

DEMOCRITO, L'ATOMO E LA DEFINIZIONE DELL'ARCO

GIORGIO ORTOLANI

Il concetto di atomo – particella indivisibile a fondamento del mondo naturale – risale al filosofo e scienziato Democrito di Abdera (460 – 370 a.C. ca), che avrebbe ripreso le riflessioni del suo maestro Leucippo. Abdera, città costiera della Tracia, aveva dato i natali anche al sofista Protagora (490-415 a.C. ca), celebre soprattutto per la citazione di Platone (*Teeteto*, 152a) che ne sintetizza il pensiero: “L’uomo è misura (*mètron*) di tutte le cose, di quelle che sono per ciò che sono, e di quelle che non sono per ciò che non sono”.

Per il suo materialismo ateo, il pensiero di Democrito fu ridimensionato a cominciare dalla scuola platonica, ma sarà alla base della tradizione scientifica epicurea che, dal punto di vista letterario, fu magnificamente espressa nel *De Rerum natura* di Lucrezio. La tradizione teologica cristiana avrebbe poi considerato Democrito ed Epicuro come negatori della creazione e dell’immortalità dell’anima¹ e lo stesso Dante (*Inferno*, IV, 136) lo ricorda come colui “che ‘l mondo a caso pone”², collocandolo nel Limbo accanto ai grandi

1 Tra i testi patristici possiamo ricordare Lattanzio, *Div. inst.*, I, II, 2: “principium sumere, quae videtur prima esse natura: sine providentia, quae rebus omnibus consulat an fortuito vel facta sint omnia vel regantur: cuius sententiae auctor est Democritus, confirmator Epicurus”.

2 L’espressione non indicherebbe “il mondo alla rinfusa”, ma “il mondo derivato dal caso”, come già era stato definito da Lattanzio, *Div. inst.*, VII, III, 23: “mundum Epicurus, sive Democritus, sua sponte natum esse dixit”. Già Marziano Capella (*De nuptiis Philologiae et Mercurii*, II, 213), aveva rappresentato Democrito “circunfusus atomis”, accanto alle “animae... beatorum veterum, quae iam caeli tempia meruerant”. G. Stabile, *Democrito*, in *Enciclopedia Dantesca*, 1970: https://www.treccani.it/enciclopedia/democrito_%28Enciclopedia-Dantesca%29/

filosofi, come Socrate, Platone e Aristotele, diversamente da Epicuro posto nel girone degli eretici. Con l'Umanesimo, la figura dello scienziato suscitò una rinnovata ammirazione, come maestro di vita e di pensiero, anche per la coerenza del suo comportamento tramandata dalle fonti, da Diogene Laerzio, a Cicerone o a Seneca³.

Il concetto di atomo – negazione di *tèmnō* (taglio, divido), ovvero indivisibile – era legato alla contrapposizione nel mondo fisico tra il vuoto (*kénon*) e il pieno che doveva concettualmente avere una unità minima indivisibile, invisibile ai sensi ma concepita dall'intelletto razionale⁴; mentre la razionalità del pensiero greco, recepito dai romani, concepiva il tempo e lo spazio proprio nella loro suddivisione misurata⁵. Lo spazio sacro del *templum* tracciato dall'augure comprendeva una porzione della volta celeste e la sua proiezione sulla superficie terrestre, rigorosamente orientata sui punti cardinali e separato dal mondo esterno. L'idea di distacco era data dalla stessa etimologia di tempio dal greco *tèmnō* e da *tèmenos*, l'area del santuario consacrata a una divinità. Il concetto di *templum* era quindi ben distinto da quello di *aedes*, l'edificio che ospitava le statue di culto ma non i sacrifici, che avvenivano all'aperto⁶. Dalla stessa radice linguistica di *templum* derivava la parola *tempus*, che distingueva il tempo misurabile legato alla vita umana da quello infinito e continuo,

