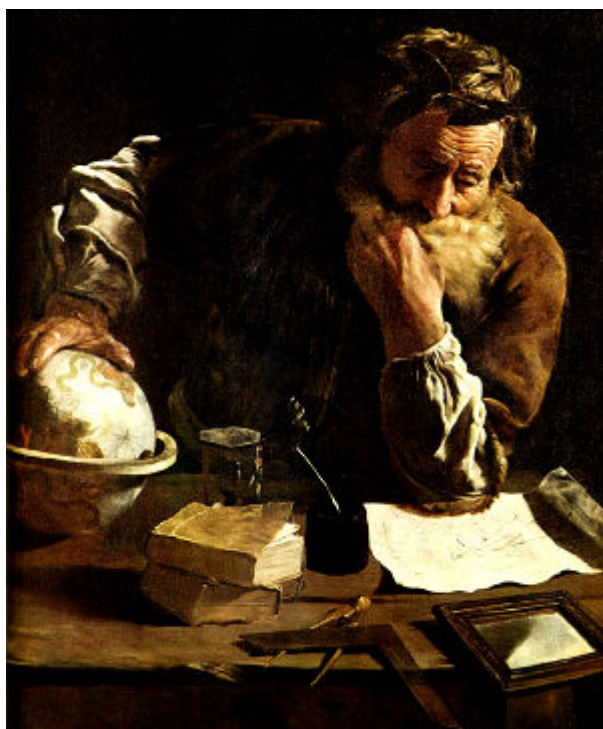


▼ Archimede nel dipinto di D. Fetti (1620); Dresda, Museo Artemeister.



Archimede di Siracusa (circa 287 - 212 a.C.) Una fonte che risale al filologo F. Blass, lo accredita figlio di Fidia, un astronomo, forse lo stesso di cui parla Archimede ne *l'Arenario* (*infra*), ed Eutocio nei suoi *Commentaria in Archimede* riferisce di una biografia scritta da un certo Heraclides di cui è menzione nel trattato *Sulla spirale* [1, II, pag. 2, 4], ma le notizie non sono altrimenti verificabili.

- *Biografia*
- *La figura di Archimede nell'ellenismo*
 - *La meccanica e la questione platonica*
- *Le opere*
 - *Opere pervenute, il «Metodo», la nuova edizione*
 - *Lavori perduti*
 - *L'«Arenario»*

■ *Biografia.* Si sa di un lungo soggiorno ad Alessandria dove strinse amicizia con —> Eratostene, cui dedicò l'opera *Sul metodo*, Aristarco, Conone, Zeusippo e Dositeo dedicataro anche questi di suoi lavori, ed in Egitto lasciò tracce a lungo ricordate come la costruzione di ponti ed argini, e l'introduzione della vite (*coclea* o spirale) per estrarre l'acqua.

Diodoro (I sec. a.C.) gli attribuisce anche un soggiorno in Spagna ove pure avrebbe diffuso l'invenzione della vite: [5][I, 34, 2; V, 37, 3 - 4]. L'affermazione sembra confortata da una citazione reperibile nei taccuini di Leonardo dove è traccia di questo soggiorno presso il re Eclideride [?!] che si sarebbe servito della sua opera in una guerra combattuta per mare contro gli inglesi [?!]. Leonardo purtroppo non cita la fonte, e nessun riferimento storico né al re né alla guerra è stato mai trovato. Nelle miniere del Rio Tinto, in Andalusia, fu usato comunque un sistema di drenaggio con almeno otto coppie di ruote idrauliche in epoca contemporanea a quella in discussione [14, pag. 305].

È dubbio se dopo il supposto viaggio in Spagna abbia fatto ritorno ad Alessandria, ma i rapporti con quel mondo culturale restarono vivi: una testimonianza ne costituisce il dono della

possente *Syracosia* a Tolomeo, una nave costruita da Archia di Corinto e Fileo di Taormina sotto la direzione di Archimede e donata al re d'Egitto dal tiranno di Siracusa, anche perché non si trovava un porto per accoglierla. Intorno al 240 Archimede fece definitivamente ritorno a Siracusa.

Qui passò il resto della vita sino alla morte avvenuta nel 212 ad opera di un soldato romano (punto su cui le fonti concordano) secondo modalità che anche se variano nei racconti nulla tolgono alla drammaticità dell'evento che vide la vita di uno dei più grandi scienziati di ogni epoca terminare, al di là del presunto ordine di M. C. Marcello di salvargli la vita, per l'illetteralità connessa a ogni guerra.

Durante l'assedio di Siracusa conclusosi con la capitolazione del 212, Archimede inventò numerose macchine riuscendo con successo nell'impresa, tanto che Marcello ebbe ragione della città solo con l'astuzia e dopo un lungo assedio. La partecipazione attiva di Archimede alla difesa di Siracusa è riportata da alcuni biografi della nostra epoca [8] con la semplice spiegazione che egli fu *a fervent patriot*, ma riesce difficile credere al patriottismo archimedeo. Egli fu molto più probabilmente, desideroso (da un lato) di sperimentare le sue invenzioni e (dall'altro) impossibilitato ad esimersi dal prestare l'opera del suo ingegno dato il forte rapporto che lo legava a Gelone. Quelle macchine poi non potevano essere costruite da un giorno all'altro e per di più sotto l'impulso di un assedio, ma costituivano piuttosto il lavoro di anni di studio in vari campi della fisica (statica, dinamica, forze vettoriali,...) il frutto di ipotesi progettuali che venivano da lontano.

Della produttività bellica di Archimede si rinvergono tracce nelle *Storie* di Polibio [12], [VIII, 5 - 9] e nella *Storia di Roma* di Tito Livio [9] [XXIV, 34]; ma la testimonianza più completa è senz'altro quella raccontata da Plutarco nella *Vita di Marcello* [11, 14 - 19], il quale, conformemente agli altri storici, narra, assieme ad alcuni aneddoti di cui la vita di Archimede è costellata, il terrore che le sue invenzioni gettavano fra l'esercito romano, descrivendone alcune abbastanza puntualmente, tanto che ne sono stati possibili disegni: [6, cap. IV, pag. 118]: la circostanza che le notizie su Archimede ci giungano da storici, le rende di per sé assai fragili, come se per descrivere l'importanza di un qualsiasi scienziato ci dovessimo affidare alla descrizione che di questi ne fa un suo conoscente del tutto digiuno in materia.

Archimede fu una mente scientificamente enciclopedica e s'occupò della scienza *a tutto campo*: dall'ottica, alla statica, all'idrodinamica,... (Tertulliano nel *De anima* [15][14] gli attribuisce anche l'invenzione dell'organo idraulico), ma restò sempre profondamente legato al mondo geometrico-matematico ed alle sue applicazioni, alla scuola che aveva trovato in —> Pitagora Euclide e Talete i massimi esponenti, operando la fusione e la sintesi fra cultura dorica e ionica, e fu a suggello della predilezione verso questi studi che volle raffigurata sulla tomba una sfera iscritta in un cilindro, a testimonianza di quanto stimasse i risultati cui era giunto. Il particolare consentì a Cicerone, al tempo in cui era questore in Sicilia, di ritrovare la tomba e restaurarla [4, 23].

■ *La figura di Archimede nell'ellenismo.* Per quanto nella cultura e nella formazione archimedeica si rinvergono indubbiamente gli insegnamenti di Aristotele, questi vengono meno quando si tratta di affrontare la realtà sperimentale, di verificare i fenomeni, trovarne la rispondenza alla realtà.

