

## Indice

CAPITOLO I	- Introduzione	Pag. 2
Paragrafo 1	- Nascita famiglia e prima formazione	>> 4
Paragrafo 2	- Alessandria d'Egitto	>> 5
Paragrafo 3	- Viaggi	>> 8
Paragrafo 4	- Archimede e la tecnica	>> 11
Paragrafo 5	- L'inganno della Corona di Gerone	>> 13
Paragrafo 6	- I Galleggianti	>> 14
Paragrafo 7	- Sull'equilibrio dei piani	>> 15
Paragrafo 8	- Studi di Astronomia	>> 15
Paragrafo 9	- Opere matematiche	>> 16
Paragrafo 10	- Opere geometriche	>> 17
Paragrafo 11	- Sulla sfera e sul cilindro	>> 18
Paragrafo 12	- Il Metodo di Esaustione	>> 19
Paragrafo 13		
Paragrafo 14		

# Introduzione

Galileo dice di aver letto e studiato i libri di Archimede <<con infinito stupore>>.<sup>1</sup> La lettura delle sue opere colpisce ed entusiasma, pur senza essere facile e spedita. Destinando le sue opere a matematici provetti, Archimede tralascia le minuzie e assai spesso affida tacitamente al lettore molti passaggi che si presentano tutt'altro che facili e immediati. Verrebbe da pensare che egli si compiaccia di presentare ai colleghi di Alessandria questioni difficili assicurando che per lui si tratti di cose manifeste o evidenti.

Il lavoro di questo sito inizierà con lo studio dell'aspetto umano di Archimede, del contesto storico, del personaggio, in relazione alla realtà del tempo in cui ha vissuto. Più avanti mi sforzerò di parlare del suo genio nel campo della scienza, della matematica, dell'ingegneria, senza avere nessuna pretesa di spiegare le sue scoperte, ma di riportarle così come ci sono giunte.

Siracusa fu fondata con ogni probabilità nel 733 a.C. Gli diedero vita i Dori provenienti da Corinto, che secondo la leggenda tramandataci da Plutarco, erano guidati da Archia, membro della famiglia che regnava su Corinto.

Secondo Tuciddide il primo stanziamento si ebbe sull'isola di Ortigia, da cui furono scacciate le popolazioni sicule che vi abitavano. Poiché il nome Siracusa non significa nulla in greco ed è forse di origine fenicia (in quella lingua potrebbe significare "roccia dei gabbiani") si pensa che sull'Ortigia vi fosse, prima dell'arrivo dei greci, una colonia fenicia.

In tempi storici l'Ortigia era già attaccata alla terraferma, ma continuò a essere chiamata "isola" almeno fino all'epoca romana. Il suo nome significa "isola delle quaglie". Ben presto i coloni passarono a occupare anche la terraferma, dando origine ai quartieri più popolosi di Siracusa: Acradina, Tiche, Neapoli. L'espansione interessò presto anche il territorio circostante tanto che già nella seconda metà del VII secolo, con la fondazione della colonia Acre (attuale Palazzolo Acreide) la città era divenuta padrona di tutta la ricca vallata dell'Anapo.

Nel V secolo Siracusa rivelò intenzioni imperialistiche, iniziando ad espandersi sul mare. Furono colonizzate Adria, Lisso, Issa e Corcira la Nera; furono fondate due città che forse possiamo identificare con Brindisi e Otranto, per controllare l'accesso all'Adriatico. Da qualche tempo controllava anche il Tirreno meridionale grazie alla guerra vittoriosa che Gerone I aveva combattuto, nel 474 a.C., contro gli Etruschi.

---

<sup>1</sup> GALILEO, Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze.

Dopo la morte di Gerone I, Siracusa dovette affrontare Atene in una guerra che vide la città siciliana assediata dall'esercito ateniese nel 414 a.C.; gli invasori furono messi in fuga e la leggenda racconta che i siracusani risparmiarono la vita solo a coloro che sapevano raccontare a memoria i versi di Euripide.

Altro grave scontro fu con i Cartaginesi che erano riusciti ad espandersi fino ad Agrigento, distruggendola nono stante gli aiuti siracusani. L'avanzata nemica creò le condizioni perché si impadronisse del potere Dionisio il Vecchio. Con lui la città raggiunse il culmine della propria potenza e del proprio sviluppo. Durante il suo dominio venne nella città Platone chiamato da Dione, cognato del tiranno, con lo scopo di realizzarvi un governo ispirato alla sua filosofia. La cosa non si fece, così come fallirono altri due tentativi fatti con il figlio di Dionisio il Vecchio, ossia Dionisio II. Il governo di quest'ultimo fu breve, sotto di lui si svilupparono lotte civili che causarono la perdita progressiva del suo grande impero.

Solo l'opera di Timoleonte prima ed Agatocle poi riuscì a porre rimedio alla situazione e a favorire una ripresa dell'espansionismo della città. Archimede nacque poco dopo la scomparsa di Agatocle, quando erano riprese le lotte intestine, avanzavano nuovamente i cartaginesi. Pian piano Siracusa si trovò con un dominio notevolmente ridotto, in pratica la Sicilia sud-orientale, tra l'altro era in balia delle fazioni finché non riuscì ad imporsi Gerone II che si fece proclamare re nel 265 a.C.. Archimede trascorse gran parte della sua vita, mentre era sul trono Gerone II il quale si rivelò molto accorto, strinse amicizia coi Romani e restò loro fedele per tutto il suo cinquantennale governo, costruì opere pubbliche, monumenti, realizzò una saggia amministrazione ed infine si circondò di uomini di cultura e poeti. Tra questi Teocrito che fu il più grande poeta dell'epoca. Il suo era un piccolo stato in cui vi erano Siracusa, Acre, Megera, Noto, Eoro, Lentini e Tauromenio (Taormina).

# Archimede



## Nascita, famiglia e prima formazione

Una strana sorte ha voluto che della vita dei matematici dell'antichità ci pervenissero scarsissime notizie. A questa regola sembra sfuggire Archimede. Di lui ci hanno parlato alcuni dei massimi storici dell'antichità: Tito Livio, Plutarco, Polibio. Le testimonianze sulla sua vita sono numerose, se però le esaminiamo meglio, vediamo che molte sono poco attendibili perché frutto di fantasia, spesso stimolata, dalle sue strabilianti invenzioni.

L'unica notizia certa della sua vita, anche se può sembrare paradossale, concerne la data della sua morte: l'anno 212 a.C. che vide la conquista da parte del console Marcello di Siracusa, durante la seconda guerra punica.

Il bizantino Tzetze, vissuto nel XII secolo, ci dice che Archimede morì quando aveva 75 anni, perciò si può risalire alla probabile data di nascita che andrebbe collocata nell'anno 287 a.C..

Secondo l'interpretazione del grande filologo Friedrich W. Blass, che però non è del tutto certa, Archimede stesso ci darebbe il nome del proprio padre in un passo della sua opera intitolata *Arenario*, dove ricorda gli astronomi che prima di lui avevano tentato la misura del diametro apparente del Sole. Tra loro, dice <<*Fidia, nostro padre, affermò che era 12 volte maggiore di quello della Luna.*>>

Le notizie della sua condizione familiare sono contrastanti: Plutarco, che è lo storico che parla di Archimede con maggiore ricchezza di particolari, sostiene che egli fu parente ed amico di Gerone. Cicerone lo definisce <<*omuncolo di modesta condizione*>> che seppe conquistarsi fama e prestigio grazie ai suoi studi.

Una notizia curiosa sulla discendenza del Siracusano è sostenuta da David Rivault nella biografia premessa all'edizione delle opere di Archimede da lui curata e pubblicata a Parigi nel 1615. Egli racconta che un eruditissimo greco, traduttore delle vite delle sante e dei santi siciliani, gli aveva raccontato di aver letto in esse che la famosa santa Lucia apparteneva alla stirpe del grande scienziato.

Sui primi anni della formazione di Archimede sono fiorite leggende. Una di queste è dovuta a Mirabella, il quale sostiene che il filosofo fu discepolo di Platone al tempo in cui questi dimorò a Siracusa: cosa evidentemente assurda se si pensa che quando Archimede nacque Platone era già morto da circa cinquant'anni. Altrettanto assurda la notizia di origine araba secondo la quale lo scienziato sarebbe stato figlio di Pitagora, il matematico e filosofo vissuto oltre due secoli prima di lui.

\* \* \*

## ALESSANDRIA D'EGITTO

Non si sa nulla di certo. Se è vero che fu figlio di un astronomo, non è azzardato pensare che abbia ricevuto dal padre i primi insegnamenti nelle scienze matematiche. L'ambiente di Siracusa e lo stesso re Gerone II erano favorevoli alla promozione culturale di chi avesse capacità e possibilità di dedicarsi agli studi. Archimede, compiuti i primi studi nella propria città, si recò ad Alessandria d'Egitto, la quale al tempo, era il più grande centro di studi esistente allora, sia per la quantità di testi disponibili, sia per gli strumenti e le strutture di cui potevano disporre gli studiosi, sia per la qualità degli scienziati che vi operavano.

