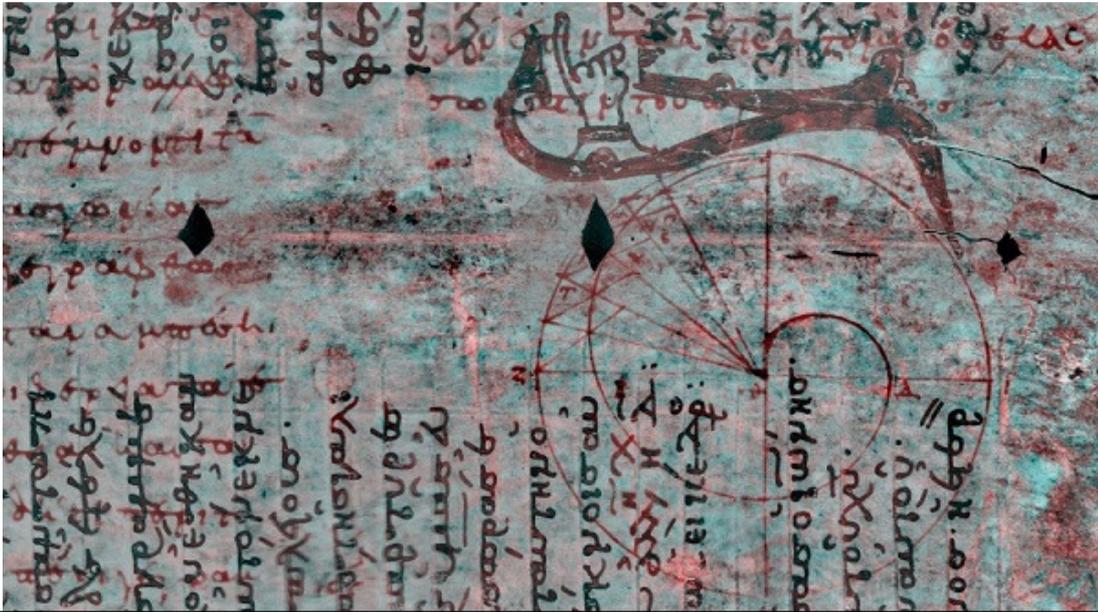


### Opere contenute nel palinsesto

- Il palinsesto, costituito da 174 fogli di pergamena, contiene un libro di preghiere; queste furono sovrascritte su un codice contenente le seguenti opere di Archimede:
- *Equilibrio dei piani*
- *Sulle spirali*
- *La misura del cerchio*
- *Sulla sfera e il cilindro*
- ***Sui corpi galleggianti***
- ***Stomachion***
- ***Il metodo***



## Uno dei fogli del palinsesto di Archimede



## Un altro dei fogli del palinsesto di Archimede



## La scoperta del palinsesto di Archimede

- Prima della scoperta del palinsesto a Costantinopoli, del *Metodo* si avevano solo vaghe notizie. Suida (IX o X secolo d.C.) vi accenna solo per dire che Teodosio ne aveva scritto un commento; Erone nel I secolo a.C. nei *Metrica* forniva qualche particolare in più, citandone tre proposizioni. Ma anche quest'opera rimase nascosta nella stessa biblioteca che conteneva il *Metodo*, e non fu pubblicata che nel 1903
- E così, per secoli si perdettero le tracce dell'opera archimedeana; che fu studiata molto poco e sicuramente poco compresa dagli stessi greci, tanto che non vi è alcun riferimento ad essa in quasi nessuna opera dei più importanti studiosi di Archimede.

## Il Metodo di Archimede: l'idea e i contenuti

- L'idea di fondo del *Metodo* è quella che lo stesso Archimede espone all'amico Eratostene nella prima parte dell'opera, egli afferma che è più facile trovare la dimostrazione di un teorema se si ha già qualche conoscenza di ciò che esso comporta; come esempio cita le dimostrazioni di Eudosso relative al cono e alla piramide, che erano state facilitate dalle preliminari osservazioni senza dimostrazioni, fatte da Democrito.
- Il matematico siracusano annuncia poi al collega che egli stesso possedeva un metodo o approccio "meccanico" che apriva la strada ad alcune delle sue dimostrazioni.