Dal punto di vista storico-scientifico il pensiero e le opere di Archimede segnano nell'ellenismo un passaggio rilevante: egli è il primo che persegua lo studio delle matematiche applicandosi a queste non come pratica filosofica, ma l'innovazione archimedeica consiste anche nel fatto che non solo è presente in lui l'astrazione teorica del problema geometrico e matemati-

Lecture: Sugli specchi ustori di Archimede

Sugli specchi ustori con cui Archimede avrebbe provocato danni alla flotta romana sono state ipotizzate ricostruzioni spesso inverosimili e sono sorte svariate teorie. Gli storici della scienza sottolineano, da una parte, che all'epoca non esisteva una tecnologia idonea per costruire superfici ottiche riflettenti di forma sferica di notevoli dimensioni, dall'altra che nessuno degli autori romani e greci che hanno scritto sulla II guerra punica (Polibio, Tito Livio e Plutarco) ne fa menzione.

Il problema va affrontato da due punti di vista: a) la storicità dell'evento, b) la rispondenza fisica del modello ipotizzato alla realtà, nelle condizioni di supposta distanza terra-mare in cui si sarebbe verificato. Cominciamo da quest'ultima considerazione.

- **Fattore mare.** Gli studiosi che hanno indagato il fenomeno (credendolo o negandolo) hanno quasi sempre trascurato nella loro indagine l'elemento mare. Una nave, per quanto il mare sia calmo, è in continuazione soggetta a rollio e beccheggio, anche se non in movimento o all'ancora, e centrare dalle mura di una città un bersaglio non completamente immobile non è semplice.

Per via di questi moti il presunto punto focale muta di continuo (quantomeno) di parecchie decine di centimetri, e l'eventuale fascio luminoso riflesso è inidoneo a provocare un riscaldamento costante e continuo tale da innescare il processo di combustione, ma solo un calore localizzato ed episodico.

In questo caso gli specchi avrebbero avuto possibilità di successo solo sulla famosa *sambuca* (due navi legate fra loro con una torre alta al centro) approntata da Marcello, abbastanza ferma e assai prossima alle mura dovendo favorire l'assalto alla città, e che più delle altre navi offriva una superficie facilmente incendiaria, e che si trovava a distanza inferiore a un tiro d'arco.

- **Fonti storiche.** Polibio, Livio e Plutarco (gli ultimi due non contemporanei agli eventi) non esprimono comunque le uniche testimonianze. Silio Italico (25 - 100) nell'opera perduta *Puniche* parlava di Archimede distruttore di navi con *dardi incendiari*; Valerio Massimo (I sec.) nei *Memorabilia* riporta la vicenda degli specchi ustori; Luciano (121 - 181) nell'*Hippias* riporta che Archimede ridusse in cenere le navi con la sua scienza; Apuleio (125 - 180) nel *De magia* parla di Archimede come studioso di catottrica; Galeno (129 - 200) nel *De temperamentis* parla di specchi ustori utilizzando il termine *πυρεῖς*, sembrando riferirsi a miscele incendiarie; Tolomeo sembra che parlasse di specchi ustori di Archimede in due opere perdute; Antemio nei *Paradossi meccanici* in un'opera giuntaci nella traduzione araba parla anch'egli di specchi ustori.

Ma la fonte più rilevante (per una tesi favorevole all'utilizzo di specchi ustori) è costituita da Dione Cassio (155 - 235) i cui passi riportati da G. Tzetzes (1110 - 1186) e da G. Zonaras (XII secolo), narrano:

indirizzando una sorta di specchio verso il Sole ne concentrò i raggi, e grazie allo spessore e alla levigatezza dello specchio, infuocò l'aria di fronte ad esso, sviluppando un grande incendio che diresse verso le navi

quando Marcello si trovò ad un tiro d'arco dalle mura, Archimede costruì una macchina solare specchiante di forma esagonale (hexagonum aliquod speculum fabricavit senex), munita di corde e cerniere in modo che il centro dello specchio si trovasse sempre rivolto ai raggi solari (... speculi parva talia specilla cum posuisset quadrupla angulis, quae movebantur laminis, quibusdam sculpturis, medium illud posuit radorum Solis).

- **Probabilità scientifica dell'evento.** Ammesso che specchi siano stati usati, il problema si riduce sostanzialmente a due ipotesi: specchi concavi o specchi piani, dando per scontato che si trattava di superfici riflettenti metalliche, al più, forse, stagnate, e quindi con una riflessività molto più scarsa di quella ottenuto da una superficie riflettente argentata, teoricamente possibile.

- **Specchi concavi.** Non poteva trattarsi di specchi concavi di notevoli dimensioni perché non esisteva tecnologia idonea per costruire superfici ottiche riflettenti sferiche di notevoli dimensioni e manovrarle con la necessaria e richiesta precisione, peso non indifferente a parte. Esse comunque sarebbero state inefficienti perché a focale fissa, e quindi, a parte (sempre) la difficoltà di centrare otticamente un bersaglio non immobile che si sembra sottovalutare, sarebbe bastato alla nave spostarsi di pochi metri, avanti o indietro, per sfuggire al raggio ottico. Un tale paraboloide avrebbe centrato il bersaglio, al massimo dell'efficienza della potenza termica, se... questo fosse stato alto sull'orizzonte. In caso contrario Archimede avrebbe dovuto far ricorso ad un paraboloide asimmetrico con maggiore esigenza di precisione. Il tutto possibilmente in prossimità del mezzogiorno (due ore prima e due ore dopo al massimo) e del solstizio d'estate. Studi in materia dimostrano la necessità di un paraboloide di almeno 4 m, con una freccia di 10 mm, lavorato con tolleranza < 0,25% per essere efficace a 100 m: il famoso tiro d'arco: [17]

Se invece Archimede avesse costruito parabolidi non a struttura monolitica, ma a geometria variabile, superfici riflettenti composite a spicchi incernierati al centro, che si aprissero e chiudessero a *petali*, in cui ogni petalo costituiva la porzione della sfera, un congegno del genere, difficoltà costruttiva a parte, essendo a focale variabile e potendo essere composto anche come figura di parabola asimmetrica, avrebbe avuto qualche possibilità di successo specie se indirizzato verso le vele, che presentano un valore di autoignizione inferiore al legno. Supponendo sempre una nave immobile disposta a farsi bruciare, e che gli addetti agli specchi fossero capaci di compiere i micrometrici continui spostamenti della superficie per regolare ed aggiustare di continuo la focale inseguendo la nave se questa avesse tentato di sottrarsi all'azione.

Si potrebbero forse interpretare così i passi di G. Tzetzes *hexagonum aliquod speculum fabricavit senex* e *speculi parva quae movebantur laminis*, che lasciano immaginare superfici risultanti dalla composizione di più esagoni: la forma esagonale sarebbe stata scelta perché la più idonea in una struttura multipla a costituire una superficie a geometria variabile.

Ma l'ipotesi è ardua, per nulla suffragata, e saremmo in presenza dello specchio a tasselli multipli: → G. Horn-d'Arturo.

- **Pluralità di specchi concavi.** È da escludersi che potesse provocarsi danno alle navi con una moltitudine di specchi concavi di piccole dimensioni: la focalizzazione in un sol punto di tutti gli specchi avrebbe richiesto una tecnologia di collimazione sincronizzata sofisticata, ed i sistemi non avrebbero procurato nel punto di concentrazione del fascio luminoso i 300 °C, appena sufficienti per innescare l'autoignizione.