Il merito di tanta grandezza andava alle due istituzioni della città – il Museo e la Biblioteca – volute da Tolomeo I Sotere. Risalgono certamente a questo periodo le amicizie ed i legami che intrecciò con altri scienziati della scuola, cui invierà, dopo la morte di Conone, i propri lavori, una volta tornato a Siracusa. Nella decisione del Siracusano di tornare a Siracusa deve aver avuto la sua parte il richiamo della città natale. Non dimentichiamoci l'amicizia del re Gerone che spinse Archimede a dedicarsi alle applicazioni tecniche delle sue scoperte. Plutarco afferma che fu il re Gerone che per primo sollecitò e convinse Archimede a rivolgere un poco della sua tecnica dalle cognizioni teoretiche alle cose concrete.

Il motivo per cui Archimede non rimase ad Alessandria può tuttavia essere anche un altro, più profondo e decisivo. La sua personalità e la sua stessa attività scientifica furono così originali e diversi dalla scienza alessandrina da far pensare che egli abbia lasciato il Museo perché consapevole che non vi avrebbe avuto seguito adeguato. La sua fu, infatti, una figura del tutto nuova rispetto a quella del dotto alessandrino, poiché fu scienziato ma anche tecnico, riuscendo a riunire in una sintesi armonica la ricerca teorica e le applicazioni pratiche. In questo senso fu veramente unico nell'antichità.

La scienza alessandrina era legata, invece, ad un'influenza ideologica di origine platonica che determinarono il grande sviluppo della matematica e dell'astronomia, ma dall'altra il progressivo abbandono delle scienze naturali e fisiche. Unica vera eccezione in questo senso fu la medicina che si sviluppò in modo notevole, soprattutto in Egitto dove la tradizione di mummificare i cadaveri aveva prodotto già vaste conoscenze anatomiche.

La costruzione di macchine fu condizionata dal pregiudizio filosofico che negava utilità e valore alla scienza applicata e finì con l'essere ridotta alla sola funzione di meravigliare e divertire. I nomi dei celebri ingegneri alessandrini che vissero tra il III ed il I secolo a.C. come Ctesibio, Filone di Bisanzio e lo stesso Erone, sono legati alla costruzione di meravigliosi giocattoli semoventi, teatrini meccanici, orologi ornamentali, congegni mossi dalla forza del vapore o dalla pressione dell'acqua. Famosa è la cosiddetta "Fontana di Erone" che era un dispositivo meccanico e idraulico grazie al quale si aprivano e si chiudevano da sole le porte di un tempio quando, rispettivamente, si accendeva o si spegneva il fuoco sull'altare della divinità.

Tra scienza e società si determinò una netta separazione. Lo scienziato alessandrino passava il suo tempo circondato di privilegi e attenzioni in un'istituzione che gli dava tutto ciò che gli serviva per la sua attività. Era uno scienziato puro le cui ricerche erano come diceva Aristotele "disinteressate". Disdegnando gli scopi pratici. Vi furono, a dire il vero, ad Alessandria tecnici valenti, come l'architetto Dinocrate di Rodi, che diresse la costruzione della città, e il suo successore Sostrato di Cnido, artefice del celebre faro della capitale egiziana. Ma il tecnico non era considerato un vero scienziato ed occupava nella società un gradino inferiore perché vendeva la sua opera dietro compenso, degradandola così a merce.

Quanto queste concezioni fossero radicate lo dimostra il fatto che, stando a quel che dice Plutarco, neppure Archimede ne fu immune. C'era tuttavia in lui, un vero fastidio per la cultura accademica, pedante e presuntuosa. Lo conferma l'opera intitolata Metodo sui teoremi meccanici, in cui Archimede rivela il procedimento che usava per le invenzioni e le scoperte matematiche. Esso non è affatto rigoroso, perché intuitivo e fondato sull'uso contemporaneo di matematica e meccanica, del tutto estraneo quindi agli schemi metodologici alessandrini.

Egli non rifiuta nelle dimostrazioni matematiche il ricorso al modello deduttivo rigoroso di tipo euclideo, ma non è un rigorista pedante. E' molto di più: insieme rigorista e intuizionista, capace di valersi contemporaneamente, e con uguale abilità, di due metodi diversi. Due metodi per due momenti diversi della sua attività: uno per l'invenzione e la scoperta, l'altro per la dimostrazione. Questo rivela l'eccezionale agilità mentale di Archimede, il suo atteggiamento verso la scienza, che gli appare come qualcosa di vivo da usare oltre ogni vincolo preconstituito.

Archimede, come sostiene Rufini nello studio da lui dedicato al Metodo del Siracusano, convinto dell'importanza delle sue ricerche, lasciò che i maestri alessandrini continuassero a difendere il vecchio patrimonio scientifico, mentre lui si occupava di nuove ricerche e scoperte. Non rinunciò tuttavia a mantenere i rapporti con il Museo. Regolarmente inviava i suoi lavori matematici prima a Conone e poi ad altri. Egli mise per iscritto nel trattato sul Metodo i procedimenti innovativi che seguiva nella fase inventiva della ricerca, Quest'opera poi la inviò a Eratostene, il grande dotto alessandrino, per spiegargli quel metodo e, attraverso lui, farlo conoscere agli altri scienziati.

Lo scrive espressamente Archimede nell'opera, dicendo: <<Ho voluto quindi .....pubblicare quel metodo .. è vero che la ricerca compiuta per mezzo di esso non è una vera dimostrazione>>, quasi a voler mettere le mani avanti di fronte a chi poteva trovarvi da ridire preso da scrupoli rigoristici. Conclude la lettera: <<Son convinto che porterà non piccola utilità nella matematica: confido, infatti, che alcuni dei matematici attuali o dei futuri, essendo stato loro mostrato questo metodo, ritroveranno anche altri teoremi da noi non ancora escogitati.>>

Era consapevole dell'importanza del metodo meccanico da lui inventato. Egli poneva problemi che erano superiori alla geometria tradizionale alessandrina, riuscendo ad affrontarli e a risolverli proprio abbandonando il rigorismo e applicando alle questioni geometriche ragionamenti analoghi a quelli che usava nelle questioni meccaniche. In questo modo riuscì, ad esempio, ad ottenere la quadratura del segmento parabolico che comunicò agli scienziati del Museo di Alessandria, descrivendo il procedimento meccanico usato, ma aggiungendovi anche, come tipico nella maggior parte delle sue opere, la dimostrazione rigorosa col metodo di esaustione.

Gli scienziati alessandrini non dovevano proprio rivelarsi all'altezza delle questioni che Archimede poneva loro. Nella lettera introduttiva all'opera Sulle spirali ricorda che da molti anni aveva inviato dei teoremi al suo maestro Conone, ma questi <<prima che avesse avuto il tempo sufficiente per il loro esame, è passato ad altra vita: altrimenti avrebbe trovato e reso evidenti queste cose. Dopo la sua morte, nonostante siano passati molti anni non sappiamo che da alcuno sia stato risolto nessuno di quei problemi.>> Archimede vedeva i suoi studi trattati con indifferenza quasi non contenessero nulla di nuovo.

Riuscì comunque a prendersi la sua rivincita. Egli aveva da molti anni proposto ai matematici alessandrini, tramite Conone, sette problemi da risolvere e alcuni teoremi da dimostrare. Essi non erano stati in grado di farlo, per questo fu egli stesso, dietro insistenza di Dositeo, a far loro avere quelle dimostrazioni. In tutte e due le lettere in cui i teoremi e problemi sono risolti, il II libro di Sulla sfera e sul cilindro e Sulle Spirali, egli sottolinea l'insistenza di Dositeo dicendo: <<precedentemente mi avevi esortato a scrivere

*le dimostrazioni di quei problemi>> ed ancora :<<dei teoremi già inviati a Conone e dei quali mi richiedi di scrivere le dimostrazioni....>>*

Ebbene, nel libro II di Sulla sfera e sul cilindro egli inserisce due proposizioni, la 8 e la 9, la cui dimostrazione porta ad affermazioni contraddittorie rispetto a due dei teoremi inviati prima. Successivamente, Archimede inviando a Dositteo nel libro Sulle spirali la soluzione dei problemi rimanenti, apertamente gli dichiara la falsità dei due teoremi, facendo riferimento alle dimostrazioni che lui aveva già date nella sua opera precedente. Nessuno dei matematici alessandrini se ne era evidentemente accorto ed è quasi con pignoleria che il Siracusano si prende la soddisfazione di farlo ripetutamente notare. Svela, con malcelata ironia, di avere proposto la dimostrazione di teoremi sbagliati, affinché <<coloro che dicono di sapere trovare tutto, ma senza alcuna dimostrazione, vengano confutati per il fatto di aver trovato cose impossibili.>>

C'è chi di fronte a questa che sembra una vera e propria burla tenta di darne una spiegazione diversa. Il Frajese ad esempio sostiene che non può parlarsi di inganno del Siracusano nei confronti degli alessandrini. Secondo la sua opinione Archimede prima di tutto intuiva determinate proprietà geometriche delle figure che doveva studiare, facendo di queste intuizioni ipotesi di lavoro che solo in seguito, col suo metodo e con le dimostrazioni per esaurimento, portava a felice esito.

