

# Archimede e la nascita del concetto di macchina

## Da una matematica e filosofia delle forme sostanziali ad una matematica e filosofia degli elementi

Giuseppe Boscarino

*gpp.bos@libero.it*

Per Newton la scienza moderna comincia il suo cammino nel momento in cui si collega ad una tradizione di pensiero del mondo greco, che aveva avuto il suo fulcro nell'intimo rapporto di **meccanica, matematica e filosofia**, abbandonando quell'altra tradizione di pensiero del mondo greco, che aveva avuto invece il suo fulcro filosofico-epistemologico nei concetti di **forma sostanziale e di qualità occulta**. Per cui può scrivere all'inizio della sua prima prefazione del 1686 al suo capolavoro *Philosophiae naturalis Principia mathematica*: “Poiché gli antichi (come viene detto da Pappo) ebbero nella massima considerazione la **meccanica** nella investigazione delle cose naturali, e i moderni, abbandonate le **forme sostanziali** e le **qualità occulte**, hanno cercato di assoggettare i fenomeni della natura a leggi matematiche, ho ritenuto opportuno in questo trattato di coltivare la **matematica** per quanto riguarda la **filosofia**”.

Nella storiografia matematica del Novecento poi ha dominato, a mio modesto parere, un **pregiudizio**. Si è scritto che il **calcolo** non ha potuto svilupparsi agli esordi del mondo greco, per un **blocco epistemologico**, poiché dominato dal concetto di **forma**, venendo trascurati *i concetti di variazione, di numero reale, di limite di una serie infinita, di infinito*. (Boyer,1939).

Sicuramente **cause esterne**, quali l'esistenza di un lavoro servile abbondante e a basso costo, la mancanza di una economia mercantile e di valore di scambio, la esaltazione di valori della contemplazione, della vita liberale ed oziosa, il disprezzo del lavoro manuale, ecc. hanno contribuito al cosiddetto ristagno di una possibile evoluzione dalla **tekne alla tecnologia nel mondo greco-antico**, ovvero di un uso sistematico della scienza applicata, ma non meno determinanti, a mio parere, sono stati le **cause interne**, che chiamo **onto-epistemologici, poco indagati dalla storiografia tradizionale**.

Ora secondo me è vero pertanto che sia la cosa matematica, **il máthema**, sia il suo esemplare, **la mekhanè**, sono stati bloccati dall'uso epistemologico del concetto di **forma sostanziale e qualità occulta di tradizione platonico-aristotelico**, come denunciato da Newton citato, e da Bacone agli albori della nascita della scienza moderna o forse meglio della rinascita della scienza antica e del suo massimo rappresentante, Archimede.

Bacone scriveva infatti che *Platone ed Aristotele hanno prodotto un gran danno nel campo della filosofia naturale con la loro ricerca di forme astratte e delle cause finali, di natura metafisica e teologica, non capendo che la causa efficiente è soltanto il veicolo della forma*. E in contrapposizione ancora a questa tradizione di pensiero delle forme astratte e delle cause finali auspicava che alla filosofia naturale di *Pitagora, Filolao, Parmenide e Democrito andasse prestata una maggior attenzione*.

Ma anche l'illustre storico della civiltà greca Vernant ha messo in evidenza il ruolo negativo svolto dal concetto di **eidòs**, o forma, di Platone e di Aristotele, nel bloccare l'evoluzione dalla tekne alla tecnologia nel mondo antico, del quale ci piace riportare un ampio ed interessante brano di un suo saggio.

*“C'est un **eidòs**, une **forme**, donnée d'avance à la façon d'une réalité naturelle. L'artisan ne l'a pas inventée; il ne peut pas la modifier. ...*

*Supérieure à l'ouvrier et à sa technè, la Forme oriente et dirige le travail qui la réalise; elle lui assigne son terme, fixe ses limites, définit son cadre et ses moyens. Dans l'ouvrage de l'art, tout comme dans la production naturelle, c'est la cause finale qui détermine et qui commande l'ensemble du processus producteur.*

*La cause efficace – l'artisan, ses outils, sa technè – n'est que l'instrument.*

*L'artisan est, pour les Anciens, un homme qui ordonne une matière, opaque à l'esprit, en incarnant une Forme supérieure à son esprit. L'ouvrage possède plus de perfection que l'ouvrier...*

*Il ne lui faut, dans son travail, ni l'esprit d'initiative, ni réflexion. Sa fonction et sa vertu, dira Aristotele. C'est d'obéir. (Politique. 1277 b 29. 224).*

Ben vengano pertanto studi di questo genere orientati ad indagare gli aspetti interni, ovvero quelli onto-epistemologici, da noi richiamati, come pure quelli di Antonino Vittorio (*Archimede siracusano. Invenzioni e contributi tecnologici*. Morrone Editore, 2010) orientati invece a far conoscere la cultura e la pratica tecnologica del nostro Archimede, trascurata da una storiografia molte volte solo attenta all'aspetto retorico-umanistico e letterario del mondo greco antico.

Ritengo pertanto che solo dentro una diversa concezione di “teoria”, di “**máthema**” e di “**mekhanè**” e solo dentro una diversa concezione di **filosofia** che Pappo, nel brano richiamato da Newton, chiama “**fisiologia degli elementi materiali**”, poteva svilupparsi quella che è stata poi la moderna e feconda concezione di **mekhanè** e **máthema**.