3 *Vitae philosophorum*, IX, 7, 34-49; P. Schiavo, *Immagini di Democrito nelle edizioni delle Vite di Diogene Laerzio dal XV al XVIII secolo*, in *Bruniana e campanelliana: ricerche filosofiche e materiali storico-testuali*, XXIV, 2, 2018, pp. 565-579. Cicerone (*Nat. deor.*, I, XLIII, 120; *De Fin.*, I, XVI, 17; V, XIX, 50; XXIX, 87; *Tuscul.*, V, XXXIX, 114) aveva tramandato la figura di un uomo estraneo alla *voluptas* epicurea, di grande ingegno, famoso e verecondo, che aveva abbandonato i campi e disprezzato le ricchezze ereditate, per darsi tutto agli studi e alla conquista della vita beata.

4 Plutarco, *Adversus Colotem*, 8,1110 F: "Gli atomi sono infiniti, ma ognuno di essi, proprio perché per sua natura indivisibile, è un'unità. Gli atomi, inoltre, sono distinti l'uno dall'altro e si muovono in uno spazio – il vuoto – che ne rappresenta una sorta di 'contenitore'. Essi sono privi di parti, ma aggregandosi e disgregandosi determinano la nascita e la morte delle cose, e con i loro rapporti di ordine e posizione ne determinano la diversità e il mutamento. Sono paragonabili alle lettere dell'alfabeto, che differiscono tra loro per la forma e danno luogo a parole e a discorsi diversi a seconda di come si dispongono e si combinano".

5 G. Ortolani, *L'immagine del tempo e dello spazio nella Roma di Augusto*, in *Via del Corso: Una strada lunga 2000 anni*, catalogo della mostra a cura di C. D'Onofrio e C. Strinati, Roma, De Luca, 1999, pp. 165-171.

6 F. Castagnoli, *Il Tempio Romano: Questioni di Terminologia e di Tipologia*, in *Papers of the British School at Rome*, LII, 1984, pp. 3-20.

Aion o l'eternità.

Il concetto di atomo si pone quindi come elemento fondamentale del cosmo e della sua cognizione razionale da parte dell'uomo, ponendo un limite alla divisibilità dello spazio, trovando nell'atomo un limite ben definito. In questa visione materialista, Democrito delineava lucidamente l'infinità dell'universo e la pluralità di più mondi. Pur se ovviamente ben distante dalla fisica atomica contemporanea, l'impostazione di Democrito appare ancora attuale e – verosimilmente – dovrebbe aver contribuito concretamente ai successivi sviluppi della scienza greca, soprattutto ad Alessandria d'Egitto, dove si innestò fruttuosamente sulla plurimillennaria tradizione egizia. I contatti con la civiltà dell'Egitto⁷, furono senz'altro determinanti nello sviluppo del mondo greco, già nel II millennio a.C. e al momento della sua rinascita dal VII sec. a.C., in particolare durante il regno di Psamtek I (664-610 a.C.) con la fondazione della città-emporio di Naukratis. Come già Talete, Pitagora o Platone, anche Democrito si era recato in Egitto per approfondire la sua formazione, nella terra dove dalla metà del III millennio si era sviluppata una straordinaria tradizione ingegneristica in conci lapidei e dove, per ridefinire i confini della terra dopo le inondazioni del Nilo, sarebbe nata la geometria (Erodoto, II, 109).

Dei testi di Democrito su matematica e geometria si conoscono alcuni temi: i numeri, la geometria, le tangenti, la mappatura e i numeri irrazionali. Democrito riconobbe i problemi della infinita divisibilità: da un punto di vista matematico astratto ogni ente è infinitamente divisibile in parti; mentre da un punto di vista fisico c'è un limite materiale alla divisibilità e tale limite è detto appunto atomo⁸. L'argomento viene risolto sulla base di considerazioni di infinitesimi, e pertanto, è stato ipotizzato che Democrito fosse un precursore del concetto di infinitesimo e del calcolo integrale⁹.