- **Pluralità di specchi piani.** Gli specchi piani sembrano a prima vista di nessuna efficacia in quanto si tende a considerare l'equazione *radiazione riflessa = radiazione incidente*, senza alcuna amplificazione.

Può allora sorprendere che un esperimento condotto il 6 novembre 1973 (in data molto lontana dal solstizio) sull'isola di Salamina da I. Sakkas e E. Stamatis in collaborazione con la marina greca, abbia dimostrato come 50 specchi piani di 0,50 m × 2 m siano risultati idonei a bruciare un'imbarcazione a 50 m di distanza. Esperimenti simili sono stati condotti anche a Osnabruck (2002) in Germania, a ben diversa latitudine, con 500 piccoli specchi e bersaglio a 50 m, ed a Boston (2005) con 127 specchi e bersaglio a 30 m.

→ continua a pagina seguente

Lecture: Sugli specchi ustori di Archimede - II

Di fatto una serie di specchi piani può essere immaginata come una superficie spaziale che costituisce elementari piani tangenti ai punti di un ipotetico paraboloide, alle cui proprietà così si torna matematicamente facendo tendere a zero la superficie di ogni specchio [17, *ibidem*]. Uno specchio piano riflette un'immagine del Sole maggiore della superficie dello specchio stesso, e tanto maggiore è la distanza, tanta maggiore (in dimensione) è la macchia solare. Al crescere della distanza diminuisce naturalmente la potenza termica, dal momento che lo specchio funziona come un *diluitore di energia*, ma usandone un congruo numero si sopperisce alla diluizione.

In questo modo la serie di specchi piani mossi da altrettanti operatori non forma una superficie geometricamente predeterminata, ma gli specchi stessi costituiscono, ciascuno per la propria parte, una componente di un immaginario paraboloide.

Come si vede, la soluzione più agevolmente praticabile si rivela sempre anche la più efficace.

► **Conclusioni.** La possibilità bellica di specchi ustori era potenzialmente realizzabile, ma non idonea a generare grandi danni per via del numero degli operatori (e degli specchi) richiesti e del non breve tempo necessario (circa 1 minuto) a generare il fuoco dall'inizio della concentrazione del fascio luminoso: una nave non è mai completamente immobile, la superficie sottoposta a concentrazione di calore muta di continuo, ed occorre manovrare gli specchi non solo per tenere fisso il punto focale, ma anche per inseguire il Sole, in quanto il fascio luminoso concentrato per la riflettività degli specchi muta velocemente la propria posizione.

In caso poi gli specchi fossero stati davvero prossimi a provocare fenomeni incendiari sarebbe stato sufficiente alla nave allontanarsi di poco, oppure sarebbe stato sufficiente che i marinai avessero gettato un poco d'acqua sul punto focale per annullare sul nascere la minaccia.

Se effettivamente usati a scopo incendiario, avrebbero avuto qualche influenza solo sulla sambuca, perché, come si diceva, essa era quasi immobile, la sua torre d'assedio vicinissima alle mura, e questa era composta di materiale facilmente incendiabile. È assai probabile invece che specchi piani, anche di piccole dimensioni, siano stati usati per infastidire il nemico abbagliandolo, ostacolando la manovra delle navi che così più facilmente erano oggetto di bersaglio. In questo caso il disordine procurato a bordo sarebbe stato tutt'altro che trascurabile, riducendo notevolmente la potenzialità bellica delle navi, rendendola per qualche istante inoperante, mentre magari dardi infuocati venivano lanciati dalle mura della città.

Questo spiegherebbe la commistione fra ottica e meccanica rilevata nei racconti di molti autori.

co, ma geometria e matematica rappresentano strumenti per la verificabilità dell'idea, dell'intuizione se si vuole.

Nel libro *Sul metodo* dedicato ad Eratostene, dopo aver accennato succintamente ai teoremi che gli invidia, scrive:

... poiché ti riconosco, come pure ho già fatto [il riferimento è sconosciuto], studioso e maestro eccellente di filosofia, e so che sai apprezzare, quando è il caso, le ricerche matematiche, ho creduto bene esporti in questo lavoro le particolarità di un metodo mediante il quale ti sarà possibile acquisire una certa facilità di trattare cose matematiche per mezzo di considerazioni meccaniche... – omissis – ... infatti anche a me alcune cose si manifestarono prima per via meccanica poi le dimostrai geometricamente... [13].

La distinzione che pone fra sé ed Eratostene è dunque chiara: lui solo è un matematico, l'altro lo sa essere... se si applica; e stiamo parlando di Eratostene.

Qui non c'è l'ammirazione che traspare altrove per lo scomparso Conone [1, *Quadratura della parabola*, pag. 294], né l'ammirazione che prova per Dositeo dedicatorio di molti suoi lavori, egli considera Eratostene ancora un dilettante che si sta applicando e si augura che progredisca. Non c'è alcuna forma di disprezzo, solo una netta distinzione di ruoli e di metodi.

Certo non è dato conoscere se in Archimede la speculazione teorica preceda sempre la pratica, ma egli dovette essere costantemente un attento osservatore della realtà, perché solo osservandola e studiandola poté giungere alle invenzioni ed alle formulazioni dei principi per cui è ancora ricordato.

Per usare una frase divenuta comune quando si parla del Siracusano, Archimede non disdegnò di *sporcarsi le mani*, non trattò la manualità indegna di un aristocratico pensare, e seguì in scia quel filone dell'ellenismo, quella passione per le macchine che nel mondo greco veniva da lontano (*vedi* il passo di Aristotele *sub* Antikythera) e che anche attraverso lui giunse sino al compilatore Erone.

Fu tale manualità a consentirgli di divenire il *consulente scientifico* del tiranno di Siracusa, ed anche se non fu il primo scienziato ad offrire i servizi al potere, è l'unico a memoria che vi abbia contribuito, e da solo, in maniera così determinante.

► **La meccanica e la questione platonica.** La fama di Archimede è stata a lungo legata alle sue macchine ed alle sue invenzioni, e il *rumore* che attorno se n'è fatto ha messo in ombra gli assai più rilevanti contributi teorici.

Questa propensione verso le macchine ha spesso spiazzato i primi commentatori della sua opera, a cominciare da Plutarco, che se ritiene degne di considerazione le indagini sulla geometria, non trova altrettanto giustificato l'impegno profuso nelle costruzioni meccaniche, tanto che scrive [11, 14]:

... non che ad essi [ai meccanismi] si fosse dedicato come un lavoro degno di attenzione; in maggioranza erano divertimenti di geometria che aveva fatto a tempo perso. Il re Gerone per primo sollecitò e convinse Archimede a rivolgere la sua scienza dalle costruzioni teoretiche alle cose concrete, a mescolare la speculazione coi bisogni materiali, così da renderla più evidente ai profani, quando l'avesse resa sensibile.

Plutarco, che per un verso risulta ancora assorbito dal platonismo e per l'altro già romanizzato, rivela qui tutta la sua ambiguità. Plutarco sapeva che la fama di Archimede derivava proprio da quei meccanismi tanto disdegnati, ma questi, nella sua visione s'inquadrano come *πάρεργα*, opere accessorie, frutto secondario e ludico della geometria.

Quest'affermazione, più gratuita che apodittica, non è ancora sufficiente a Plutarco, ha bisogno di sorreggerla, e così fa notare che tant'è vero che si tratta di giochi *che non volle lasciare per iscritto nulla su quelle cose*: [11, 15].