In nostri studi abbiamo messo a confronto due esemplari delle due tradizioni: i **Mekhanikà** di Aristotele, secondo noi invece scritto eclettico di tradizione platonico-aristotelica, e il **tropos mekhanikòs** di Archimede, nel quale vengono a sublime sintesi i concetti di **mekhanè** e di **máthema** con un grumo di concetti onto-epistemologici, elaborati da una tradizione di pensiero, con una forte impronta filosofica, conoscitiva, non quindi semplicemente strumentale ed utilitaristica, che con amici chiamiamo **pitagorico-democritea o italica**.

**Si riduce la portata rivoluzionaria del tropos mekhanikòs di Archimede, contrapponendolo al suo tropos geometrikòs, quando, rispetto al concetto tradizionale greco di macchina, intesa come espediente per superare difficoltà materiali non facilmente superabili, grazie all'uso della metis (astuzia, sagacia), si sostiene, ad esempio secondo lo studioso Micheli, che Archimede con il suo tropos meccanico si limita solo ad estendere il significato di espediente dalla macchina al concetto di calcolo, di misurazione, ritenendolo solo un semplice strumento di scoperta matematica.**

Il **tropos mekhanikòs**, in quanto struttura teorica complessa di **grandezze e numeri**, come di principi **onto-epistemici, meccanici e matematici, elaborati a partire da Eudosso ed Archita, invece secondo Plutarco proprio per questo criticati da Platone**, non solo si avvale di macchine, quale la leva, ma è esso stesso una **macchina**, in quanto scrive Archimede nella sua famosa lettera ad Eratostene “*dà la **potenza di osservare nelle cose matematiche attraverso enti meccanici**” (*eis tò dunasthai theorein en tois mathemasi dià ton mekhanikon*).*

**Mekhanè** ha assunto per i greci tanti significati, ma nel suo significato più profondo e costante nel tempo è stata ritenuta sinonimo di **potenza (dynamis)** oltre che di **meraviglia**.

Il termine “**Mekhanè**” non è più solo allora per Archimede uno strumento materiale di accrescimento di potenza, per le sue leggi, ma una **struttura teorica, che in quanto ci fa osservare il vero, ci indica la via, il verso, il tropos, su cui bisogna camminare per cercare il vero**.

Possiamo senz’altro affermare pertanto che con il **tropos mekhanikòs Archimede rovescia** la filosofia platonica e neoplatonica, circa un suo presunto disprezzo dell’oggetto tecnologico, la macchina, secondo la faziosa testimonianza di Plutarco, come la filosofia aristotelica, per la quale l’oggetto tecnico è solo imitazione (**mimesis**) di una realtà formale già in sé compiuta e perfetta. Il **tropos mekhanikos**, in quanto mekhanè è il vero **mathema, il modello, l’archetipo, l’esemplare** della conoscenza; è questo infatti che fa venire all’essere, a manifestarsi, il vero; la mathesis puramente geometrica, riproduce, **imita**, nel suo dimostrare, quanto **ad essa è stato indicato dalla mekhanè**.

Archimede non disprezza la macchina, allontanandola dalla filosofia e dalla mathesis, ma solo il suo volgare uso e la sua miope interpretazione, fatta dai volgari meccanici in preda a pregiudizi e false valutazioni, come già Galilei nelle sue *Meccaniche* denunciava.

Alle forme sostanziali, di matrice platonica ed aristotelica, la **teoria meccanica** contrappone la **fisiologia degli elementi**, ovvero una **teoria epistemica**, organizzata su grandezze fisiche e loro rapporti, i numeri, e sorretta da **elementi fisici**, tra gli altri quello di **indivisibile o elemento materiale**, di cui si avvale il tropos mekhanikòs di Archimede e di cui si avvarrà il calcolo infinitesimale alle origini della moderna matematica.

Ricordo che Archimede stando a certe testimonianze aveva denominato la sua opera di teoria meccanica: *Elementi di cose meccaniche*.

Ecco forse questo spiega perché anche Pappo all’inizio dell’VIII Libro delle sua *Collection* ci dice che **la teoria meccanica** ha sempre goduto, del grande favore dei **filosofi** ed è stata ricercata da **tutti i matematici**, perché si occupa della **fisiologia degli elementi materiali nel cosmo**.

\*\*\*\*\*

**Alcune indicazioni bibliografiche**, con in **Appendice** l’introduzione di Pappo alessandrino, tradotta dal sottoscritto, con il testo greco, al suo VIII libro della *Collection*, in cui descrive lo stato delle scienze e tecniche meccaniche, del suo tempo storico, il periodo tardo-ellenistico (IV sec. d.C.). Qui

troviamo tra l'altro una delle più splendide testimonianze sulla figura e l'opera di Archimede siracusano da parte del più grande matematico del periodo detto.

Archimede viene definito “*uomo meraviglioso*”, “*lodato dai più per la meccanica*” e *da tutti gli uomini per la sua elevata natura*”. Egli ha saputo riconoscere *la causa e la dimostrazione* delle questioni meccaniche ed è stato **l'unico** (*monos*) a possedere **una natura abile e comprensiva per tutte le cose**.