7 L'Egitto è giustamente ancora chiamato orgogliosamente dai suoi cittadini "Umm el Dounia" (Madre del Mondo).

8 Archimede ricorda Democrito per le considerazioni sul rapporto di $1/3$ tra il volume di un cono e un cilindro dello stesso diametro di base e altezza, e secondo Plutarco (*De Comm.*, 39) Democrito si sarebbe posto la seguente questione: la superficie data dall'intersezione di un cono con un piano parallelo alla sua base può essere uguale oppure diversa dalla superficie della base del cono.

9 E. Dallagiacoma, *Un'analisi del concetto di limite tra epistemologia e didattica*, tesi di Laurea Magistrale in Matematica, relat. P. Negrini, Bologna, Alma Mater Studiorum, aa. 2012-2013, pp. 15-16. Nella prei-

Secondo alcune interpretazioni recenti¹⁰, Archimede avrebbe potuto concepire il calcolo del volume della sfera osservando la modalità di costruzione di cupole con una serie di archi tubolari affiancati, come quelli ritrovati nel complesso termale scavato a Morgantina dove, a parte la sala circolare coperta a cupola, troviamo degli ambienti longitudinali con volte a botte su pianta trapezoidale, quindi con profilo troncoconico. Archimede poteva quindi avere presente delle volte a botte e cupole in muratura per ragionare sulla geometria dei volumi e darne una definizione scientifica. Questo approccio concreto del grande scienziato, nella relazione tra concetti astratti, matematica e oggetti “reali”, ci fa vedere in una luce più chiara una celebre citazione di Seneca (*Epist. Mor. ad Lucilium*, XIV, 90, 32-33)¹¹: “Affermano che Democrito inventò l’arco, dice Posidonio, in cui la pietra centrale tiene ferme le altre che gradualmente si inclinano. Ma è falso! Già prima di Democrito c’erano necessariamente ponti e porte che sono in genere curvi alla sommità. [...] Saranno pure scoperte di un saggio, ma non in quanto tale: egli, difatti, fa molte cose che vediamo fare o nello stesso modo o con più abilità e più pratica da gente del tutto ignorante”. A parte dare il giusto calibro alle osservazioni di Seneca, che spesso ironizzava sulla scienza, la tecnologia e gli architetti (“mihi crede, felix illud saeculum ante architectos fuit”), per evocare la superiorità della filosofia e della pura speculazione spirituale¹², dobbiamo ovviamente accettare la

storia del calcolo infinitesimale il ruolo di Democrito è basato su alcune autorevoli testimonianze (tra le quali quella di Archimede) e sul frammento: “Due sezioni, eseguite in un cono mediante due piani paralleli fra loro vicinissimi, non possono risultare fra loro uguali, senza che il cono si muti in un cilindro, né possono risultare disuguali, altrimenti il cono presenterebbe rugosità e discontinuità”.

10 S. K. Lucore, *Archimedes, The North Baths at Morgantina, and Early Developments in Vaulted Construction*, in *The Nature and Function of Water, Baths, Bathing and Hygiene from Antiquity through the Renaissance*, a cura di C. Kosso e A. Scott Leiden, Brill, 2009, pp. 43–59.

11 “Democritus, inquit [Posidonius], invenisse dicitur fornitem, ut lapidum curvatura paulatim inclinorum medio saxo alligaretur. Hoc dicam falsum esse; necesse est enim ante Democritum et pontes et portas fuisse, quarum fere summa curvantur” [...] “Ista sapiens licet invenerit, non qua sapiens erat, invenit; multa enim facit, quae ab imprudentissimis aut aequae fieri videmus² aut peritius atque exercitatus”.

12 Seneca (*ad Lucilium*, XI, XC, 9 e 25-26) sembra superare se stesso quando – nell’esaltazione della filosofia pura in nome del mito “ambientalista” di una presunta felicità primigenia e contro lo sviluppo della tecnologia, “non desiderabis artifices: sequere naturam” e, addirittura, contro gli inventori di comodità quali i vetri alle fine-