In ultima analisi Plutarco relega l'attività meccanica-scientifica di Archimede nella *φιλοτιμία*, nel desiderio umano d'essere socialmente considerato, riducendola in sostanza a ben poca cosa, e in obbedienza a tale etica filosofica Archimede non avrebbe potuto scrivere di meccanica. Ma Plutarco è – soprattutto – uno storico, e quando parla di scienza si trova in evidente difficoltà, ed esprimere giudizi su concetti che non gli sono familiari gli costa l'irrazionalità delle proposizioni.

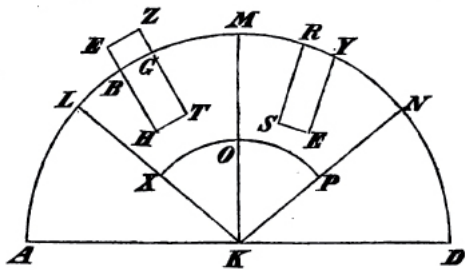
Lo scrittore greco dimentica infatti, o forse non conosce affatto, i testi sull'*Equilibrio dei piani* e *Sui galleggianti*, ignora che alla VI proposizione *Sulla quadratura della parabola* Archimede rinvia ad elementi di statica contenuti in uno scritto che purtroppo non ci è giunto, *La meccanica*, riportando: *δεδείχται*

DE IIS, QVAE IN HUMIDO UEHUNTUR. 367

Theorema V. Propositio V.

Solidarum magnitudinum quaecunque fuerit leuior, dimissa in humidum in tanto demergetur, ut tanta moles humidi, quanta est moles demersae, habeat aequalem grauitatem cum tota magnitudine. 5

disponantur autem eadem prioribus, et sit humidum non motum. sit autem magnitudo EZHT leuior humido. si igitur humidum est non motum, similiter



prementur partes ipsius ex aequo positae [hypoth. 1]. similiter ergo premetur humidum, quod sub superficibus, quae secundum periferias XO et PO. quare aequalis est grauitas, quae premitur. est autem et humidi grauitas, quod in prima pyramide, sine BHTG solido aequalis grauitati humidi, quod in altera pyramide, sine RSEY humido. palam igitur, quod grauitas magnitudinis EZHT est aequalis grauitati humidi RSEY. manifestum igitur, quod tanta moles humidi, quanta est demersa pars solidae magnitudinis, habet grauitatem aequalem toti magnitudini. 15

3. Scrib. demissa. 6. „eandem“ Tartalea. 12. quae premitur] „qua premitur“ Comm. 15. „rsey“ Tartalea, α lin. 17.

◀ Pagina del *De iis quae in humido uehuntur* (Sui galleggianti), libro I, da J. L. Heiberg.

La descrizione di Archimede richiede la lettura delle precedenti proposizioni, in specie la II e III dove parla della piramide. A questo si riferisce quando riporta *deponantur autem eadem prioribus*. È chiaro che si tratta di costruzioni immaginarie, puramente teoriche, per la cui comprensione è necessario isolare col pensiero da una parte i corpi, dall'altra il liquido.

Traduzione

Dati alcuni corpi, quello che è più leggero del liquido, lasciato in questo, lo si immerga in modo che un tale volume del liquido, qual è quello della parte immersa, abbia stesso peso [gravitatem] dell'intero corpo.

Si seguano le stesse costruzioni di prima, e sia il liquido stagnante. La grandezza EZHT sia più leggera del liquido. Se dunque il liquido è immobile, conseguentemente le sue parti saranno egualmente compresse ed egualmente disposte [ipotesi 1]. Similmente risulta compresso il liquido sulle superfici [relative] agli archi XO e PO. Quindi è uguale il peso da cui sono compresse. Si osserva ancora [est autem] che il peso del liquido contenuto nella prima piramide [di centro K, teorema III, proposizione III], eccetto il solido BHTG, è eguale al peso [del liquido contenuto] nella seconda piramide, eccetto il liquido [contenuto] in RSEY. È dunque chiaro che il peso della grandezza EZHT sarà eguale al peso del liquido [contenuto] in RSEY. Ed è allora manifesto che un tale volume del liquido quale è la parte immersa del corpo solido, ha peso eguale a quello dell'intero corpo solido.

γὰρ τοῦτο ἐν τοῖς μηχανικοῖς (e resi noto questo infatti nelle meccaniche) [I, Vol. II, pp.306 - 307], e che nella stessa opera [p. 294] riporta: *πρότερον μὲν διὰ μηχανικῶν εὐρεθέν, ἔπειτα δὲ καὶ διὰ τῶν γεωμετρικῶν ἐπιδειχθέν*,¹ proprio come scriveva ad Eratostene.

La posizione plutarchea deriva dall'incapacità di cogliere il rapporto (e vedere la reciproca funzionalità) fra ἐπιστήμη (scienza) e τέχνη (tecnica, ma anche arte), e τέχνη erano designate molte di quelle che noi chiamiamo scienze, ed infine ἡ μηχανικὴ τέχνη era chiamata l'arte di costruire le macchine, e questo non doveva sfuggire a lui, un greco.

Secoli più tardi ben diverso sarà l'atteggiamento di Pappo che nella *Collectio mathematica* riportando un'affermazione di Carpo di Antiochia, [VIII, Praef. 1-3, pp. 1022,3 - 1028, 3 Hultsch] farà giungere sino a noi la notizia che Archimede avrebbe scritto un solo libro (μηχανικόν: lo stesso?) relativo alla costruzione di un planetario: vedi ancora sub Antikythera.

Porre in evidenza la modernità scientifica del pensiero di Archimede sottraendolo al non ancora sopito platonismo² cui Plutarco vuole relegarlo, non si traduce in una grandezza maggiore o minore del pensiero scientifico di Archimede a seconda dell'in-

terferenza o dell'influenza di questo (come dell'aristotelismo) in lui: dei due Archimede ne condivide indubbiamente le radici, le origini sono quelle; c'è tuttavia il fatto che proprio nel superamento del platonismo è vinta la supposizione, uno dei dogmi di quella scuola, quello che si risolve nella necessità del σώζειν τὰ φαινόμενα, salvare i fenomeni. Quando estrae le radici per calcolare la forza da imprimere alla catapulta nel lancio dei proiettili (e di ciò Eratostene dovette tener conto nel → mesolabio), quando studia la leva e la distribuzione delle forze, Archimede non salva nulla: osserva i fenomeni, deduce, e poi con l'aiuto della geometria e della matematica ne offre la spiegazione.

È sin troppo ovvia infatti l'osservazione che prima i corpi sono osservati in equilibrio e poi vengono spiegate le condizioni d'equilibrio; che quando nel trattato *Sui galleggianti* (II libro) si occupa del comportamento di un paraboloide in un liquido, Archimede lo fa perché sta studiando la carena delle navi, cioè sta formulando quella teoria che oggi conosciamo come *teoria della biforcazione*, secondo la quale in presenza di un mutamento qualitativo o topologico dei punti d'equilibrio si può anche avere la catastrofe se l'equilibrio diventa critico. E la nave si capovolge.

Il trattato *Sul metodo* (infra) che Plutarco doveva almeno nel nome conoscere non segna il predominio della matematica speculativa sull'indagine meccanica, sull'osservazione e studio dei fenomeni, ma in quel lavoro sono le osservazioni meccaniche

1. [i teoremi geometrici] sono stati prima trovati attraverso la meccanica, quindi dimostrati con la geometria.