Non tutte le ipotesi si dovevano per forza rivelare esatte. I due teoremi non sarebbero stati degli errori, ma neppure gli strumenti di un malizioso inganno nei confronti degli alessandrini. Si tratterebbe proprio di ipotesi di lavoro, intuite da lui ma poi rivelatesi non esatte e che Archimede onestamente riconosce come tali di fronte ai suoi colleghi matematici. In realtà, le parole del Siracusano sembrano davvero molto chiare nell'affermare un'esplicita volontà di smascherare le false pretese scientifiche degli alessandrini. Del resto, egli ebbe anche altri atteggiamenti di sfida nei loro confronti.

Lo stile del Siracusano comunque, non è semplice come quello di Euclide nei suoi Elementi. Archimede scrive per iniziati e specialisti e parla dunque a competenti che sfida in modo vero e proprio a seguire il ragionamento, a giungere alle sue medesime conclusioni avendo afferrato il significato della dimostrazione. Per questo spesso traslascia alcuni passaggi, con la scusa che si tratta di cose evidenti. Lascia stupiti la franchezza e quasi la maleducazione con cui egli parla a Dositteo, al quale inizia a inviare le sue opere dopo la morte di Conone. Nella lettera introduttiva alla Quadratura della parabola dice che gli scrive perché era stato amico di Conone ed era versato nella matematica.

Ma in una lettera successiva in apertura dell'opera Sulla sfera e sul cilindro afferma: <<E' ora data la possibilità ai competenti di esaminare queste proposizioni. Sarebbe stato bene che esse fossero state rese note, quando Conone era ancora in vita: pensiamo, infatti, che egli massimamente avrebbe potuto comprenderle pienamente e dare su di esse un giudizio confacente.>> Praticamente gli diceva in faccia che solo un altro li avrebbe davvero potuti comprendere e apprezzare veramente. Lo stesso elogio che vien fatto di Conone nella lettera introduttiva a Sulle Spirali è un implicito riconoscimento dell'inferiorità di Dositteo il quale, nondimeno, doveva apprezzare il valore di Archimede visto che lo sollecitava a inviargli le dimostrazioni di teoremi e problemi.

Qualcuno ha sostenuto che il Metodo è una comunicazione privata che Archimede fa ad Eratostene, ma c'è da credere che anche di questi egli non avesse grande considerazione come matematico visto che ritenne con lui di essere per la prima volta, anch'egli elementare. Sembra proprio che l'unico scienziato ammirato da Archimede sia stato Conone, <<il quale in nulla è mai venuto meno nella sua amicizia verso di noi>> com'egli dice nell'introduzione della Quadratura della Parabola. Di lui afferma: <<Ci dolemmo per la morte di un uomo amico e mirabile nelle matematiche>>, e ne fa l'elogio senza riserve nell'introduzione a Sulle Spirali con queste parole: <<Sappiamo, infatti, che egli fu straordinariamente abile in matematica e che fu molto amante del lavoro.>>

La perdita di Conone rappresentava per lui la mancanza di un interlocutore abile e di cui potersi fidare.

\* \* \*

## VIAGGI

Un'altra invenzione meravigliosa attribuita al Siracusano è l'organo idraulico, che emetteva suoni melodiosi prodotti dal movimento dell'acqua in tubi disposti in modo opportuno. Di tale strumento parla Tertulliano nella sua opera *De Anima*, attribuendolo allo scienziato. Egli dice: <<Guarda la portentosissima liberalità di Archimede: dico l'organo idraulico: tante membra, tante parti, tante compagini, tante vie delle voci, tanti insiemi di suoi, tante combinazioni di ritmi, tante file di flauti, e tutte queste cose erano una sola grande costruzione.>>

Un'altra realizzazione è il loculo archimedeo. Ne parlano Mario Vittorino scrittore vissuto nel IV secolo d.C. e Attilio Fortunaziano che è di un secolo posteriore. Quest'ultimo lo descrive così: <<*Quel loculo archimedeo, che ha quattordici lamelle di avorio di varie forme geometriche che sono inserite in una forma quadrata, rappresenta a noi che lo componiamo o in un modo o in un altro ora un elmo ora un pugnale, o una colonna o una nave e realizza innumerevoli forme, e soleva essere molto utile a noi fanciulli per rinsaldare la memoria.*>> Si tratta in realtà di un gioco molto diffuso nel corso dei secoli e non è altro che un puzzle. Nel passato si riteneva dubbio che si trattasse di una realizzazione di Archimede, pensando che la si dicesse "archimedeo" perché costruita con arte e ingegno. Alla fine del secolo scorso, però, Suter scoprì la traduzione araba di un libro del Siracusano che parlava di tale strumento: sembra essere confermata la legittimità dell'attribuzione allo scienziato di questa invenzione.

Un'altra straordinaria macchina attribuita ad Archimede è una specie di cannocchiale. La notizia si trova nell'opera di Favaro che parla della strana affermazione nella lettera che il fisico veneto Burattini (XVII secolo) scrisse a Bouillaud. In essa il fisico dichiara di aver ricevuto il disegno e la descrizione del "tubo catottrico" cioè del telescopio a riflessione di Newton sostenendo che nella città di Ragusa in Dalmazia esisteva ancora al suo tempo una macchina grazie alla quale si potevano vedere le navi che solcavano l'Adriatico alla distanza di 25-30 miglia. Per tradizione, aggiunge, quella macchina era attribuita ad Archimede e conclude affermando di credere che si trattasse della stessa che era stata posta sopra il faro di Alessandria dai Tolomei e per mezzo della quale, secondo una leggenda araba, si potevano vedere le navi uscire dai porti della Grecia.

Un'altra realizzazione di Archimede dovette colpire particolarmente i suoi contemporanei: la costruzione della grande nave di Gerone la cui descrizione è stata fatta, secondo Ateneo (II e III secolo d.C.) da Moschione. Essa fu costruita con tanto legname quanto sarebbe occorso per fabbricare sessanta galere, erano predisposti venti ordini di remi e al suo interno i pavimenti erano ricoperti di mosaici che raffiguravano scene della guerra di Troia. Possedeva una biblioteca, un bagno, cisterne, acquari e persino stalle con cavalli. Era munita di poderosi strumenti e armi micidiali, non meno di seicento uomini doveva imbarcare perché vi fossero svolte tutte le mansioni.

Questa nave fu usata per far giungere in Egitto ricchissimi doni prodotti dalla terra di Sicilia, fu regalata dal re Gerone a Tolomeo Evergete, che le cambiò il nome da Siracusa in Alessandria. Il racconto di Ateneo è ricco di fantasia e quindi poco credibile. Afferma lo storico che nonostante l'immenso peso: <<*il solo Archimede ve la trasse con pochi strumenti, avendo allestita l'elica per mezzo della quale ridusse in mare una nave così smisurata.*>> La stessa cosa è raccontata dal letterato bizantino Tzetze il quale sostiene che il Siracusano: <<*con una taglia a tre carrucole, e da solo, con la mano sinistra riusciva a trascinare una nave oneraria del peso di cinquantamila mediane.*>>



Plutarco racconta un episodio simile: <<Archimede scrisse un giorno al re Gerone, di cui era parente ed amico, che si poteva con una certa forza sollevare un certo peso. Si dice che, preso d'entusiasmo per il vigore della propria dimostrazione, Archimede aggiunse che se fosse esistita un'altra terra, egli avrebbe mosso questa trasferendosi in quella.

Gerone trasecolò per la scoperta fatta dall'amico e lo pregò di ridurre in pratica la sua proposizione, mostrandogli qualche grosso oggetto mosso da una piccola forza. Archimede prese un mercantile di tre alberi della flotta reale, che fu tirato in secco con grande fatica e l'impiego di molte persone, v'imbarcò molti uomini e il suo carico abituale, poi si sedette lontano e senza nessuno sforzo, muovendo tranquillamente con una mano un sistema di carrucole, lo fece avvicinare a sé dolcemente e senza sussulti, come se volasse sulle onde del mare.>> Evidentemente il grande scienziato siracusano deve essersi servito di vari congegni: l'asse della ruota, l'argano, la girella mobile, la puleggia, tutte macchine che combinate insieme possono moltiplicare le forze nella misura che si vuole.