Archimede, scrive ancora, ha amato le scienze ed ha cercato di non introdurre in esse alcunché **dal di fuori**, che non significa, come in modo inesatto si vuol fare intendere, che disprezzasse il loro uso applicativo, ma che non si introducessero in esse **forme e modi del pensare comune, non sorretti dal mathema e da una rigorosa logica, oltre che falsi pregiudizi, in cui sono imbrigliate le tecniche o arti empiriche, denunciati, come suddetto, da Galilei nel suo riprendere il pensiero del sommo siracusano**.

## **Segue una parte più specifica denominata: Approfondimenti.**

- Aristotele, *Meccanica*, Bombiani, 2010.
- C.B. Boyer, *The concepts of calculus*, New York, 1939.
- Boscarino G. *The onto-epistemological background of Archimedes' mathema*, International Conference - Bergamo 5-17, 2010.
- Boscarino G., *The Mystery of Archimedes. Archimedes, Physicist and Mathematician, Anti-platonic and Anti-Aristotelian Philosopher*, in *The Genius of Archimedes*, Springer, 2010.
- Boscarino G., *At the Origins of the Concepts of MátHEMA and Mekhané: Aristotle's Mekhanikà and Archimedes' Tropos Mekhanikòs*, in *Explorations in the History of Machines and Mechanisms Proceedings of HMM2012*. Editors: Teun Koetsier, Marco Ceccarelli, Springer.
- Boscarino G. *Un mondo di sabbia. L'Arenario di Archimede e la tradizione di pensiero italica della scienza*, Altromondo editore, Padova, 2010.
- Gatto R., Galilei G., *Le meccaniche*, Olski Editore, 2002.
- Gianni M., *Alle origini del concetto di macchina*, Olski editore, 1995.
- Heath T.L., *The works of Archimedes, with a Supplement The method of Archimedes*, Cambridge, 1912.
- Héron d'Alexandrie, *Les Mècaniques ou L'élèveur des corps lourdes*. Les Belles lettres, 1988.
- Newton I., *Philosophiae naturalis Principia matematica*, 1686.
- Pappus D'Alexandrie, *La collection mathématique*, VIII, 1982.
- Plutarch, *Marcellus' life*, 14, 8-12.
- J. P. Vernant, *Remarques sur les forms e les limites de la pensée technique*, 1957.

## APPENDICE

### LIBRO VIII. LA COLLEZIONE di Pappo di Alessandria Contenente splendidi frammisti problemi meccanici.

ΠΑΠΠΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ Η΄.

Περιέχει δὲ μηχανικὰ προβλήματα σύμμικτα ἀνθηρά.

Ἡ μηχανικὴ θεωρία, τέκνον Ἐρμόδωρε, πρὸς πολλὰ καὶ μεγάλα τῶι ἐν τῶι βίῳ χρήσιμος ὑπάρχουσα πλείστης εἰκότως ἀποδοχῆς ἠξίωται πρὸς τῶν φιλοσόφων καὶ πᾶσι τοῖς ἀπὸ τῶν μαθημάτων περισπούδαστός ἐστιν, ἐπειδὴ σχεδὸν πρώτη τῆς περὶ τὴν ὕλην τῶν ἐν τῶι κόσμῳ στοιχείων φυσιολογίας. ἄπτεται. στάσεως γὰρ καὶ φορᾶς σωμάτων καὶ τῆς κατὰ τόπον κινήσεως ἐν τοῖς ὅλοις θεωρηματικῇ τυγχάνουσα τὰ μὲν κινούμενα κατὰ φύσιν αἰτιολογεῖ, τὰ δ' ἀναγκάζουσα παρὰ φύσιν ἔξω τῶν οἰκείων τόπων εἰς ἐναντίας κινήσεις μεθίστησιν ἐπιμηχανωμένη διὰ τῶν ἐξ αὐτῆς τῆς ὕλης ὑποπιπτόντων αὐτῇ θεωρημάτων. τῆς δὲ μηχανικῆς τὸ μὲν εἶναι λογικὸν τὸ δὲ χειρουργικὸν οἱ περὶ τὸν Ἥρωνα μηχανικοὶ λέγουσιν· καὶ τὸ μὲν λογικὸν συνεστάναι μέρος ἕκ τε γεωμετρίας καὶ ἀριθμητικῆς καὶ ἀστρονομίας καὶ τῶν φυσικῶν λόγων, τὸ δὲ χειρουργικὸν ἕκ τε χαλκευτικῆς καὶ οἰκοδομικῆς καὶ τεκτονικῆς καὶ ζωγραφικῆς καὶ τῆς ἐν τούτοις κατὰ χεῖρα ἀσκήσεως· τὸν μὲν οὖν ἐν ταῖς προειρημέναις ἐπιστήμαις ἐκ παιδὸς γενόμενον κὰν ταῖς προειρημέναις τέχναις ἔξιν εἰληφότα πρὸς δὲ τούτοις φύσιν εὐκίνητον ἔχοντα, κράτιστον ἔσεσθαι μηχανικῶν ἔργων εὐρετὴν καὶ ἀρχιτέκονά φασιν. μὴ δυνατοῦ δ' ὄντος τὸν αὐτὸν μαθημάτων τε τοσούτων περιγενέσθαι καὶ μαθεῖν ἅμα τὰς προειρημένας τέχνας παραγγέλλουσι τῶι τὰ μηχανικὰ ἔργα μεταχειρίζεσθαι βουλομένῳ χρῆσθαι ταῖς οἰκείαις τέχναις ὑποχειρίοις ἐν ταῖς παρ' ἕκαστα χρείαις.