2. Solo una ventina d'anni fa Virieux-Raymond e Gardies pubblicavano sulla *Revue philosophique* [104, 1979] *Le platonisme d'Archimède*, e [105, 1980] *La méthode mécanique et le platonisme d'Archimède*.

ad essere spiegate con metodi geometrici.

L'approccio scientifico archimedeo è quello dello scoprire e del trovare. In un passo tratto dalle prime pagine de *Sulla sfera e sul cilindro*, Archimede riporta: ταῦτα δὲ τὰ συμπτώματα αὐτῇ τῇ φύσει προσηύχεν περὶ τὰ εἰρημένα σχήματα, ἡγενοῖτο δὲ ὑπὸ τῶν πρὸ ἡμῶν περὶ γεωμετρίας ἀνεστραμμένων,³ [1, I, *De Sphaera*, pp. 4, 5 - 8].

Qui c'è qualcosa di più che una vaga affermazione di platonismo o di aver trovato qualcosa che prima era sconosciuto, c'è la considerazione che secoli più tardi Michelangelo sintetizzò per la scultura nell'*arte del torre*, c'è la convinta filosofica (nel senso ampio del termine) supposizione che le proprietà appena scoperte fossero da sempre connaturate alla natura delle figure in questione, alla loro essenza, anche da un punto di vista immanentistico, connesse ad altre proprietà ancora da scoprire, e compito dello scienziato è dunque quello di estrarre queste proprietà, *tirarle fuori*, renderle note, parteciparle.

Anni luce separano questo modo di *fare scienza* da quello dei predecessori, e non solo i massimi filosofi, ma anche i massimi geometri sono sopravanzati. La sua geometria è al tempo stesso astratta (mentale) e concreta, perché all'eposizione dei postulati seguono le *certe esperienze e sensate dimostrazioni*; essa è prima immaginata (intuita?) e poi sperimentata, e il cercare in essa elementi di platonismo o aristotelismo si configura come una riduzione del suo pensiero, il volerlo comprendere in una categoria quando è invece proprio nel trascendere le categorie che Archimede mostra tutta la propria grandezza.

■ *Le opere*. Durante il periodo romano i lavori di Archimede non furono tenuti nella dovuta considerazione, sia per la loro intrinseca difficoltà sia per l'impostazione culturale del mondo romano: → romana astronomia; le posizioni appena viste di Plutarco, comuni nel mondo romano, condussero all'oblio molti lavori del pensiero greco.

Mancando la mentalità adatta, la comprensione di quei testi era molto difficile, e lo stesso Vitruvio quando prova a spiegare il metodo applicato da Archimede per scoprire se l'orafa avesse o meno derubato il re [16][IX, 9 - 12], balbetta, e fornisce una spiegazione quasi incomprensibile, mostrando che lui per primo non ha compreso né il metodo di conduzione dell'esperimento né il risultato ottenuto, e si trae dall'imbarazzo raccontando la storiella di Archimede che corre nudo per le strade. Secoli più tardi le medesime perplessità sull'interpretazione vitruviana esporrà Galilei in uno dei primi lavori *Discorso del signor Galileo Galilei intorno all'arteficio che usò Archimede nel scoprire il furto d'oro nella corona di Hierone* [7].

Analogamente scarsa considerazione vi fu nel successivo periodo di decadenza medioevale, quando le cognizioni matematiche e scientifiche s'erano ridotte a ben poca cosa. Vi fu, è vero, un tentativo di costituire un *corpus* archimedeo attorno al IX secolo ad opera di Leone di Tessalonica che compilò un manoscritto dei lavori di Archimede, ma la cosa finì lì.

Guglielmo di Mörbbecke (1215 - 1286 circa) aveva intanto tradotto parte del testo in latino e nel 1269 apparve così il primo *corpus* archimedeo. Secoli più tardi, il lavoro giunse nelle mani di Giorgio Valla (1430 - 1499) animato anche questi dallo spirito di tradurre quei lavori in latino, ma l'edizione non fu portata a termine e del manoscritto si persero le tracce.

La traduzione del Mörbbecke ebbe scarso successo sino alla prima metà del XV secolo [10, pag. 32], quando con la nascita delle prime grandi biblioteche umanistiche si cominciò a recuperare non solo Archimede, ma anche Apollonio e le sue

teorie sulle coniche senza le quali gran parte del *corpus* diventa incomprensibile.

Il lavoro di Mörbbecke è la confluenza di due codici noti come *codice A* e *codice B*, che confluirono nel *codice E* e nel *codice O*, redatti entrambi in latino. Il *codice O* (che approdò poi nel 1744 alla Biblioteca vaticana) generò nel 1508 il *codice M* stampato col titolo → Tetragonimus.

Il *codice A*, proveniente da una copia scomparsa già presente a Costantinopoli, ebbe una certa vita autonoma sfociando nell'*Editio princeps* di T. Geschauff stampata nel 1554 a Basilea. A queste copie attinsero Nicola V, il pontefice creatore della Biblioteca vaticana, che affidò a Iacobus Cremonensis (Jacopo da San Cassiano) l'incarico di tradurre Archimede, il cardinal G. Bessarione, il Regiomontano, P. della Francesca, Leonardo, Tartaglia, F. Maurolico, L. Gaurico, F. Commandino, e tanti altri meno illustri.

L'interesse del mondo scientifico per la fisica di Archimede esplode comunque nel XVII secolo, ma bisogna attendere ancora (1792) per veder edita postuma da parte di Giuseppe Torelli, a Oxford la prima *opera omnia*.

L'*editio princeps* giunse alla fine del XIX secolo con il lavoro del filologo danese J. L. Heiberg, che negli anni 1880 - 1881 pubblicò in tre volumi gli scritti allora conosciuti.

► *Opere pervenute, il «Metodo», la nuova edizione*. I lavori di Archimede, quasi tutti in forma epistolare, sono scritti in *dialeto* dorico, e ad eccezione forse dell'*Arenario* hanno sofferto tutti dell'opera degli interpolatori che ne hanno alterato le tracce linguistiche originali.

Il famoso *Problema dei buoi* (*infra*), ad esempio, riporta prima dei versi tre righe chiaramente attribuibili a compilatori successivi che hanno la necessità di spiegare succintamente la finalità di questo lavoro.

Le opere pervenute sono:

Sulla sfera e sul cilindro, un testo in due libri dedicato a Dositeo d'Alessandria, in cui si dimostrano proprietà della sfera in relazione al cilindro circoscritto;

Sulla misura del cerchio, un breve lavoro articolato in tre proposizioni;

Sui corpi conici e sferici, un testo dedicato a Dositeo in XXXII punti;

Sulle spirali, dedicato ancora a Dositeo dove riferisce della sua invenzione (la vite senza fine): in quest'opera, quarta riga, si parla di quell'Heraclides accreditato come autore di una biografia archimedeica;

Degli equilibri dei piani, in due libri, opera significativa per come viene dedotta la legge della leva e determinato il centro di gravità delle figure piane, nel secondo libro è individuato il centro di gravità del segmento di parabola, e il lavoro va pertanto posto in relazione col trattato sui galleggianti;

l'Arenario, infra;