## *Il Metodo di Archimede: l'idea e i contenuti*

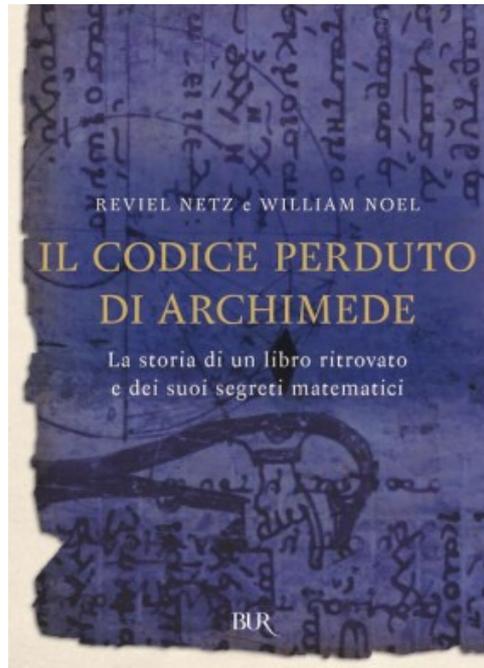
- Archimede, quindi, riconosce e afferma l'importanza del suo metodo e ne proclama la grande utilità, ma è consapevole anche di aver introdotto concetti nuovi e al tempo stesso non del tutto rigorosi.
- Per questo nella stesura del suo trattato si preoccupò non solo di proporre i nuovi risultati da lui ottenuti, ma anche di riportare risultati già conosciuti, ma trattati con il nuovo metodo.

## *Il Metodo di Archimede: l'idea e i contenuti*

- Egli nega, quindi, alle sue deduzioni meccaniche qualunque valore dimostrativo; le deduzioni esposte nel *Metodo*, infatti, dal punto di vista logico, si possono ritenere insufficienti perché non rivestono la forma geometrica tradizionale e fanno uso di concetti geometrici non rigorosamente definiti (ad esempio afferma che un'area equivale alla somma di segmenti di retta).
- E ciò si può spiegare con il fatto che, pur avendo dato ai concetti meccanici che adoperava una sistemazione logica, questa era ancora troppo nuova per poter sperare che tutti i suoi lettori attribuissero una sicurezza geometrica alle dimostrazioni fondate sopra quei concetti.

## Il codice perduto (e ritrovato...) di Archimede

Un bel libro che  
racconta la storia  
del codice di  
Archimede.



## Il codice perduto, rubato (e venduto) e poi riapparso... di Archimede

- Ad Heiberg fu permesso di scattare fotografie molto particolareggiate delle pagine del palinsesto, e da queste produsse delle trascrizioni, pubblicate nel 1907 e poi di nuovo tra il 1910 e il 1915 in un'edizione completa delle opere di Archimede.
- Poco dopo, il testo originale di Archimede in greco bizantino è stato tradotto in inglese da Thomas L. Heath.

## Il codice perduto, venduto (o rubato) e ritrovato... di Archimede

- Il manoscritto era ancora nella biblioteca del Patriarcato Greco Ortodosso di Gerusalemme (il *Metochion* del Santo Sepolcro) a Costantinopoli nel 1920. Poco dopo, nel corso di un periodo turbolento che vide la vittoria turca nella guerra greco-turca del 1919-1922 con il genocidio greco e lo scambio di popolazioni tra Grecia e Turchia, il palinsesto scomparve.
- In data imprecisata tra il 1923 e il 1930 venne acquistato da M. Louis Sirieix, un "uomo d'affari e viaggiatore in Oriente che viveva a Parigi".
- Anche se Sirieix affermò di averlo acquistato da un monaco, che non avrebbe, in ogni caso, avuto la facoltà di venderlo, non aveva una ricevuta o una documentazione che potesse documentare una vendita.
- Rimasto per anni nella cantina di Sirieix, il palinsesto subì danni da acqua e muffa.