La **teoria meccanica**, o figlio mio Ermodoro, utile a molteplici ed importanti cose che si presentano nella vita, merita giustamente il più grande favore presso i **filosofi** ed è ricercata da tutti i **matematici**, poiché per prima si occupa da vicino della **fisiologia degli elementi materiali nel mondo**. Essa cogliendo **in modo teorico** la quiete, lo spostamento dei corpi e il movimento secondo il luogo nell'universo, spiega i movimenti dei corpi **secondo natura**, mentre sposta con congegni meccanici secondo movimenti contrari gli altri costringendoli **contro natura** al di fuori dei propri luoghi grazie all'uso di teoremi della stessa materia dipendenti da essa. I meccanici seguaci di Erone dicono che una parte della meccanica è **razionale**, l'altra parte **manuale**, e che la parte razionale si compone della geometria, dell'aritmetica, dell'astronomia, e di studi di cose fisiche, mentre la parte manuale comprende la tecnica di lavorare il bronzo, la tecnica di edificare, la tecnica di costruire in legno, la tecnica della pittura, e l'esercizio manuale di queste tecniche.

Ora si dice che colui che si è dedicato sin dall'infanzia alle **scienze** (*epistemais*) da noi menzionate ed ha acquistato esperienza nelle **tecniche** (*tekhnaïs*) citate, possedendo inoltre una **natura aperta**, sarà un eccellente scopritore e costruttore di opere meccaniche.

Ma come è impossibile che uno stesso uomo divenga superiore in altrettante conoscenze ed apprenda nello stesso tempo le tecniche che noi abbiamo detto, è proibito a colui che desidera esercitare i lavori meccanici trarre profitto dalle proprie tecniche a sua disposizione seguendo i particolari vantaggi che gli si presentano.

2. Μάλιστα δὲ πάντων ἀναγκαιόταται τέχνηαι τυγχάνουσιν πρὸς τὴν τοῦ βίου χρεῖαν [μηχανικὴ προηγουμένη τῆς ἀρχιτεκτονικῆς] ἢ τε τῶν μαγγαναρίων, μηχανικῶν καὶ αὐτῶν κατὰ τοὺς ἀρχαίους λεγομένων (μεγάλα γὰρ οὗτοι βάρη διὰ μηχανῶν παρὰ φύσιν εἰς ὕψος ἀνάγουσιν ἐλάττονι δυνάμει κινουῦντες), καὶ ἡ τῶν ὀργανοποιῶν τῶν πρὸς τὸν πόλεμον ἀναγκαίων, καλουμένων δὲ καὶ αὐτῶν μηχανικῶν (βέλη γὰρ καὶ λίθινα καὶ σιδηρᾶ καὶ τὰ παραπλήσια τούτοις ἐξαποστέλλεται εἰς μακρὸν ὁδοῦ μήκος τοῖς ὑπ' αὐτῶν γινομένοις ὀργάνοις καταπαλτικοῖς), πρὸς δὲ ταύταις ἢ τῶν ἰδίως πάλιν καλουμένων μηχανοποιῶν (ἐκ βάθους γὰρ πολλοῦ ὕδωρ εὐκολώτερον ἀνάγεται διὰ τῶν ἀντληματικῶν ὀργάνων ὧν αὐτοὶ κατασκευάζουσιν). καλοῦσι δὲ μηχανικοὺς οἱ παλαιοὶ καὶ τοὺς θαυμασιουργοὺς, ὧν οἱ μὲν διὰ πνευμάτων φιλοτεχνουσιν, ὡς Ἴηρων πνευματικοῖς, οἱ δὲ διὰ νευρίων καὶ σπάρτων ἐμψύχων κινήσεις δοκοῦσι μιμεῖσθαι, ὡς Ἴηρων αὐτομάτοις καὶ ζυγίοις, ἄλλοι δὲ διὰ τῶν ἐφ' ὕδατος ὀχουμένων, ὡς Ἀρχιμήδης ὀχουμένοις, ἢ τῶν δι' ὕδατος ὥρολογίων, ὡς Ἴηρων ὑδρείοις, ἃ δὴ καὶ τῆι γνωμονικῆι θεωρίαι κοινωνοῦντα φαίνεται. μηχανικοὺς δὲ καλοῦσιν καὶ τοὺς τὰς σφαιροποιίας [ποιεῖν] ἐπισταμένους, ὑφ' ὧν εἰκὼν τοῦ οὐρανοῦ κατασκευάζεται δι' ὀμαλῆς καὶ ἐγκυκλίου κινήσεως ὕδατος.