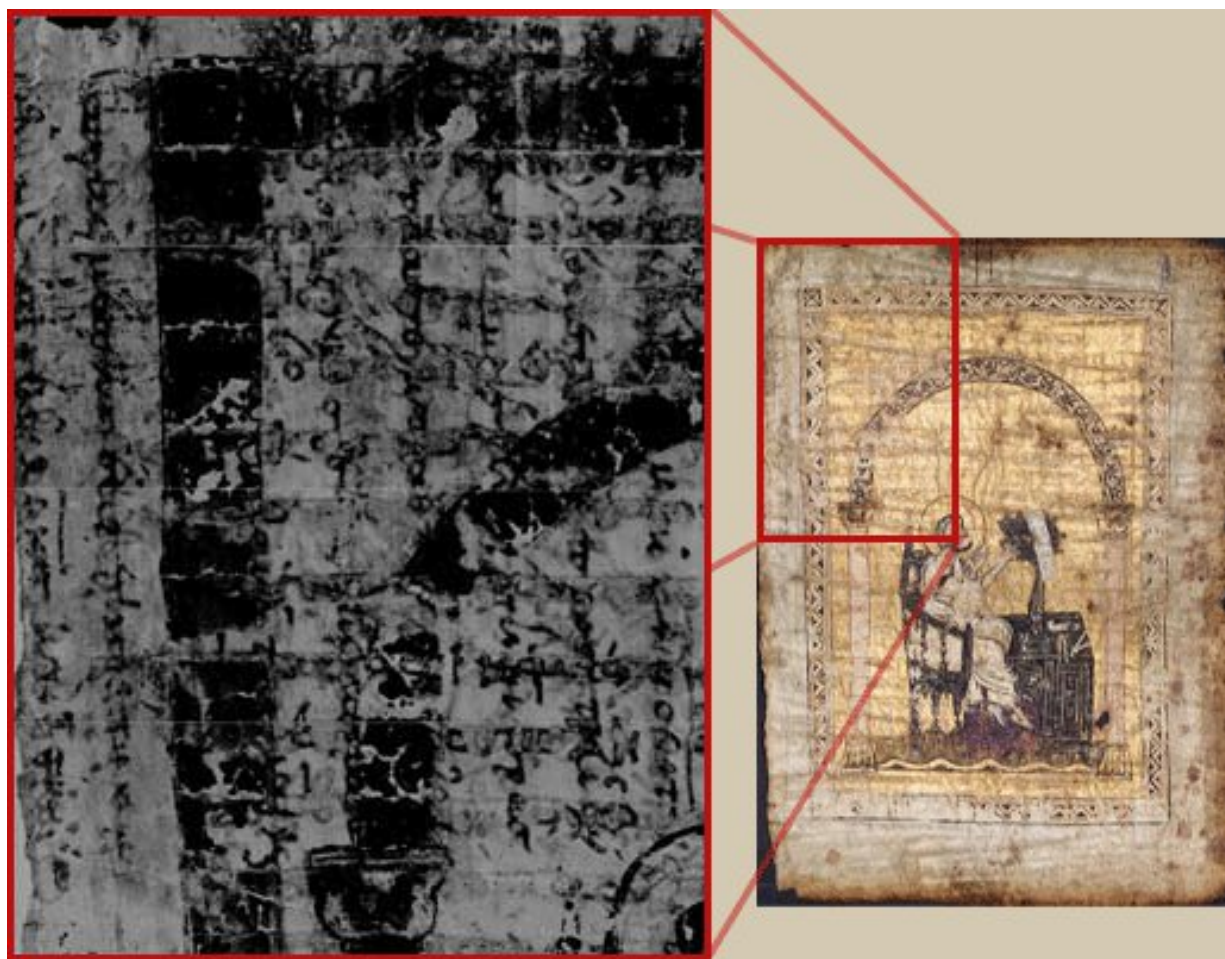
Sui galleggianti, in due libri: nel secondo è studiato il comportamento di un paraboloide;

Sulla quadratura della parabola, dedicato ancora a Dositeo. Quest'ultimo testo è rilevante dalla proposizione VI, perché fino ad allora Archimede aveva, come di consueto, trattato le figure in modo astratto, immaginandole in uno spazio teorico; ma i testi di meccanica citati nella dimostrazione lasciano supporre che ci si trovi dinanzi ad un testo di meccanica razionale. In questa e nelle seguenti proposizioni Archimede passa di continuo dalla teoria alla meccanica, a dimostrare che ha superato i limiti delle tradizionali concezioni.

Altri testi raccolti da Heiberg sotto la voce *Lemmata* sono:

3. Queste proprietà erano da sempre connaturate alla natura delle figure citate, ma ignorate da coloro che prima di noi s'occuparono di geometria.

- ▼ Palinsesto di Archimede: a destra il palinsesto, a sinistra la parte di testo evidenziata nel rettangolo rosso sovrascritta dalle preghiere; Walters Art Museum di Baltimora



il *Liber assumptorum*, una serie di proposizioni molto probabilmente non scritte nella forma in cui sono giunte, sembrando una serie di enunciati che originariamente dovevano far parte di altre opere;

il *Problema dei buoi* inviato ad Eratostene in forma di epigramma;

i *frammenti*, testi di autori vari che operano riferimento ad opere di Archimede;

il *Commentario di Eutocio*;

gli *Scolia* del codice fiorentino.

L'edizione dei lavori conobbe un momento significativo con il ritrovamento presso il Patriarcato di Costantinopoli ai primi del Novecento, sempre da parte di Heiberg, di un palinsesto in cui il testo originario era stato stato *lavato* per scrivervi alcune preghiere. Il documento si rivelò di straordinaria importanza anche se non tutte le pagine erano leggibili: delle 174 di cui si compone, nove fogli sono illeggibili e alcuni altri lasciano trasparire solo poche parole. Oltre ad opere conosciute, il palinsesto contiene il trattato *Sui galleggianti* in greco (fino ad allora noto solo in latino); lo *Stomachion*, un gioco, una sorta di puzzle evidentemente molto diffuso all'epoca, di cui era noto solo un frammento da un testo arabo; il *Metodo sui teoremi meccanici*. Questi due ritrovamenti evidenziano ancora l'interesse per la meccanica, e particolarmente il già menzionato testo *Sul metodo*, concepito sotto forma di lettera ad Eratostene. La scomparsa di questo testo ha ritardato di secoli lo sviluppo della matematica, perché l'analisi infinitesimale, lì contenuta in embrione verrà riscoperta solo nel XVI secolo [2]. Tre proposizioni del *Metodo*

(la I, la XII e la XIV) sono state ritrovate, ma successivamente, nella stessa biblioteca del Patriarcato in uno scritto di Erone che operava riferimenti proprio al testo archimedeo.

Nel *Metodo* si parla ancora di teoremi già scoperti ed esposti nel lavoro *Sui conoidi e sugli sferoidi*, e questo ha aiutato a ricostruire la cronologia delle opere del Siracusano, ma soprattutto c'è una trattazione abbastanza approfondita delle tecniche del metodo di esaustione: → Eudosso).

Questo metodo fu perfezionato da Archimede nell'opera *Sulla misura del cerchio* ove considerò l'area e la circonferenza del cerchio come limiti delle successioni di aree, rispettivamente dei perimetri, di poligoni inscritti e circoscritti al cerchio.

L'importanza della scoperta imponeva una revisione dell'edizione critica, ed Heiberg vi pose mano pubblicando, assieme a H. G. Zeuthen, la nuova edizione negli anni dal 1910 al 1915.

Per motivi sconosciuti il palinsesto scomparve, forse trafugato. Riapparso in Francia alla fine del secolo scorso, fu venduto all'asta approdando al *Walters Art Museum* di Baltimora. Qui con tecnologie avanzate si sta tentando di recuperare l'intero manoscritto che nei decenni in cui se ne erano perse le tracce si è ulteriormente deteriorato per via della cattiva conservazione. All'operazione è dedicato un sito [3], ove è presente il testo (che si può scaricare), e filmati relativi agli interventi condotti non sempre con metodologia ortodossa.