Fu considerata meravigliosa un'altra realizzazione archimedeica: la Sfera. Si trattava di un vero e proprio planetario che riproduceva il moto dei corpi celesti del sistema solare allora conosciuto (Sole, Luna e cinque pianeti), la formazione delle eclissi e vari fenomeni come il tuono e i fulmini. Pare che lo scienziato abbia descritto in un libro questa sua opera, ma purtroppo non è giunta sino a noi e nulla si sa di preciso. In un epigramma Claudiano, poeta latino vissuto tra il IV e V secolo d.C., tradotto dal poeta Marini, così descrive l'opera di Archimede: <<Ecco ogni Sfera in picciol globo ha chiusa l'ingegnoso ingegner di Siracusa. De' Poli i siti e della Luna torta gradi, immagini e segni ivi trasporta. Con certi giri entro l'augusta mole corre e l'anno misura il finto Sole; e con lucenti ed argentate corna al nuovo mese suo Cintia ritorna. Né meno han delle stelle i moti e i seggi dall'industria del Fabbro ordini e leggi.>> Lattanzio, scrittore cristiano vissuto tra il III e IV secolo d.C., crede che la Sfera sia di rame. :<<Il Siciliano Archimede potè realizzare con una sfera di rame un Mondo artificiale, nel quale dispose il Sole e la Luna in modo tale che producessero moti disuguali e simili alle orbite celesti quasi in ogni giorno e quel mondo nel girare mostrasse non solo il crescere e il calare del Sole o le fasi della Luna, ma anche i differenti corsi delle stelle.>> Cicerone sostiene: <<Quando Archimede applicò a una Sfera i movimenti della Luna, del Sole e dei cinque pianeti, fece la stessa cosa del Dio di Platone che nel Timeo costruì il Mondo in modo che un solo corpo reggesse moti diversissimi per velocità: neppure nella Sfera Archimede avrebbe potuto imitare gli stessi moti senza un ingegno divino.>>

C'è da dire che Archimede non fu certo l'inventore della Sfera, avendo altri prima di lui rappresentato i globi celesti. Fu il primo che raffigurò in modo meccanico i moti. Si discusse a lungo, senza trovare un accordo, sul modo in cui erano prodotti i movimenti. Secondo Cardano Archimede avrebbe riprodotto con la sua Sfera un sistema cosmologico simile a quello che oggi chiamiamo copernicano, in cui anche la Terra era fatta come un piccolo globo che si muoveva. Anche Mazzuchelli sostenne che nel piccolo globo della Terra doveva essere nascosto un artificio di ruote che muoveva la Terra stessa attorno al Sole.

Un'altra realizzazione di Archimede fu quella degli specchi ustori: il primo a riferirne fu lo scrittore greco Luciano di Samosata vissuto nel II secolo d.C.. Egli afferma che il Siracusano con un semplice artificio distrusse le trireme nemiche senza far cenno però agli specchi. Un'altra testimonianza è di Galeno, il famoso medico nato a Pergamo e vissuto a Roma nel II secolo d.C. che afferma: <<In questo modo, ritengo, dicono che anche Archimede abbia incendiato con specchi ustori le navi dei nemici.>> Ne parla anche Zonara dicendo: <<Infine bruciò mirabilmente tutta la flotta dei Romani. Infatti, con uno specchio sospeso in direzione del Sole raccolse i suoi raggi.>> Lo stesso Tzetze ne parla

sostenendo che Archimede costruì uno specchio esagonale con altri piccoli specchi che erano mossi in modo particolare, collocandolo in una posizione tale che, riflettendo i raggi del sole, fece sviluppare un formidabile incendio che ridusse in cenere le navi nemiche, nonostante si trovassero alla distanza di un lancio di freccia.

Tutte queste testimonianze sono di epoca posteriore ai fatti. Galeno riferisce cose dette da altri, Luciano sostiene solo che Archimede distrusse le navi nemiche, ma non spiega con quale mezzo lo fece, Zonara è un autore vissuto in epoca molto tarda, scrisse degli Annali che terminano nell'anno 1118, data alla quale, egli ancora viveva. Riferendosi agli specchi egli si basa sull'autorità di Dione, storico vissuto tra il I e II secolo d.C. autore di una grande storia romana in 80 libri di cui solo 25 giunti a noi. Dione è, del resto, un autore piuttosto facile a dar credito a fatti portentosi. Né maggior credito si può dare a Tzetze che Mazzuchelli definisce: *<<autore sì favoloso che in certi luoghi delle sue storie può servire, come agli eruditi è ben noto, più a imbrogliare che a mettere in chiaro la verità della storia.>>* Dà una descrizione degli specchi tanto enigmatica che Bonaventura Cavalieri, matematico del seicento che fu allievo di Galileo, pur ritenendo vera la notizia, sostiene che Tzetze non sapesse davvero di che sorta essi fossero.

Nell'Ottocento prestò credito alla notizia degli specchi ustori anche Salvatore Scinà, uno studioso siciliano vissuto all'inizio del secolo scorso. Egli li descrive in uno scritto del 1823 su Archimede basandosi sui racconti di Tzetze, Zonara e di Anthemio di Tralles. Un secolo prima Mazzuchelli si era ampiamente dedicato a dimostrare che secondo i principi dell'ottica, nessuno specchio avrebbe potuto giungere ad un risultato come quello di incendiare delle navi poste ad una certa distanza. Gli studiosi del Rinascimento, e tra loro anche Leonardo, si erano molto affaticati in ricerche sugli specchi ustori. Nel secolo successivo se ne occuparono anche Galileo, i suoi discepoli e l'Accademia del Cilento. Nessuno di questi studi portò a concludere che si potessero bruciare le navi romane ad una certa distanza. In seguito, una cosa del genere fu recisamente negata anche da Cartesio e Keplero.

Sembra decisivo per appurare la verità sugli specchi ustori, il fatto che non ne parlano per niente né Plutarco, né Tito Livio, né Polibio che come sappiamo sono gli storici più attendibili per ricostruire le vicende di Siracusa. Essi non risparmiano descrizioni particolareggiate delle svariate macchine e degli artifici realizzati da Archimede per combattere i nemici. La spiegazione più plausibile sembra quella che la leggenda degli specchi ustori si sia formata per la combinazione di due notizie. Da una parte come affermano Olimpiodoro e Apuleio, Archimede si interessò di specchi ustori scrivendo anche un'opera in tal senso; dall'altra la notizia raccontata da Silio Italico che alcune navi romane che assediavano Siracusa erano state bruciate. E' questa la tesi di Favaro e, in qualche misura, anche di Mazzuchelli. Di sicuro Archimede realizzò delle macchine per difendere la sua città, macchine che servivano a lanciare pietre ad una certa distanza e che riuscivano, secondo Plutarco, a sollevare e poi far ricadere le navi romane in mare che si avvicinavano troppo sotto le mura. Leonardo descrive alcune di queste macchine, come l'architronito, una specie di cannone vero e proprio, funzionate a vapore. Non sappiamo però se questi strumenti siano stati usati per la difesa di Siracusa e non sappiamo da dove Leonardo abbia tratto le notizie per descriverci questi strumenti.

\* \* \*

## ARCHIMEDE E LA TECNICA

Pappo ed Erone esaltano il genio meccanico di Archimede, considerandolo il vero padre di questa disciplina. Secondo Pappo, furono quaranta le realizzazioni di Archimede nel campo della meccanica applicata. Ma tutto questo impegno, secondo Plutarco, il Siracusano lo realizzò quasi per gioco, affermò, infatti, lo scrittore: *<<non che ad essi si fosse dedicato come a un lavoro degno di attenzione: in maggioranza erano divertimenti di geometria che aveva fatto a tempo perso.>>*

Sempre secondo Plutarco, egli riponeva nelle opere teoriche la sua maggiore soddisfazione e la speranza che presso i posteri fosse ricordata la fama del suo ingegno. *<<Archimede – afferma lo scrittore – possedette uno spirito così elevato, un'anima così profonda e un patrimonio così grande di cognizioni scientifiche, che non volle lasciare per iscritto nulla su quelle cose [cioè sulle sue realizzazioni tecniche], cui pure doveva un nome e la fama di una facoltà comprensiva non umana, ma pressoché divina. Persuaso che l'attività di uno che costruisce delle macchine, come di qualsiasi altra arte che si rivolge a un'utilità immediata, è ignobile e grossolana, rivolse le sue cure più ambiziose soltanto a studi la cui bellezza e astrazione non sono contaminate da esigenze di ordine materiale.>>*

Non bisogna dare a queste parole molto peso, sottovalutando l'enorme importanza che ebbero le realizzazioni pratiche per Archimede. Vero è che la sua opera fu influenzata dalla concezione platonica della scienza, che poi si fondava sui presupposti filosofici ateniesi del tempo, che considerava vera realtà solo quella ideale, conoscibile per via esclusivamente razionale. Il mondo sensibile, quello delle cose che ci circondano e in cui si svolge la nostra esperienza quotidiana, è fatto di apparenze, la cui unica importanza risiede nell'essere copie, molto imperfette, della vera realtà. Il compito del filosofo è quello di liberarsi dal mondo sensibile per accostarsi sempre di più a quello ideale della Verità, della Bellezza e del Bene.