sua considerazione, constatando la realizzazione di archi e volte nelle costruzioni in Oriente almeno dal II millennio a.C. La tradizione della copertura a volta, data la rarità del legname necessario alle coperture piane, è attestata in Egitto nelle murature in mattoni crudi almeno fin dalla XIX dinastia (ad esempio nei magazzini del *Ramesseum* presso Tebe). La sua diffusione in età ellenistica è confermata dal *De bello alexandrino* (I,1), attribuito a Cesare che, informandoci del fatto che non si sviluppassero incendi nella città assediata, spiega come la maggior parte delle costruzioni di Alessandria fossero coperte a volta: “Nam incendio fere tuta est Alexandria, quod sine contignatione ac materia sunt aedificia et structuris ac fornicibus continentur tectaque sunt rudere aut pauimentis”. Dalla tradizione scientifica di Alessandria si svilupparono gli studi del matematico Erone, autore nel I secolo d.C. di un perduto trattato sulle volte (*Kamarikà*); mentre per valutare lo sviluppo dell’arco nel mondo greco la scoperta di tombe macedoni del IV sec. a.C. coperte a volta ha aggiunto casi significativi per la storia dell’architettura¹³.

Considerando la possibile ispirazione dei ragionamenti di Archimede sui solidi geometrici dall’osservazione dei volumi costruiti, non è priva di fondamento l’attribuzione a Democrito dell’invenzione dell’arco, considerato ovviamente nella sua definizione geometrica e strutturale. La

stre o il riscaldamento dei bagni, “ut speculariorum usum perlucens testa clarum transmittentium lumen, ut suspensuras balnearum et inpressos parietibus tubos per quos circumfunderetur calor qui ima simul ac summa foveret aequaliter”, affermando che queste erano cose da umili schiavi e che la sapienza sta più in alto, insegnando all’animo e non alla mano, “Vilissimorum mancipiorum ista commenta sunt: sapientia altius sedet nec manus edocet: animorum magistra est”.

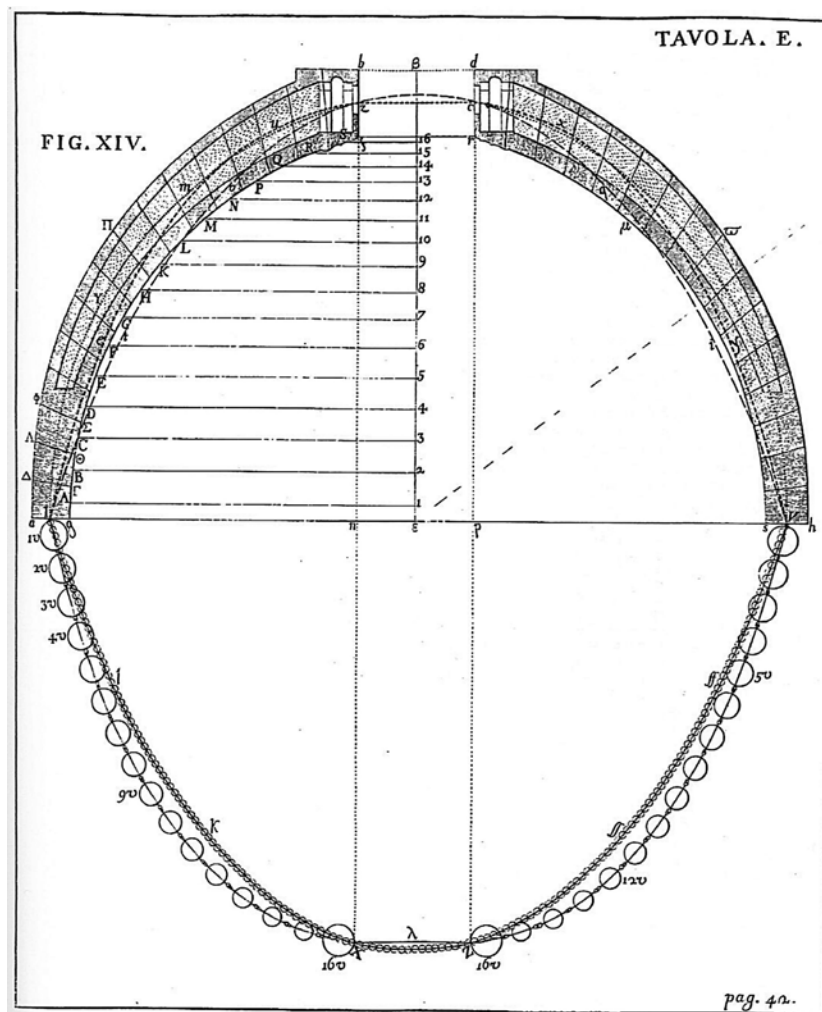
13 Il problema delle origini egizie o mesopotamiche è tuttora aperto, dato che spesso si tende a sopravvalutare l’indubbio apporto della scienza orientale: M. Andronikos, *Some Reflections on the Macedonian Tombs*, in *Annual of the British School at Athens*, LXXXII, 1987, pp. 1-16; R. Tomlinson, *The Architectural Context of the Macedonian Vaulted Tombs*, *ibidem*, pp. 305-312. La stessa mancanza di una terminologia univoca nella lingua greca è significativa: era usato infatti sia il termine *kamàra*, in origine la copertura curva di un carro (Erodoto, I, 199; Diodoro, XVIII, 26), che quello di *psalìs* (Platone, *De legibus*, 947d) che indicherebbe le forbici, facendo pensare piuttosto a una copertura a blocchi inclinati l’uno contro l’altro o aggettanti. Per quanto riguarda Roma, la realizzazione della *Cloaca Maxima* alla fine del VI sec. a.C. da parte del re Tarquinio, è stata considerata come sicura attestazione dell’uso della volta a conci radiali ma, verosimilmente, nella fase originaria doveva trattarsi di un canale aperto, poi coperto da grandi lastre orizzontali.