► *Lavori perduti*. Difficile un'elencazione completa delle opere andate smarrite. A parte il libro *Dei numeri* indirizzato a Zeusippo di cui alle prime righe dell'*Arenario*, la perdita più grave riguarda senz'altro la *Catottrica* di cui è un cenno in

Οἰόνται τινές, βασιλεῦ Γέλων, τοῦ ψάμμον τὸν ἀριθμὸν ἀπειρον εἶμεν τῷ πλήθει· λέγω δὲ οὐ μόνον τοῦ περὶ Συρακούσας τε καὶ τὰν ἄλλαν Σικελίαν ὑπάρχοντος, ἀλλὰ καὶ τοῦ κατὰ πᾶσαν χώραν τὰν τε οἰκημέναν καὶ τὰν ἀοικητον. ἐντὶ τινες δέ, οἱ αὐτὸν ἀπειρον μὲν εἶμεν οὐχ ὑπολαμβάνοντι, μηδὲνα μὲντοι ταλικοῦτον κατωνομασμένον ὑπάρχειν, ὅστις ὑπερβάλλει τὸ πλῆθος αὐτοῦ. οἱ δὲ οὕτως δοξαζόντες δῆλον ὥς εἰ νοήσαιεν ἐκ τοῦ ψάμμον ταλικοῦτον ὄγκον συγκείμενον τὰ μὲν ἄλλα, ἀλλίος ὁ τὰς γὰς ὄγκος, ἀναπεπληρωμένων δὲ ἐν αὐτῷ τῶν τε πελαγέων πάντων καὶ τῶν κοιλωμάτων τὰς γὰς εἰς ἴσον ὕψος τοῖς ὑψηλοτάτοις τῶν ὀρέων, πολλαπλασίως μὴ γνωσόνται μηδὲνα καὶ ῥηθήμεν ἀριθμὸν ὑπερβάλλοντα τὸ πλῆθος αὐτοῦ. ἐγὼ δὲ πειρασόμεμαι τοι δεικνύνειν δι' ἀποδείξιν γεωμετρικῶν, αἷς παρακολουθήσεις, ὅτι τῶν ὑπ' ἀμῶν κατωνομασμένων ἀριθμῶν καὶ ἐνδεδομένων ἐν τοῖς ποτὶ Ζεύξιππον γεγραμμένοις ὑπερβάλλοντι τινες οὐ μόνον τὸν ἀριθμὸν τοῦ ψάμμον τοῦ μέγεθος ἔχοντος ἴσον τῇ γὰ πεπληρωμένῃ, καθάπερ εἴπαμες, ἀλλὰ καὶ τὸν τοῦ μέγεθος ἴσον ἔχοντος τῷ κόσμῳ.

Vi sono alcuni, o re Gelone, che stimano il numero [dei granelli] d'arena una quantità infinita, e non mi riferisco soltanto a quelli [dei granelli d'arena] che stanno attorno a Siracusa o nel resto della Sicilia, ma anche a quelli [dei granelli d'arena] che stanno in qualsiasi altro posto del mondo abitato o disabitato. Altri ancora ritengono che pur non essendo tale numero infinito, non se ne possa comunque dare uno maggiore. Se quelli che così pensano immaginassero un globo d'arena eguale a quello della Terra, tale che anche le caverne e gli abissi del mare di questa ne fossero riempiti, e che si estendesse sino alle cime delle più alte montagne, ciò nonostante non si persuaderebbero ancora dell'esistenza di un numero che superasse la grandezza di questi [granelli d'arena]. Tuttavia, con dimostrazioni geometriche che potrai seguire col pensiero, intendo mostrarti che fra i numeri da noi denominati nel libro indirizzato a Zeusippo, ve ne sono alcuni che non solo eccedono il numero [dei granelli] d'arena di un volume eguale a quello della Terra quando questa ne fosse colma, ma anche quello [dei granelli d'arena] contenuti in un globo della stessa grandezza del cosmo.

ΨΑΜΜΙΤΗΣ (ARENARIUS), [I][II, pagg. 242 - 244, 1 - 4]

Teone, e gli scritti sugli specchi ustori che gli sono attribuiti da Olimpidoro ed Apuleio.

Oltre il già citato Pappo, anche Proclo accenna alla *Sphaeropea* un lavoro in cui Archimede avrebbe trattato della costruzione della sfera da un punto di vista meccanico.

La brevità della descrizione del II libro *Sulla sfera e sul cerchio* lascia supporre che quella parte doveva rappresentare la sintesi di un lavoro di più ampio respiro dal titolo (approssimato) *Sulla periferia del cerchio* di cui parla Pappo, che riferisce anche di un lavoro *Sui poliedri* e di un'opera *Sull'equilibrio dei corpi*. Simplicio in un commento al *De caelo* di Aristotele parla di un'opera sul *Centro di gravità* di cui più di un cenno sembra reperirsi nel lavoro *Sui galleggianti*, ed Ipparco infine gli attribuisce un *calendario*.

Fonti arabe accreditano inoltre ad Archimede lavori sui triangoli e le loro proprietà, sulle parallele, su varie figure geometriche e il loro rapporto con il cerchio, ed un non meglio precisato libro di dati. Le stesse fonti riferiscono che dopo il sacco di Siracusa ben quattordici casse di manoscritti di Archimede furono bruciate, evidentemente non solo suoi lavori, se si deve prestar fede alla versione, ma anche la sua biblioteca.

► *L'«Arenario»*. L'*Arenario*, letteralmente «Contatore di granelli», è indirizzato al re Gelone, ed oltre ad essere l'unico lavoro (fra quelli noti e dedicati) a non essere rivolto a un matematico almeno a quanto se ne sa (Gelone una certa competenza scientifica doveva comunque possederla visto il contenuto dell'opera), è anche l'unico in cui il discorso è introdotto da considerazioni quasi filosofiche, in un'eccellente prosa, presentando uno slancio enfatico circa la capacità della mente d'immaginarsi i grandi numeri. Nell'*Arenario* Archimede espone un metodo ideato per la misura del diametro apparente del Sole,⁴ e forse anche questa tecnica confluisce in un'opera. L'opera che nell'antichità dovette godere di notevole popolarità tanto che se ne ha un'eco in Catul-

lo ed Orazio (anche se quest'ultimo la accredita ad Archita), è l'unica d'Archimede che tratti questioni astronomiche.

Muovendo dalla concezione avanzata da Aristarco in cui questi, in un'opera andata perduta, presentava come *ipotesi* un modello eliocentrico, argomentando dalle teorie dell'astronomo di Samo, Archimede comprende come un simile modello comporti una ridefinizione della struttura e delle dimensioni dell'universo (la sfera) come era allora conosciuto, e per conseguenza la necessità di esprimersi in grandezze del tutto fuori dal comune.

L'astronomia è infatti solo uno spunto per svolgere il discorso sui grandi numeri. Sotto questo aspetto l'*Arenario* assomiglia un poco al *Problema dei buoi* che non ha affatto una finalità ludica, ma fondamentalmente matematica, trattandosi anche in questo caso di grandi numeri.

Archimede non contesta la validità o meno del modello di Aristarco, contesta che questi nella sua ipotesi consideri la Terra puntiforme (... il centro della sfera non ha alcuna dimensione e non è possibile ritenere che esso abbia alcun rapporto rispetto alla superficie della sfera), e il suo è più che altro un discorso di formalismo matematico.