Le scienze matematiche svolgono in questo un ruolo essenziale: per loro mezzo è possibile compiere il passaggio dal sensibile al razionale, cioè alle idee. Platone dice nella Repubblica: *<<La matematica tira su fortemente l'anima e l'obbliga a discorrere dei numeri in sé presi>>*; intesi cioè come enti astratti e puramente intelligibili. Per questo essa è necessaria, visto che *<<appare come costringente l'anima a far uso della pura intelligenza per giungere alla pura verità.>>* Anche la geometria – aggiunge poco dopo – va coltivata per pura ragione di conoscenza e non per scopi pratici. La conoscenza cui porta ha per oggetto ciò che eternamente è: essa sarà trascinatrice dell'anima verso la verità, obbligandola a vedere l'essere e non ciò che diviene ed è sensibile e materiale. Dedicarsi alle applicazioni pratiche della matematica doveva apparire una svalutazione della scienza; Platone con la sua filosofia influenzò i maggiori matematici del periodo, dalla scuola da lui fondata. L'Accademia, uscirono Teeteto ed Eudosso, per non parlare degli Elementi di Euclide. Secondo lo scienziato e storico della scienza Zeuthen, l'esposizione stessa che è seguita negli Elementi di Euclide è di ispirazione platonica. Il partire dagli elementi, cioè dai postulati fondamentali, il rifiuto di considerare la riga ed il compasso nella costruzione delle figure geometriche, postulandone l'origine quasi dal nulla.

Anche Aristotele, che fu discepolo di Platone, svolge un ruolo preciso nell'affermare la concezione della scienza come discorso puro e senza scopi pratici. Lo scienziato è per lui un contemplatore puro e disinteressato, e più la sua ricerca si avvicina a questi caratteri e più è perfetta. Più si disinteressa della pratica e dell'utilità delle sue ricerche, più egli si rende simile a Dio, la cui assoluta perfezione è rappresentata proprio dal fatto di essere pensiero di pensiero, cioè conoscenza completamente fine a sé stessa.

La vera saldatura tra scienza geometrica pura e attività tecnica in Archimede pare aversi nel suo istinto a fisicizzare tutto, anche gli enti matematici che dovrebbero essere del tutto astratti e ideali. Egli vede le figure geometriche come risultati di un processo di costruzione assolutamente materiale: il segmento di retta, ad es., è per lui ottenuto come accostamento di punti materiali concreti; le figure piane sono riempite da tutte le corde o striscioline in cui possono essere tagliate. Non si vuol certo dire che Archimede ebbe la concezione matematica arcaica, propria dei pitagorici, che consideravano gli enti geometrici come sensibili.

I punti che compongono la linea, le linee che compongono il piano, i piani che compongono il solido, sono per lui infinitamente piccoli e quindi infiniti di numero. Questo significa che essi non sono identificabili con la realtà sensibile che cade sotto la nostra immediata osservazione, ma significa anche che non sono, comunque, puramente astratti. Dietro gli enti geometrici Archimede vede la realtà fisica da cui si originano e cui si collegano. Egli pensa in modo fisico e non matematico puro.

Archimede studia il centro di gravità non solo delle figure solide, cosa che è naturale, ma pure di quelle piane, cosa che non lo è affatto. La geometria euclidea escludeva per le figure piane ogni considerazione che era riferibile a una solidità. Archimede invece rende fisiche le figure astratte: ma, contemporaneamente rende astratte le cose fisiche. La leva, che studia nell'opera *Sull'equilibrio dei piani*, ha perso gran parte della sua realtà concreta ed è ridotta a una pura linea geometrica, il cui fulcro non è altro che un punto a sua volta geometrico. Egli così opera a doppio senso, matematico e fisico, e l'uno si riferisce all'altro e non può essere senza l'altro.

Egli realizza una meccanica razionale, studiando matematicamente fenomeni fisici, ma pensa da fisico la geometria, inaugurando una "fisica della matematica" come la chiama il filosofo Augusto Guzzo nella sua opera *"La scienza"*. Questo modo di concepire la geometria, secondo Guzzo, egli lo vive come una tendenza naturale e spontanea, non polemizza mai con i puristi più intransigenti. Questo istinto naturale sembra il vero fondamento delle sue ricerche teoriche ma anche pratiche della sua scienza, per le quali, nonostante le affermazioni di Plutarco, Archimede doveva provare un vero gusto.

Fu Gerone a spingere lo scienziato sulla strada delle applicazioni tecniche favorendone l'inclinazione della sua natura. Egli si applicò agli studi meccanici riuscendo per primo a definire i principi teorici di questa scienza. Si trattava di una novità eccezionale della scienza antica: permettere alla teoria di riferirsi alla pratica e alla scienza di avere applicazioni tecniche concrete e utili, conservando la propria dignità scientifica.

La scienza di Archimede non è nemmeno concepibile senza il riferimento alla pratica. La grande novità è il legame tra scienza e pratica per cui l'una influenza l'altra e la fa progredire. Furono i problemi pratici a spingere Archimede nella direzione della ricerca teorica portandolo a scoperte fondamentali.

In lui ci fu, come disse Frajese, pieno equilibrio, secondo il modello della classicità greca, tra l'applicazione pratica e la costruzione della teoria.

\* \* \*

## L'INGANNO DELLA CORONA DI GERONE

Archimede è legato nelle sue ricerche all'esperienza e molte delle sue scoperte sono originate dalla necessità di risolvere problemi pratici. Lo dimostra l'episodio della corona di Gerone di cui Plutarco fa soltanto un accenno, mentre lo racconta estesamente Vitruvio. Seguiamo la versione che ne dà Favaro:

*<<Il re Gerone pervenuto al trono, e riconoscendo dalla benevolenza degli dei i fausti eventi del suo regno, volle dar loro un segno della sua gratitudine con un cospicuo dono; chiamato perciò a sé un abile artefice gli consegnò un certo peso d'oro, perché ne facesse una corona. Trascorso il tempo assegnato, l'orefice portò al re la corona che gli aveva commessa, fu riscontrato il peso corrispondente esattamente a quello dell'oro che gli era stato consegnato, e l'opera essendo stata altamente approvata fu appesa in un tempio in forma di ex-voto. Sennonché di lì a non molto non è detto se in seguito a una denuncia o per qualche altro motivo, si cominciò a sospettare che la corona non fosse proprio tutta d'oro e che l'orefice, trattenuta per sé parte del nobile metallo, altro ve ne avesse mescolato fino a raggiungere il peso voluto, di che irritato il re, il quale pur non voleva che l'egregio lavoro fosse danneggiato, e manomessa in qualsiasi maniera un'offerta già fatta agli dei, invitò Archimede a scoprire se o meno l'artefice avesse commessa la frode della quale era sospettato.*

*Preoccupato Archimede della soluzione del grave problema, egli vi pensava di continuo, finché un giorno entrando nel bagno e osservando che quanto più era del suo corpo dentro all'acqua tanto maggiore quantità ne usciva dalla tinozza, parsegli che in ciò appunto si contenessero gli elementi della soluzione che andava cercando, per la qual cosa pieno di allegrezza uscì dal bagno e così tutto nudo com'era corse a casa gridando per le vie 'eureka, eureka' (che in greco significa: ho trovato, ho trovato).>>*

Vitruvio dà anche la spiegazione del modo in cui Archimede applicò l'intuizione avuta nel bagno per scoprire l'inganno della corona. Egli fece due masse, una d'oro e l'altra d'argento, entrambe dello stesso peso della corona. Riempì poi d'acqua un recipiente fino all'orlo immergendovi la massa d'argento. In questo modo uscì dal recipiente tanta acqua quanto era il peso della massa: gli bastò dunque togliere l'argento e riempire nuovamente d'acqua fino all'orlo il recipiente, trovando così quanta acqua corrispondeva a una certa misura d'argento. Fece quindi la stessa cosa con l'oro, trovando che era uscita meno acqua di prima dal recipiente. Riempitolo di nuovo, si accorse che immergendovi la corona stessa, ne usciva più acqua che con la massa d'oro. Da tutto ciò concluse che, evidentemente, nella corona era stato messo dall'orefice un certo quantitativo d'argento: l'inganno era così dimostrato.

Questo racconto non piacque a molti autori, perché non sembrò degno del genio di Archimede. Secondo Proco Archimede, senza sciogliere la corona scoprì il singolo peso dei metalli mescolati. In un poema attribuito a Prisciano, si legge un'altra versione dei fatti. Nell'epoca moderna neppure Galileo fu soddisfatto del racconto di Vitruvio. Ne parla già in una delle sue prime scritture giovanili, che non pubblicò mai e che intitolò "De motu antiquiora.". Galileo compì una serie di ricerche di idrostatica la cui descrizione redasse in modo dettagliato in un altro trattato cui pose il titolo "La Bilancetta" ovvero "Discorso del sig. Galileo Galilei intorno all'arteficio che usò Archimede nel scoprir il furto dell'oro nella corona di Hierone.". E' una delle prime opere del matematico pisano, che non pubblicò mai, ma che fece girare tra gli amici.