Le tecniche più di tutte necessarie ai bisogni della vita sono o quella dei **costruttori di strumenti** (**manganàrioi**; *mankanon* = *strumento per incantare*), essi stessi, chiamati **meccanici** dagli antichi (perché essi sollevano in altezza dei grandi pesi in senso contrario alla natura di questi, facendoli muovere con una piccola potenza per mezzo di macchine); o quella dei **fabbricanti di congegni** (**organopoiòi**) necessari per la guerra, anch'essi chiamati **meccanici** (infatti dardi di pietra, di ferro, o di altri oggetti di questo genere sono scagliati per una grande distanza con catapulte (*organa katapaltikà*), di cui essi sono gli autori; o infine a seguire a questi ultimi quella di coloro i quali ancora una volta sono chiamati i **costruttori di macchine**, (**mekhanopoiòi**, *mekhanipoi* in Erone), (infatti l'acqua è facilmente elevata da una grande profondità per mezzo di macchine di svuotamento che essi costruiscono). Gi antichi chiamano anche **meccanici** i **taumaturghi** (**taumasiourgoi**), alcuni dei quali esercitano con dovizia la tecnica che si serve dei venti, come Erone, ne *Le Pneumatiche*, alcuni si propongono di imitare i movimenti degli esseri animati per mezzo di nervi e di sparti, come Erone ne *Gli automi* e ne *Gli Equilibri*, altri si servono di corpi che galleggiano sull'acqua, come Archimede ne *I corpi galleggianti* (*Okhoumènon*), o di macchine che indicano le ore per mezzo dell'acqua, come Erone ne *I vasi contenente acqua*; questa sembra avere qualcosa in comune con la teoria degli gnomoni. Infine chiamano meccanici ancora quelli che sono versati nella fabbricazione della sfera (**sphairopoiìa** o **spheropea**) e costruiscono una rappresentazione del cielo con l'aiuto di un movimento uniforme e circolare dell'acqua.

3. Πάντων δὲ τούτων τὴν αἰτίαν καὶ τὸν λόγον ἐπεγνωκέναι φασίν τινες τὸν Συρακόσιον Ἀρχιμήδη· μόνος γὰρ οὗτος ἐν τῷ καθ' ἡμᾶς βίωι ποικίληι πρὸς πάντα κέχρηται τῆι φύσει καὶ τῆι ἐπινοίαι, καθὼς καὶ Γεμῖνος ὁ μαθηματικὸς ἐν τῷ περὶ τῆς τῶν μαθημάτων τάξεώς φησιν. Κάρπος δὲ πού φησιν ὁ Ἀντιοχεὺς Ἀρχιμήδη τὸν Συρακόσιον ἐν μόνον βιβλίον συντεταχέναι μηχανικὸν τὸ κατὰ τὴν σφαιροποιίαν, τῶν δὲ ἄλλων οὐδὲν ἠξιώκεναι συντάξαι. καίτοι παρὰ τοῖς πολλοῖς ἐπὶ μηχανικῆι

δοξασθεις και μεγαλοφυης τις γενομενος ο θαυμαστος εκεινος, ωστε διαμεϊναι παρα πασιν ανθρωποις υπερβαλλοντως υμνουμενος, των τε προηγουμενων γεωμετρικης και αριθμητικης εχομενων θεωριας [και] τα βραχυτατα δοκοუნτα εϊναι σπουδαιως συνεγραφεν· ος φαίνεται τας ειρημενας επιστημας ουτως αγαπησας ως μηδεν εξωθεν υπομενειν αυταις επεισαγειν. αυτος δε Καρπος και αλλοι τινες συνεηρησαντο γεωμετρια και εις τεχνας τινας ευλογως· γεωμετρια γαρ ουδεν βλαπτεται, σωματοποιειν πεφυκυια πολλας τεχνας, δια του συνεϊναι αυταις, τουναντιον δε προαγουσα μεν ταυτας φαίνεται, τιμωμενη δε και κοσμουμενη δεοντως υπ' αυτων.

Alcuni dicono che il **siracusano Archimede** ha riconosciuto **la causa e la dimostrazione** (*ton logon*) di tutte queste cose; questi in verità sino ai nostri giorni è stato **l'unico** (*monos*) che ha **posseduto abile natura e comprensione** per tutte le cose, come anche dichiara in questo modo Gemino il Matematico nel suo libro *L'ordinamento delle matematiche*. Carpo di Antiochia invece in qualche parte dice che Archimede di Siracusa non ha composto che un **unico libro di meccanica**, quello riguardante *La Sferopea* e che egli non si è degnato di comporre altri dello stesso genere.

**Quel meraviglioso uomo, a dire il vero celebrato dai più per la meccanica, dotato di elevata natura**, al punto di continuare ad essere lodato oltremodo **da tutti gli uomini**, ha inoltre raccolto per iscritto in modo pregevole (*σπουδαιως*) teorie che apparissero molto brevi (*τά βραχύτατα*) su emergenti questioni di geometria e di aritmetica, ed è certo che egli ha amato le scienze (*επιστημας*) che noi abbiamo menzionato sino al punto di imporsi di non introdurre niente dal di fuori (*μηδεν 'εξωθεν*).

Ma lo stesso Carpo ed alcuni altri hanno parteggiato per una geometria nel modo razionale e a vantaggio di certe tecniche; la geometria infatti non si degrada affatto, allorquando, applicandosi a queste, tende a far crescere strutturalmente molte tecniche; ed essa appare al contrario elevare queste tecniche e così onorata e abbellita come conviene alle stesse.