L'esigenza è in via prioritaria quella di concepire ed esprimere grandi numeri utilizzando l'antico sistema di numerazione greca che scriveva i numeri con lettere e non conosceva lo 0, circostanza questa che rende la lettura delle opere di Archimede come di altri autori del periodo greco ed ellenistico particolarmente ardua, giacché non solo i numeri, ma anche le frazioni e le equazioni sono espresse in modo del tutto diverso da come siamo abituati oggi a scriverle ed usarle: → astronomia greca. La precisazione costituisce la chiave di volta di lettura dell'opera, perché ad ammettere la scrittura secondo il nostro sistema numerico-decimale, il problema perderebbe gran parte della sua rilevanza. Questa difficoltà si rinviene nelle prime righe dell'*Arenario* (vedi riquadro in questa pagina), ed il ricordato libro indirizzato a Zeusippo poteva anch'esso trattare forse anche dei calcoli oltre che dei grandi numeri.

Scopo di Archimede è rappresentare un numero che (per quanto grande) sia tuttavia nelle possibilità d'intelligenza della mente umana (con dimostrazioni geometriche che potrai seguire col pensiero), dominare il mondo fisico tramite la matematica, dimostrare che è possibile immaginare e scrivere un numero più grande del numero dei granelli d'arena che potrebbero essere contenuti nell'universo: Archimede non confuta né abbraccia le proposizioni di Aristarco, considera soltanto le dimensioni dell'universo adottando nuovi simboli per numeri più grandi.

4. Osservando l'astro al sorgere, Archimede pose su un'asta un cilindro che poteva scorrere lungo questa; il cilindro collocato fra l'occhio e il Sole (avvicinandolo e allontanandolo) permetteva di vedere o solo una debole luce ai lati del solido ovvero poteva nascondere completamente il Sole eclissandolo, proprio come avviene oggi con il coronografo. Misurati i due angoli sottesi dalle diverse posizioni del cilindro con vertice del triangolo sull'occhio, trovò una misura angolare compresa fra i corrispondenti 27' e 32' 56'', assai vicina all'attuale compresa fra i 31' e i 32'.

Nell'opera è anche riportata la misura del rapporto fra le dimensioni del Sole e della Luna: 30 volte quello del satellite; ed anche se la misura è errata, è tuttavia più vicina al vero di quella di Eudosso (9), di Fidia (12), di Aristarco (fra 18 e 20). A queste misure sono dedicate molte pagine dell'opera.

Dopo aver descritto il metodo di numerazione, Archimede dimostra un teorema sulle proporzioni (che grosso modo esprime la eguaglianza $10^n \times 10^m = 10^{n+m}$ che a molti ha fatto credere che fosse ad un passo dall'ideazione dei logaritmi), e passa quindi al problema dei granelli di sabbia vero e proprio.

Non riporto qui tutti i passaggi che svolge Archimede che richiederebbero una trattazione a parte, ricordo soltanto che la miriade di miriadi (10^8) è considerata l'unità del suo sistema di numerazione, e che chiama *numeri primi* (ma con significato diverso dal nostro) quelli che vanno da 1 a 10^8 , *numeri secondi* quelli che vanno da 10^8 a $10^8 \times 10^8$ (10^{16}), *numeri terzi* quelli che vanno da 10^{16} a $10^8 \times 10^8 \times 10^8$ (10^{24}), e prosegue così con numeri quarti, numeri quinti, ... fino a che l'ordine non diventa la miriade di miriadi.

Archimede poi costruisce una sfera immaginaria con il diametro uguale alla presunta distanza terra-Sole ed ipotizza una proporzione fra diametro-Terra/diametro-Sfera e diametro-Sfera/diametro-Universo (la sfera delle stelle fisse), calcolando il diametro dell'universo ed il volume, rispettivamente, in 10^{14} ed in 10^{42} ; per cui la quantità di granelli sarebbe $10^{42} \times 10^{21}$ e cioè 10^{63} . Archimede non si ferma qui. Costruisce numeri sempre più grandi che poi riduce ad unità di ordini superiori e poi gli ordini li riunisce in periodi sino a raggiungere alla miriade di miriadi di miriadi del miriadesimo ordine della miriade del miriadesimo periodo e cioè $10^{80.000.000.000.000.000}$ e cioè $100\,000\,000 \times 1$ seguito da 800 000 000 zeri.

Bibliografia

- [1] ARCHIMEDE DI SIRACUSA. *Opera omnia cum Commentariis Eutocii, Tre volumi*. Teubner, Lipsia, 1880 - 1881. Versione filologica, testo latino a fronte, e disegni a cura di Johan Ludwig Heiberg.
- [2] GIORGIO T. BAGNI. “Un’intuizione dell’infinitesimo attuale: *De nihilo geometrico* (1758) di Giuseppe Torelli”. www.syllogismos.it/history/Torelli.pdf, 1998.
- [3] WALTERS ART MUSEUM BALTIMORA. “Archimedes, The palimpsest project”. www.archimedespalimpsest.org.
- [4] MARCO TULLIO CICERONE. *Tuscolanae disputationes*. Université catholique, Louvain, 2006. <http://agoraclass.fltr.ucl.ac.be/concordances/intro.htm>.
- [5] DIODORO. *Biblioteca storica*. Université catholique, Louvain, 2006. pot-pourri.fltr.ucl.ac.be/itinera/archtextes/.
- [6] BENEDETTO FRAU. *Tecnologia Greca e Romana*. Gruppo Archeologico Romano, 1980. Capitolo 2.
- [7] GALILEO GALILEI. “La bilancetta”. <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/1b000355.pdf>.
- [8] MARY JAEGER. *Archimedes and the Roman Imagination*. University of Michigan Press, 2008.
- [9] TITO LIVIO. *Storia di Roma*. Mondadori, Milano, 2007. Traduzione di Guido e Carlo Vitali, introduzione di Fernando Solinas.
- [10] PIER DANIELE NAPOLITANI. “Nicchie per una nuova scienza. Scuole e corti nell’Italia del Rinascimento”. <http://arp.unipi.it/>, 2008.
- [11] PLUTARCO DI CHERONEA. *Vite parallele*. Université catholique, Louvain, 2006. pot-pourri.fltr.ucl.ac.be/itinera/archtextes/.
- [12] POLIBIO DI MEGALOPOLI. *Storie*. Université catholique, Louvain, 2006. pot-pourri.fltr.ucl.ac.be/itinera/archtextes/.
- [13] ENRICO RUFINI. *Il «Metodo» di Archimede e le origini del calcolo infinitesimale nell’antichità*. Biblioteca Scientifica Feltrinelli, Milano, 1961.
- [14] LUCIO RUSSO. *La rivoluzione dimenticata: il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Feltrinelli, Milano, 2003.
- [15] QUINTO SETTIMIO FIORENTE TERTULLIANO. *De anima*. The Tertullian project, 2005. http://www.tertullian.org/works/de_anima.htm.
- [16] MARCO POLLIONE VITRUVIO. *De architectura*. Einaudi, a cura di Pierre Gross, traduzione e commento di Antonio Corso ed Elisa Romano, 1997.
- [17] CARLO ZAMPARELLI. “Storia scienza e leggenda degli specchi ustori di Archimede”. <http://www.webalice.it/c.zamparelli>, 2005. *Didattica delle scienze, XXIII*, 193, pagg. 52–56.