In essa Galileo indica la soluzione del problema descrivendo lo strumento che in seguito fu detto "Bilancia Idrostatica". Fin dalle prime battute dichiara che il metodo narrato da Vitruvio: *<<par cosa, per così dirla, molto grossa e lontana dall'esquisitezza, non certamente degna delle sottilissime invenzioni di sì divino uomo>>*, cioè di Archimede. Per

cui, pensando <<*in qual maniera, co'l mezzo dell'acqua, si potesse squisitamente trovare la mistione di due metalli, dopo aver con diligenza riveduto quello che Archimede dimostra nei suoi libri* >>*Delle cose che stanno nell'acqua*" ed in quelli "*Delle cose che pesano egualmente*", riuscì mirabilmente a trovare un modo che esquisitissimamente risolve il nostro quesito, il quale, afferma subito crederò io esser l'istesso che usasse Archimede.>>

In ogni caso, anche accettando la versione di Vitruvio, è possibile fare delle considerazioni importanti e cioè che il problema per essere risolto, richiedeva che fosse determinato il volume della corona e che questo fosse posto in relazione con il peso al fine di scoprire l'inganno. <<*Ecco dunque – conclude Frajese – che il grande scopritore di volumi e di aree, determinati con esattezza matematica, è qui costretto, di fronte a questo problema, a ricorrere alla misurazione pratica, attraverso la determinazione (necessariamente imprecisa) della quantità di acqua spostata.* >> Sarebbe questa un'altra conferma della duttilità e agilità intellettuale dello scienziato.

\* \* \*

## I GALLEGGIANTI

Il principio di Archimede è descritto dal Siracusano in una delle due opere, tra quelle pervenute, che sono dedicate allo studio dei fenomeni meccanici. Si tratta dei "Galleggianti" in cui si tratta di quel ramo della meccanica che è la statica dei liquidi e di cui Archimede fu il vero fondatore. L'opera ha avuto travagliate vicende. Dopo che nel XIII secolo Guglielmo di Moerbeke (collaboratore filologico di San Tommaso d'Aquino) ne fece una versione latina strettamente fedele all'originale, il testo greco andò perduto. Tartaglia, il grande matematico del Cinquecento, servendosi di quella versione, pubblicò lo scritto per primo nell'epoca moderna, seguito qualche anno dopo da Commandino che cercò pure di migliorarne il testo. Agli inizi del nostro secolo Heiberg, scienziato e storico della scienza, profondo conoscitore di Archimede. Ebbe la straordinaria fortuna di ritrovare a Costantinopoli un manoscritto contenente il testo greco di varie opere di Archimede, tra cui quella fondamentale intitolata il Metodo. Tra quelle opere c'era il testo – purtroppo non completo dei Galleggianti, che così poté tornare ad essere letto e studiato nella stesura originale.

Tornando all'opera del Siracusano si trovano premesse due postulati e due preposizioni la seconda delle quali, come afferma il Frajese, è di carattere geografico. Essa sostiene che se un liquido è in riposo, la sua superficie ha la figura di una sfera avente il centro nel centro della Terra. Detto in altre parole, questo significa, che tutti i punti della Terra il livello del mare è lo stesso, cioè dista egualmente dal suo centro. Si tratta di una verità che dopo Archimede fu abbandonata e solo molto più tardi, in epoca ormai vicina alla nostra, fu ripresa e dimostrata come vera. Dopo queste preposizioni, nei Galleggianti per la prima volta è definito il concetto di peso specifico. Se questo, nel solido, è uguale a quello del liquido, si avrà equilibrio, nel senso che il solido stesso resterà immobile, senza discendere né emergere; se invece avrà peso specifico minore del liquido, il solido emergerà in parte di esso, se infine il suo peso specifico sarà superiore, si immergerà nel liquido, andando a fondo, ma venendo alleggerito di quanto è il peso del liquido spostato. In questo modo Archimede enuncia il suo principio: <<*Un corpo più pesante del liquido nel quale lo si immerge discenderà al fondo e il suo peso, nel liquido, diminuirà d'una quantità misurata da ciò che pesa un volume di liquido uguale a quello del corpo.*>>

\* \* \*

## SULL'EQUILIBRIO DEI PIANI

E' l'altra opera di Archimede che è giunta sino a noi e dedicata a problemi fisici. Poiché in essa Archimede usa il concetto di gravità senza definirlo esplicitamente, c'è chi pensa che egli abbia scritto un'altra opera su argomenti analoghi e che proprio in essa abbia dato quella definizione. L'esistenza di tale scritto è negato da altri interpreti.

"Sull'equilibrio dei piani" è una delle prime opere del siracusano, come si può argomentare in base alle sue stesse affermazioni. In particolare sembra verosimile che tra la stesura del primo e secondo libro di essa va cronologicamente posta la composizione della "Quadratura della parabola", nella cui introduzione Archimede rivolgendosi a Dositeo parla della morte di Conone come di un fatto avvenuto da poco e che ci fa collocare lo scritto agli inizi della sua produzione scientifica.

Ciò porterebbe a concludere che all'inizio Archimede abbia speso le sue energie verso la matematica applicata argomento, appunto, dell'opera "Sull'equilibrio dei piani". La stesura della "Quadratura della parabola", con la sua dose di matematica pura, servì ad Archimede per risolvere gli argomenti meccanici del secondo libro dell'opera "Sull'equilibrio dei piani". Si può dedurre che Archimede sin dai suoi primi studi si allontanasse dal metodo euclideo prettamente teoretico anche se, come dice Frajese il distacco non è così netto. Infatti, la meccanica applicata nelle opere di Archimede riguarda solo corpi geometrici: nell'opera "Sull'equilibrio dei piani" egli prende in considerazione le figure piane aventi cioè due dimensioni. Se consideriamo la settima proposizione del I libro dove trattando delle condizioni di equilibrio della leva prende in considerazione il caso delle grandezze incommensurabili ci rendiamo conto di come ciò abbia alto valore teorico ma nessun senso concreto.

In altre parole, come dice Plutarco, Archimede si tiene lontano dal considerare nei suoi scritti le applicazioni pratiche vere e proprie limitandosi a considerare i presupposti teorici e rimanendo così fedele alla concezione platonica della scienza. Come sostiene Frajese si può stabilire una linea di continuità tra l'opera di Archimede ed Euclide, anche se il Siracusano non si lasciò paralizzare dal platonismo dell'epoca dedicandosi sia alle ricerche di matematica pura sia alle realizzazioni pratiche. Si può concludere che in Archimede non è possibile separare lo scienziato teorico dall'ingegnere e dal tecnico. "Sull'equilibrio dei piani" insieme ai "Galleggianti" pone i fondamenti della statica.

\* \* \*

## STUDI DI ASTRONOMIA

Essendo probabilmente figlio di un astronomo, Archimede fu in grado di padroneggiare anche in astronomia. Tra gli autori che danno testimonianza della sua attività in questo campo vi è Ipparco di Nicea, astronomo vissuto nel II secolo a.C. e fondatore della vera astronomia d'osservazione. Lo cita Tolomeo "nell'Almagesto": <<rispetto ai solstizi spero che Archimede ed io non ci siamo ingannati sino a un quarto di giorno tanto nelle osservazioni quanto nel calcolo.>>

Troviamo testimonianza anche in Tito Livio e Plutarco, come pure in Microbio che dice: <<anche Archimede credette di aver scoperto il numero degli stadi della distanza della Luna dalla superficie della Terra, di Mercurio dalla Luna, di Venere da Mercurio, del Sole da Venere, di Marte dal Sole, di Giove da Marte, di Saturno da Giove, ma ritenne di aver anche calcolato ogni spazio dal cerchio di Saturno, fino allo stesso cielo stellato.>>

E' "nell'Arenario" che Archimede descrive dettagliatamente il metodo da lui usato per misurare il diametro apparente del Sole e pur rimanendo lontano dal vero raggiunse

un'approssimazione molto maggiore dei suoi predecessori. Probabilmente lo scienziato parlò delle sue osservazioni astronomiche in due opere che, però sono andate perdute, la "Sferopea" e la "Catottrica".

\* \* \*

## OPERE MATEMATICHE

"L'Arenario" è uno scritto essenzialmente di aritmetica ma interessante sotto vari aspetti. Vi si trova la prima notizia storica di una teoria eliocentrica, quella del grande matematico, fisico e astronomo greco del III secolo a.C. Aristarco di Samo. Quello che si propone di ottenere è il calcolo dei granelli di sabbia che occorrono a riempire la sfera dell'universo.