## APPROFONDIMENTI

### **La leva: Una fisiologia di elementi (Archimede) o una riproduzione di forme o qualità (Platone ed Aristotele)?**

E' nel seguente brano di Erone, che vogliamo riportare dalla sua opera *Les Mécaniques*, dove si evidenzia in modo eclatante il contrasto tra le due onto-epistemologie con le annesse forzature e mistificanti interpretazioni, per il modo eclettico in cui si sovrappongono, che qui scriviamo in formule, ma che in nota riportiamo nella sua versione tradotta dal francese, esistendo dell'opera eroniana solo una versione araba, mentre è andata perduta la sua versione originale greca.

Siano

BA, AE = distanze dal centro A ed estremi B, E.

T, Z = pesi e

T > Z, allora se

1) BA : AE = T : Z, per la legge di Archimede otteniamo l'equilibro.

Se vogliamo sollevare T

basta porre

$BA > AE$  e

$BA : AE > T : Z$

ovvero il rapporto tra le distanze dal centro A maggiore del rapporto tra le forze “peso” e “potenza”, applicate agli estremi B, E.

Questo significa che otteniamo il sollevamento di T moltiplicando pesi per distanze, secondo la citata relazione, se scomponiamo le grandezze, nelle loro grandezze unitarie e nei loro numeri, che le moltiplicano

$BA \times Z > AE \times T$ , ovvero  $n \times m(\overline{BA} \times \bar{Z} = \bar{M}) > l \times t(\overline{AE} \times \bar{T} = \bar{M}')$ , dove  $n, m, l, t$  sono numeri,  $\times$  è operazione tra numeri,  $X$  è operazione tra grandezze,  $\overline{BA}, \overline{AE}, \bar{Z}, \bar{T}$  sono le grandezze unitarie,  $\bar{M}, \bar{M}'$  sono i momenti unitari. Grazie ad un **numero maggiore** il momento M può determinare il sollevamento del peso T, **ovvero può modificare la forma della macchina**, ovvero il suo stato di equilibrio.

Come si interpreta questo brano. Poiché Aristotele nei *Mekhanikà* per spiegare il potere meraviglioso delle macchine fa ricorso ad un ente geometrico, il cerchio, come suo principio o causa, viene subito sottolineato che “Aristotele è, in filosofia naturale, il maestro dell’autore de *Le Meccaniche*”, mentre si denuncia l’ingratitude dell’autore del brano citato, nel fatto che Aristotele non viene richiamato, come di dovere. (cfr. Héron d’Alexandrie, 1988, p.42).

**In verità, nel brano citato, come in altre parti della sua opera, l’unico citato da Erone è Archimede, per cui questi dovrebbe essere riconosciuto maestro dell’autore delle Meccaniche!**

Non solo si compie così una forzatura, ma soprattutto una mistificante interpretazione. Si è fatto notare da critici, come d’altronde si può verificare leggendo il brano, che il cerchio nell’esposizione di Erone è estraneo al contesto, superficiale, ridondante, mentre, secondo noi, in esso è invece visibile un’altra onto-epistemologia, che fa capo proprio ad Archimede, che è quella che abbiamo chiamato la **fisiologia degli elementi**, seguendo il linguaggio di Pappo a proposito di **teoria meccanica**.

Da testimonianze risulta che Archimede possa aver denominato la sua opera di teoria meccanica: *Elementi di cose meccaniche*. La cosa non ci sembra casuale o trascurabile, ai fini di tutto il nostro discorso, ma assolutamente probabile.

In realtà se mettiamo a confronto le due teorie della leva dei due autori, Aristotele ed Archimede, vediamo come nel caso di Aristotele, si impone come **causa esplicativa** del potere della leva **un’astratta forma geometrica**, quale il cerchio, con sue mirabolanti **qualità**, per noi in verità contraddittorie ed assurde, espresse con un oscuro ed ambiguo linguaggio, di filosofia naturale, circa ciò che è **per natura** e ciò che è **contro natura**, dove non si capisce se la macchina imita o inganna la natura, se si parla di enti geometrici, che rimandano ad una precisa teoria delle grandezze o se si sta semplicemente scimmiettando un linguaggio delle grandezze e dei loro rapporti numerici, quando poi nello stesso testo si fa riferimento soprattutto a oggetti empirici.



Non per niente Il Maurolico giustamente a questo proposito contrapponeva il preciso linguaggio geometrico di Archimede, all'ingenuo empirismo aristotelico con i suoi **sensibilibus experimentis** (Vedi Gatto R., Galilei G., *Le meccaniche*, 2002, pp. XXXIX-XL).

Vediamo allora brevemente come si sviluppa il linguaggio aristotelico, mettendolo poi a confronto con quello archimedeo degli *Elementi di cose meccaniche*, per poi dimostrare, come nel concreto del brano citato non possa esserci alcuna presenza della filosofia aristotelica proprio a partire dalla sua filosofia del numero e del concetto di elemento, ma invece solo una diversa filosofia della scienza, di cui si è fatta interprete la scienza galileana sulla scia di quella archimedeo.

Per Aristotele *mekhanè* è una sottoclasse di *tekne*, ovvero quella particolare *tekne* che soccorre nelle difficoltà che la natura frappone a ciò che è utile agli uomini. Con la leva gli uomini superano un particolare tipo di difficoltà, quella di poter sollevare grandi pesi grazie a piccole forze. Si deve alla natura o qualità del cerchio questa potenza umana di sovrastare le forze della natura, suscitando **meraviglia**. Solo una cosa più meravigliosa può essere causa di una cosa meravigliosa. E la prima di tutte le meraviglie è il cerchio, in quanto sintesi dei contrari.