## Il codice perduto di Archimede, ritrovato (1906), rubato (1920) e ricomparso (1998)...

- Inoltre, dopo essere scomparso dalla biblioteca del Patriarcato greco-ortodosso, un falsario aveva aggiunto copie di ritratti evangelici medievali in foglia d'oro su quattro pagine, al fine di aumentarne il suo valore, danneggiando ulteriormente il testo.
- Questi ritratti a foglia d'oro quasi cancellarono il testo sottostante, e le immagini ai raggi X di fluorescenza realizzate a Stanford sarebbero poi riuscite a rivelarlo.
- Sirieix morì nel 1956 e nel 1970 sua figlia cominciò a tentare di vendere il manoscritto.
- Impossibilitata a venderlo privatamente, nel 1998 incaricò la casa d'aste Christie's di venderlo all'asta, rischiando una causa per appropriazione indebita.

## Il codice perduto di Archimede, ritrovato (1906), rubato (1920) e ricomparso (1998)...

- In effetti, la proprietà del palinsesto venne immediatamente contestata al tribunale federale di New York, dal *Patriarcato ortodosso di Gerusalemme* contro *Christie's, Inc.*
- Il Patriarcato sostenne che il palinsesto era stato rubato dalla sua biblioteca a Costantinopoli nel 1920.
- Il giudice K. Wood decise a favore della casa d'aste Christie in quanto ritenne che fossero scaduti i termini per denunciare la scomparsa di quanto rivendicato e il palinsesto venne acquistato per 2 milioni di dollari da parte di un acquirente anonimo.

## Il codice perduto di Archimede, ritrovato (1906), rubato (1920) e ricomparso (1998)...

- Simon Finch, che rappresentava l'acquirente anonimo, dichiarò che era "un privato americano" che lavorava nell'industria high-tech.
- Quasi certamente si trattava di Rick Adams perché un blogpost di Michael Shermer dice di averlo visto a una festa di compleanno di James Randi, nella casa del collezionista in Virginia, dove Adams (un benefattore e tesoriere della James Randi Educational Foundation) era noto vivere.

## Il codice perduto di Archimede, ritrovato (1906), rubato (1920) e ricomparso (1998)...

- Il codice di Archimede è stato restaurato ed ora è conservato nel «Walters Art Museum» di Baltimora.
- Al Walters Art Museum di Baltimora, il palinsesto fu oggetto di un ampio studio per mezzo della digitalizzazione nel 1999-2008 e a un trattamento di conservazione (poiché aveva sofferto notevolmente per la muffa).
- Questo lavoro venne diretto da Will Noel, curatore dei manoscritti presso il Walters Art Museum, e gestito da Michael B. Toth di RB Toth Associates, con Abigail Quandt che eseguì la conservazione del manoscritto.

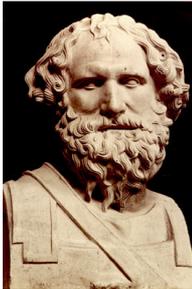
## Conclusioni

- In questo excursus abbiamo visto alcune grandi scoperte di Archimede, cercando di distinguerle dagli aneddoti e dalle notizie leggendarie
- Archimede è un grandissimo scienziato dell'antichità, uno dei più grandi che siano mai esistiti (paragonabile a Newton secondo gli studiosi).
- Si è occupato di Matematica-Fisica e di innumerevoli applicazioni, anche di macchine belliche per difendersi dall'assedio dei romani.
- Ai tempi di Archimede, la matematica e la fisica non erano separate come è avvenuto in seguito.
- Archimede dovrebbe essere studiato dal punto di vista didattico, oltre che epistemologico, proprio perché nelle sue opere troviamo l'unità della cultura scientifica e tecnologica, che poi si è persa nella storia.

## Bibliografia e sitografia

- Archimede, *Opere*, Utet, Torino
- R. Netz-W. Noel, *Il Codice perduto di Archimede*, Rizzoli, Milano
- L. Russo, *Archimede. Un grande scienziato antico*, Carocci, Roma 2019
- L. Russo, *La rivoluzione dimenticata*, Feltrinelli, Milano 1996.
- E. Rufini, *Il «metodo» di Archimede*, Feltrinelli, Milano 1961.

- <https://www.wilbourhall.org/index.html#archimedes>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Palinsesto\\_di\\_Archimede](https://it.wikipedia.org/wiki/Palinsesto_di_Archimede)
- <https://ilbolive.unipd.it/it/news/archimede-scienziato-oltre-mito>



*Grazie dell'attenzione*

*Luigi Tomasi*