*<<Alcuni pensano, o re Gelone – egli dice – che il numero dei granelli della sabbia sia infinito in quantità. Ma io tenterò di mostrarti, per mezzo di dimostrazioni geometriche che tu potrai seguire, che, dei numeri da noi denominati ed esposti negli scritti inviati a Zeusippo, alcuni superano non soltanto il numero dei granelli di sabbia aventi nell'insieme grandezza uguale alla Terra riempita ma anche grandezza uguale al Cosmo intero.>>*

La dedica dimostra il rapporto di amicizia che esisteva tra Archimede e la corte siracusana. Gelone in realtà non era ancora re, era stato associato dal padre Gerone al governo, ma non poté succedergli perché morì prima. In quest'opera Archimede si pone il problema di numerare i granelli di sabbia occorrenti a riempire l'universo. Egli dice che quel numero è finito e che i granelli devono avere un diametro tale per cui ne possano stare 10.000 in seme di papavero. Il diametro di questo deve essere la quarantesima parte del diametro di un dito, per cui ne risulta che la sfera che ha il diametro di un dito non è più di 64.000 volte (cioè  $40^3$ ) un seme di papavero.

Passa poi alla sfera avente per diametro uno stadio, che è minore di quella avente per diametro 10.000 dita, per giungere alla sfera che ha il centro nel centro della Terra e per raggio la distanza tra il centro della Terra e quello del Sole. Il diametro della Terra è per Archimede minore di cento miriadi di miriadi di stadi (miriade = 10.000). Infine, considera la sfera delle stelle fisse, che ha un diametro non superiore a una miriade di volte il diametro della sfera precedente. Così è possibile effettivamente arrivare al numero dei granelli di sabbia necessaria a riempire l'Universo, come ci si era proposti.

La vera difficoltà di Archimede in realtà era quella di dare il nome e quindi di poter scrivere una serie infinita di numeri. A noi il problema non si pone perché il nostro sistema ci permette di esprimere con facilità qualunque grandezza, basta scrivere ad es. dopo l'unità tanti zeri quanti vogliamo. Non era così per i Greci, che avevano un sistema di scrittura che si serviva delle lettere dell'alfabeto.

Il vero problema dell'Arenario era quello di allargare la notazione aritmetica di cui disponevano i Greci. Così, Archimede escogita un nuovo sistema costituito da infinite serie di numeri. Chiama "numeri primi" quelli compresi tra 1 e la miriade di miriadi, escludendo quest'ultima. Prende poi la miriade di miriadi come unità dei "numeri secondi" che sono quelli compresi tra una miriade di miriadi e cento milioni di miriadi di miriadi, escludendo quest'ultimo numero: cioè i numeri che stanno tra  $10^8$  e  $10^8 \cdot 10^8$ , vale a dire  $10^{16}$ .

Prende questo numero come unità dei "numeri terzi", che sono quelli compresi tra  $10^{16}$  e  $10^{24}$ , e così via. Arriva così al numero che si può indicare col numero d'ordine della miriade di miriadi e lo considera l'unità "U" del "secondo periodo", facendo invece parte del "primo periodo" tutti i numeri fin qui trovati. I numeri del nuovo periodo sono compresi tra "U" e cento milioni di miriadi di miriadi di "U" e sono divisi a loro volta in numeri primi, secondi, terzi e così via, del secondo periodo. L'ultimo numero di esso, che ha a sua volta il numero d'ordine della miriade di miriadi, lo assume come unità del terzo periodo. Il procedimento, com'è chiaro, essendo ricorrente, può ripetersi all'infinito.



In questo modo Archimede riesce a far giungere anche la numerazione greca all'infinità della serie dei numeri naturali, come è per noi. Da questo punto di vista, come osserva il Frajese, i risultati dell'Arenario rappresentano in aritmetica quello che in geometria è il secondo postulato degli elementi di Euclide, nel quale si afferma che la retta è sempre prolungabile.

Per Archimede il numero dei granelli di sabbia che riempiono l'Universo, alle condizioni che lui ha posto, per quanto enorme, è relativamente basso: appartiene ancora al primo periodo, tra i numeri ottavi di esso ossia  $10^{63}$

*<<Queste cose poi – conclude Archimede – ritengo che sembreranno incredibili ai molti che siano imperiti nelle matematiche, ma che saranno credibili, mediante le dimostrazioni, da coloro che son versati in esse e che abbiano meditato sulle distanze e sulle grandezze della Terra, del Sole, della Luna e di tutto il Cosmo: perciò ho ritenuto che fosse bene che tu conoscessi queste cose.>>*

E' interessante notare, come osserva il Frajese, che i processi di iterazione di Archimede rientreranno nella matematica odierna, per ciò che riguarda i numeri transfiniti, nella teoria di Cantor<sup>2</sup>.

\* \* \*

## OPERE GEOMETRICHE

Prima di Archimede la matematica aveva già fatto significativi progressi. Il Greci l'avevano ereditata dall'Oriente in forma già molto sviluppata, ma ancora strettamente legata alla pratica. Furono proprio loro a farla passare dallo stadio di approssimazione alla forma esatta, teorica, di precisione. La data convenzionale di inizio della speculazione scientifica e filosofica greca è il VI secolo a.C. epoca in cui operò Talete, vissuto a Mileto, sulle coste della penisola anatolica.

Il merito dei Greci fu proprio quello di idealizzare gli enti geometrici, considerandoli a sé stanti. Un grande impulso avvenne dalla scoperta delle grandezze incommensurabili, avvenuta attorno il 500 a.C. all'interno della scuola fondata da Pitagora, che fu il primo a studiare la geometria in modo teoretico e non pratico. Per lui il punto è ancora dotato di dimensione e non è quindi un ente astratto. Quando però si scoprì che la diagonale e il lato del quadrato non sono tra divisibili senza residui, cioè sono incommensurabili, la concezione granulare del punto e tutta la visione materiale e sensibile della geometria non furono più sostenibili. I pitagorici furono così sconvolti da questa scoperta, che distruggeva le basi scientifiche della loro dottrina, da proibire ai membri della scuola di divulgare la notizia.

Parmenide, filosofo vissuto a Elea nel V secolo a.C., partendo da questa scoperta criticò definitivamente quella concezione della matematica, mentre i paradossi del suo discepolo Zenone non lasciarono altra possibilità che quella di elaborare una nuova visione della matematica. Se questa ha un carattere sensibile, dice Zenone, le grandezze geometriche sono costituite da elementi indivisibili ed estesi. Ma in tal si finirebbe nell'assurdo di dover ammettere che quelle grandezze siano contemporaneamente piccole e grandi: piccole fino a non avere grandezza e grandi fino a essere infinite. Il punto quindi non può avere dimensioni; esso non appartiene agli enti, non è sensibile, non esiste realmente.

Afferma Rufini *<<I ragionamenti di Zenone mentre aprivano alla speculazione dei matematici il mondo dell'infinito, ne prospettavano con vigore tutte le incognite e, anziché incoraggiarne l'uso nelle questioni geometriche, consigliavano le più prudenti cautele.>>*

---

<sup>2</sup> Georg Cantor, matematico russo (Pietroburgo, 1845)

In effetti, non fu mai superato nella scienza e nella filosofia greche un vero orrore per l'infinito, che operò nello stesso Archimede e lo costrinse, per trovare soluzioni matematiche rigorose che altrimenti non sarebbero state possibili, a inventare geniali alternative all'uso diretto del concetto stesso di infinito. Erano comunque state poste le basi per una nuova matematica fondata sulla convinzione che il punto non possa avere dimensioni, che la linea sia una lunghezza priva di larghezza e che la superficie sia priva di spessore. Dice Frajese: <<E' questo il vero colpo d'ala della geometria greca che segna l'inizio della geometria di precisione.>>

Chi sistematizzò definitivamente questa concezione geometrica è Euclide. I suoi Elementi vennero composti attorno al 300 a.C. cioè alcuni decenni prima del secolo in cui operò Archimede. E' un trattato di matematica elementare in cui le proposizioni si deducono a partire da proposizioni primitive (postulati o assiomi) che sono evidenti di per sé. Negli Elementi la trattazione dei temi ha carattere di assoluta teoreticità, in gran parte dovuta a un'influenza platonica. Non vi è alcun accenno ad applicazioni pratiche della verità raggiunte e neppure il minimo esempio numerico o la più semplice regola di misura.

Questa idealità assoluta è estranea invece ad Archimede; egli non disdegna i calcoli aritmetici o le regole di misura e tuttavia si distingue, come in Euclide, per un assoluto rigore dimostrativo: da proposizioni prime (assunzioni o lemmi) si deducono proposizioni via via più complesse fino a quelle volute. Il carattere dell'argomentazione archimedeica non è però elementare ma per iniziati. Dice Frajese: <<La lettura delle opere di Archimede colpisce ed entusiasma, pur senza essere facile e spedita.>> Galileo afferma di aver letto le opere di Archimede con *infinito stupore* e prima di lui Tartaglia riconosceva lo straordinario vantaggio avuto dalla conoscenza delle opere del siracusano tanto da rendersi conto che il loro valore era tale da far meritare ad Archimede una fama e delle lodi addirittura superiori a quelle tramandate dagli antichi.