Se ha dell'**arbitrario** sostenere una cosa solo perché sarebbe più meravigliosa di un'altra ne è causa, ha certamente dell'**ambiguo** e dell'**assurdo**, poi sostenere che i contrari sono causa di alcunché, se non si specifica cosa si intende per **sintesi o compenetrazione dei contrari**. Per Aristotele, se questioni relative alla bilancia possono essere ricondotte a qualità del cerchio, e quelle della leva a proprietà della bilancia, tutte le questioni meccaniche possono essere ricondotte alle proprietà della leva.

Ora qual è la qualità meravigliosa del cerchio che rende conto della bilancia e della leva?

Questa risiede nel fatto che il punto del diametro del cerchio che si trova a maggiore distanza dal centro del cerchio si muove più velocemente del punto che si trova a minore distanza, pur essendo ambedue mossi da una stessa forza centrale. Aristotele trova la causa di questa apparente anomalia nel fatto che i punti, trovandosi a diverse distanze, sono soggetti in realtà a **due** dinamiche diverse, essendo soggette a forze di nature diverse, contro natura e secondo natura, che determinano diverse configurazioni geometriche, o una linea retta, quando il loro rapporto è costante, o una linea curva, quando questo rapporto varia. Il punto più è lontano dal centro meno subisce la forza contro natura verso il centro, divenendo più veloce nel suo movimento, rimanendo invece costante il moto secondo natura dei due punti in linea retta, a distanza diverse dal centro.

Questo spiega perché due pesi uguali posti a distanze uguali, si equilibrano nella bilancia, avendo le stesse velocità, mentre posti a distanze diseguali non si equilibrano, e un peso più piccolo posto a distanza più grande invece equilibra un peso più grande posto a distanza minore, nella leva.

Aristotele può concludere allora: *Il rapporto tra il peso mosso e quello che lo muove è inverso al rapporto tra le rispettive distanze dal centro.* (Aristotele, *Mekhanikà*)

La lettura di questa proposizione ha indotto alcuni storici della scienza a ritenere che qui Aristotele anticipi, in termini dinamici, quanto poi Archimede dimostra in termini statici. (G. Vailati, *Il principio dei lavori virtuali da Aristotele a Erone d'Alessandria*, in *Scritti*, 1911, p.91).

In verità in tutto il discorso aristotelico c'è una forte ambiguità: le forze che operano a determinare il movimento circolare, se da una parte sembrano **forze vere**, per cui questo appare un composto, non

semplice, quindi un moto non naturale, e pertanto quanto di meraviglioso produce non può essere di sua proprietà, dall'altra sembrano **forze puramente apparenti**, fittizie, perché il moto vero, naturale, è pur sempre quello circolare, a cui sono soggette. Insomma è la **forma geometrica sostanziale cerchio, con le sue qualità**, che determina la legge, non eventuali **elementi** più semplici che la determinano.

Mancando una precisa teoria di grandezze e numeri a cui Aristotele faccia riferimento, ci sembra pertanto forzata l'interpretazione di certi autori circa una presunta anticipazione in Aristotele dell'inversa proporzionalità tra pesi e distanze di matrice archimedeo. Ci sembra invece plausibile la lettura del Micheli a tal proposito (op. cit. p. 83).

L'opera ci sembra pertanto non tanto opera di Aristotele, quanto **opera eclettica**, insomma di tradizione platonico-aristotelica. Per Aristotele un punto non può descrivere una linea, né una linea una superficie. Quindi l'opera non dovrebbe essere aristotelica. Il principio dei contrari è poi di origine pitagorica. Il mito del cerchio perfetto è anche di Platone, né sono da escludere forti influenze di Democrito, visto che il principale interlocutore di Aristotele in materia di filosofia naturale, ma anche di questioni di filosofia della tekne, è stato Democrito. (Aristotele, *Fisica*, II, 2)

Comunque che questa espressione di Aristotele o della tradizione platonico-aristotelica non posseda una qualche larva di **mathema o di mekhanè**, ovvero di grandezze geometriche e fisiche, di loro rapporti numerici, e di elementi teorici, ma esprima **un generico verbalismo** che fa riferimento a semplici contrapposizioni o contrarietà di pesi e distanze relative, appare chiaro se mettiamo a confronto il brano citato di Erone con la teoria del numero e dell'elemento di Aristotele.

Per Aristotele

*I numeri non sono né sostanza (ousìa) né cause della forma (aitioi tes morfes). ...*

*Il numero è sempre numero di determinate cose, ossia di parti di fuoco o di terra o di unità aritmetiche. ... Il numero, sia quello generale sia quello che è composto da unità, non è né causa efficiente né materia né concetto o forma delle cose. ...*

*I rapporti che si riscontrano nei miscugli vengono espressi dalla addizione dei numeri e non da semplici numeri, ad esempio da  $3+2$  e non da  $3 \times 2$ . (Aristotele, *Metafisica*, N, 1092b, 15-35)*

Questa filosofia del numero e del miscuglio ora è assolutamente incompatibile con il brano citato di Erone espresso da noi **in formule matematiche, con riferimento alla legge di Archimede**, dove appare chiaro che

- 1) **Pesi e distanze in quanto elementi** nella legge della leva non danno luogo ad un miscuglio, dove grandezze e numeri possono solo sommarsi e mescolarsi, rimanendo però differenti, ma danno luogo ad un nuovo **elemento teorico**, il **momento**, separabile nel **momento unitario**, e in un **nuovo numero** risultato dalla moltiplicazione di numeri.
- 2) Il nuovo numero, assieme al nuovo elemento teorico, è **la causa** che determina **la nuova forma**, la **causa efficiente** del sollevamento del peso maggiore da parte del peso minore. L'elemento non è allora qualcosa di assoluto, di metafisico, ma è dato dalla teoria, dall'episteme, dove elementi si fondono per dare luogo a nuovi elementi, **il momento**.