struttura dell'arco, infatti, si basa sul contrasto di elementi rigidi indivisibili – i conci radiali – che agiscono come all'inverso di una catena ad anelli che, invece di lavorare a trazione, sono soggetti a compressione, offrendo quindi la possibilità di aperture molto maggiori rispetto alle coperture orizzontali, soggette a flessione. Il funzionamento statico dell'arco fu definito con straordinaria efficacia da Robert Hooke nel 1679: "Ut pendet continuum flexile, sic stabit contiguum inversum rigidum"¹⁴. Christiaan Huygens, correggendo le osservazioni di Galileo, insieme a Gottfried Wilhelm von Leibniz e i fratelli Johann e Jakob Bernoulli, dimostrò nel 1690-91 che la curva con profilo rialzato, battezzata da catenaria, era una curva non algebrica e farà capire nella teoria la maggiore resistenza del sesto acuto rispetto al semicerchio, come nella pratica era stato riconosciuto da Filippo Brunelleschi, Michelangelo e dagli architetti gotici¹⁵.

Possiamo quindi immaginare che proprio la visione del mondo fisico in elementi indivisibili, definiti dall'atomo, abbia potuto portare alla crescente comprensione teorica e pratica dell'arco e del suo sviluppo nelle volte e cupole, elementi fondamentali nello sviluppo dell'architettura antica e moderna.

14 Ph. Block, M. DeJong, J. Ochsendorf, *As Hangs the Flexible Line: Equilibrium of Masonry Arches*, in *Nexus Network Journal*, 8, 2006, pp. 13-24.

15 Questo contraddiceva la visione idealistica rinascimentale, come espressa da Raffaello nella celebre lettera a Leone X: "Et però molto più anchor sostiene, secundo la ragione mathematica, un mezo tondo il quale ogni sua linea tira ad un centro solo, perché, oltre la debolezza, un terzo acuto non ha quella gratia all'occhio n(ost)ro al quale piace la perfettione d(e)l circolo: onde vedesi che la natura no(n) cerca quasi altra forma".



Giovanni Poleni, Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano, e de' danni di essa, e de' ristoramenti loro, divise in libri cinque, Padova, Stamperia del Seminario, 1748, tav. E. Funicolare dei carichi costruita dal Poleni con riferimento al progetto di Giacomo della Porta.

GIORGIO ORTOLANI
 Università degli Studi di Roma Tre
 (giorgio.ortolani@uniroma3.it)