\* \* \*

## SULLA SFERA E SUL CILINDRO MISURA DEL CERCHIO

L'opera che Archimede riteneva la sua più importante è *Sulla sfera e sul cilindro*. Plutarco racconta che egli volle che sulla sua tomba fossero incise appunto quelle due figure con un epigramma che definisse la proporzione che le lega. Essa può essere considerata la prosecuzione del libro XII degli Elementi di Euclide che tratta degli stessi argomenti. Archimede scopre però e dimostra teoremi nuovi e fondamentali sul volume e sulla superficie della sfera, che si trovano sul primo libro: che la superficie della sfera è il quadruplo del circolo massimo e che il volume di essa è quadruplo del volume del cono avente base uguale al cerchio massimo e altezza uguale al raggio della sfera stessa. Il *libro II* è quasi completamente dedicato ai problemi che si riferiscono alla divisione della sfera mediante piani e culmina con il teorema che stabilisce che tra tutti i segmenti sferici, appartenenti anche a sfere diverse, purché aventi uguale superficie, quello massimo è l'emisfero. Come dice Frajese, Archimede in questo libro non si limita a dare la soluzione dei vari problemi, ma svela i segreti del procedimento seguito, pressappoco nello stesso ordine di idee della trattazione del *Metodo* in cui descrive il modo che seguiva per trovare *meccanicamente* le soluzioni.

All'opera sono premessi alcuni postulati tra cui il famoso "*postulato di Archimede*". Esso è usato anche nelle trattazioni moderne come base della teoria dei rapporti tra

grandezze. La sua formulazione, anche se un pò diversa da quella che ne dà lo scienziato, è questa: "Date due grandezze appartenenti alla stessa classe e supposto che A sia maggiore di B, esiste un multiplo di B che supera A, cioè esiste un numero naturale  $n$  tale che si abbia  $nB > A$ ."

Pur attribuendo il postulato ad Archimede bisogna dire che esso è usato da Euclide e probabilmente è dovuto ad Eudosso. Fu il matematico di Innsbruck Otto Stolz a proporre di chiamarlo così nel 1883 in quanto ritenne che Euclide ne faccia solo un uso implicito e che sia Archimede a darne una definizione precisa ed a usarlo esplicitamente. Quel postulato è usato in *Sulla sfera e sul cilindro* per dimostrare che i rapporti tra rette possono tendere al limite 1 purché si definisca opportunamente il modo di formazione dei rapporti successivi tra loro. Secondo le parole di Archimede si possono trovare coppie di segmenti di rette disuguali, tali che il loro rapporto sia minore di qualunque rapporto prefissato maggiore dell'unità, ma vicino all'unità quanto si voglia. Questa è la prima grande proposizione. Essa è subito applicata nel migliore dei modi al caso di due poligoni regolari, di uguale numero di lati, uno circoscritto e uno inscritto in un cerchio.

Archimede dimostra che il rapporto tra i loro perimetri può essere fatto avvicinare all'unità quanto si voglia, purché si possa disporre di un numero di lati a sua volta grande quanto si voglia. Così è espresso un motivo fondamentale della geometria del Siracusano, vale a dire il tendere indefinito gli uni verso gli altri non solo dei perimetri, ma anche per le aree, e non riguarda solo il cerchio, ma anche piramidi e prismi rispettivamente circoscritti e inscritti in coni o cilindri.

La determinazione del "pi greco" è uno dei grandi meriti di Archimede. Il fatto che egli affrontò un problema geometrico ricorrendo all'uso di numeri suscitò reazioni negative in vari rigoristi dell'inizio dell'epoca moderna. Frajese ricorda la sorprendente posizione assunta da Leonardo Pisano, detto Fibonacci. Questi, infatti, sostenne che, sì, la scoperta di Archimede è bella, ma che si riteneva in grado di fare meglio, ottenendo gli stessi risultati operando con numeri più piccoli di quelli da lui usati

\* \* \*

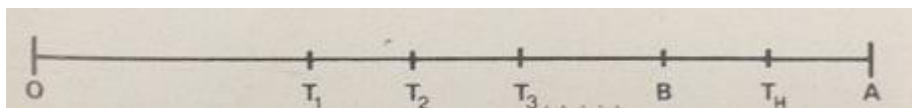
## IL METODO DI ESAUSTIONE

Nelle dimostrazioni dei teoremi che via via trovava Archimede si servì del metodo di esaustione. Esso consiste nel considerare una grandezza come il limite cui si avvicinano sempre più delle figure inscritte e circoscritte essa, moltiplicandone continuamente il numero dei lati  $n$  modo che la differenza si esaurisca, ossia diventi più piccola di una qualsiasi grandezza data. Tale metodo, secondo Simplicio, era già stato usato da Antifonte nel V secolo a.C. e anche da Eudosso per rendere più rigoroso l'uso del concetto di infinito. Il concetto di infinito non era più evitabile nel momento del passaggio dalla geometria di approssimazione alla geometria di precisione, cioè dopo la scoperta dell'incommensurabilità di certe linee: con la nascita della geometria astratta è necessario ammettere che una linea qualunque, per quanto piccola, contenga infiniti punti, o che il rapporto tra due grandezze incommensurabili sia determinato con un procedimento che non può avere fine.

Eudosso è stato il più grande dei matematici che hanno preceduto Euclide ed è ben degno di essere considerato precursore dello stesso Archimede. Ma vediamo la ricostruzione del metodo di esaustione che ne dà il Frajese:

<<Si debba dimostrare che due grandezze A, B sono uguali tra loro. Si procede col metodo di riduzione all'assurdo: se possibile sia A maggiore di B.>>

<<Si immagini una successione  $T_1, T_2, T_3, \dots$  di grandezze omogenee con A e con B, la quale soddisfa alle seguenti condizioni:



- 1) La successione possa essere sempre prolungabile, cioè non possenga un ultimo termine
- 2) Tutti i termini della successione siano, minori tanto di A quanto di B, ossia rappresentino valori approssimati per difetto dell'una quanto dell'altra grandezza.
- 3) I termini della successione siano tali da approssimare, nel loro succedersi, tanto bene quanto si voglia la grandezza supposta maggiore (A nel nostro caso)

Se si riesce a trovare una successione di grandezze  $T_1, T_2, T_3, \dots$ ; che soddisfi tali condizioni, viene senz'altro dimostrato che A non può essere maggiore di B. E se similmente si riesce a dimostrare che non può neppure essere A minore di B, risulterà dimostrato che  $A=B$ .

Infatti, comunque si fissi la differenza tra le due grandezze  $D = A - B$ , la terza condizione sopra esposta permette di trovare un elemento  $T_H$  della successione la quale differisce da A per meno di D: ciò significa che detto elemento  $T_H$  si infiltrerebbe tra A e B, cioè sarebbe maggiore di B, contro la condizione seconda (che tutti i termini della successione siano minori tanto di A quanto di B). Non è possibile dunque che tra A e B sussista una qualsiasi differenza D. Il metodo procede in modo analogo se le grandezze  $T_1, T_2, T_3, \dots$  della successione considerata costituiscono valori approssimati per eccesso, anziché per difetto, dei valori A e B. >>

Con ciò siamo alla soglia della moderna teoria dei limiti, anche se Archimede evita però questo passaggio *al limite* ed esclude ogni diretta considerazione infinitesimale. Come osserva Favaro è errato affermare che gli antichi considerassero le curve come poligoni infinitilaterali: perché questo principio non si riscontra mai nei loro scritti. Furono i moderni che introdussero questo concetto passando dal metodo di esaustione al metodo infinitesimale. Lo studio delle opere di Archimede diede impulso a Leibniz e a Newton per la scoperta del calcolo infinitesimale. L'idea che sta alla base del Metodo del Siracusano, cioè la concezione del continuo come soma di indivisibili è la stessa che ispira la Geometria degli indivisibili di Cavalieri, il grande discepolo di Galileo.

Come dice il Rufini, gli antichi affermavano che si può inscrivere nel cerchio un poligono la cui differenza dal cerchio stesso sia più piccola che qualunque altra grandezza assegnata. Da questo punto in poi il resto della dimostrazione diventa una riduzione all'assurdo della tesi contraria, riduzione che poteva essere evitata introducendo il *concetto di limite*; non ci si sentiva di introdurlo perché conteneva troppi equivoci per i matematici del tempo.

Afferma invece Guzzo che Archimede fa sempre ragionamenti equivalenti alle indagini infinitesimali moderne, ma vigilando fermamente per atteggiarle in tutt'altra maniera che non è l'infinitesimale: è una situazione ai confini del delirio, egli sa dove comincerebbe il delirio dell'infinito, indica quella frontiera, dice cosa c'è di là di essa, ma dettolo, fa costantemente un altro lavoro.