- 3) Solo il **rapporto esatto** tra le grandezze fisiche, **il mathema, può generare la mekhanè**, che lo rappresenta, lo manifesta, **lo fa osservare razionalmente** (è questo il significato di **theorein** del **tropos mekhanikòs** di Archimede) nella sua **essenza o sostanza**, se vogliamo usare il linguaggio aristotelico, ancora una volta però rovesciato, dove è la quantità che genera la forma, la qualità, e non viceversa.

## Conclusioni

Nella legge archimedeica pertanto ciò che vale sono gli elementi, peso e distanza, e le relazioni quantitative tra loro, non forme geometriche, con loro strabilianti qualità, addirittura di natura divina. Se questa episteme viene espressa da Archimede nel suo sesto postulato degli *Elementi di cose meccaniche*, la filosofia, in termini di elementi e di quantità, ad essa sottesa viene invece chiaramente espressa da Galilei in un suo brano de *Le Meccaniche*, dove scrive: *Stante la medesima gravità dei pesi ed i medesimi termini delle sospensioni, quando bene si variassero le loro figure, riducendole in forme sferiche, conforme alle due X, Z, o in altre, non si dubiterà che il medesimo equilibrio sia per seguire; essendo la figura accidente di qualità ed impotente ad alterare la gravezza, che piuttosto dalla quantità deriva*” (Galilei G., *Le meccaniche*, p. 52, Olski Editore, 2002).

Nell’opera il momento esplicitamente entra come elemento fondante, mentre ambiguità e confusioni della tematica aristotelica o pseudo-aristotelica vengono eliminati o chiariti circa il rapporto tecnica e natura (la tecnica non inganna la natura, né solo la imita, ma la innova con le sue meravigliose invenzioni), circa il rapporto tecnica-scienza, la scienza insegna l’utilità e la giusta competenza nell’uso della macchina ai *“poco intendenti ingegneri (o volgari meccanici), mentre si vogliono applicare a imprese impossibili”*. (ib. p.48,p.52)

Si capisce così come Archimede non disprezzasse la mekhanè, allontanandola dalla filosofia e dalla mathesis, ma disprezzasse solo il suo volgare uso e la sua miope interpretazione. Si demistifica nel mentre la faziosa testimonianza di Plutarco circa un presunto disprezzo di Archimede della cosa meccanica.

## NOTA

(2) **“LIBRO II I.1** *Le macchine semplici per mezzo delle quali si muove un peso dato con una potenza data sono cinque ; indichiamo quali sono le loro forme, i loro modi di impiego e i loro nomi. Queste macchine sono fondate su un principio naturale unico, benché siano molto differenti in apparenza. Ecco i loro nomi: l’argano, la leva, la puleggia, il cuneo e la vite senza fine.*

*II.-7* *Noi abbiamo finito di esporre la costruzione delle cinque macchine semplici preceduta dalla descrizione, e di spiegare il loro modo di impiego. Quanto alla causa che fa che ciascuno di questi strumenti muova dei pesi di una certa consistenza con una debole potenza, ne parliamo adesso nel modo che segue.*

*Supponiamo due cerchi aventi lo stesso centro A; siano i loro diametri BC, DE; questi due cerchi si muovano attorno al punto A, che è il loro centro comune, e siano perpendicolari al piano dell’orizzonte. Sospendiamo ai due punti B, C due pesi eguali, che designiamo con Z e H. E’ evidente che i cerchi non pendono né da una parte né dall’altra, poiché i due pesi Z e H sono uguali e le distanze BA, AC uguali.*

*Facciamo di BC il giogo della bilancia mobile attorno al punto di sospensione che è il punto A. Se noi trasportiamo in E il peso che è applicato in C, il peso Z inclinerà verso il basso, e farà girare i cerchi. Ma se noi aumentiamo il peso T, esso di nuovo equilibrerà il peso H; e il rapporto del peso T al peso Z sarà uguale al rapporto della distanza BA alla distanza AE. Così la linea BE svolge il ruolo di un giogo della bilancia mobile attorno ad un punto di sospensione, che è il punto A. **Archimede** ha già dato questa proposizione nel suo libro **Sull'equilibrio dei pesi**.*

*E' evidente, pertanto, che noi possiamo muovere un peso molto pesante con una potenza debole allorché, dati due cerchi concentrici e un grande peso applicato ad un arco qualunque del grande cerchio, il rapporto della linea che esce dal centro del cerchio grande alla linea che esce dal cerchio piccolo è più grande del rapporto del peso più grande alla debole potenza che lo muove. La debole potenza supera il grande peso.*