

**MC/6**  
**STORIA DELLA MATEMATICA 1**  
**A.A. 2008-2009**  
**ANA MILLÁN GASCA**

**LA MATEMATICA NELLA NASCITA DELLA SCIENZA MODERNA (1400-1700)**

*All'inizio fu lo scriba*, capp. 4-5

APPENDICE 3A SCIENZA, TECNICA E MATEMATICA NELLA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA

LETTURA 3 NATURA, TECNICA E MATEMATICA FRA GLI INGEGNERI DEL RINASCIMENTO

**BIBLIOGRAFIA**

H. FLORIS COHEN, "Les raisons de la transformation et la spécificité européenne", in *L'Europe des sciences, Constitution d'un espace scientifique*, a cura di Michel Blay e Efthymios Nicolaïdis, Paris, Seuil, pp. 51-94.

SILVIO MARACCHIA, *Storia dell'algebra*, Liguori, 2005.

ALEXANDRE KOYRÉ, *Studi newtoniani*, Einaudi, 1983.

GIORGIO ISRAEL, *Modelli matematici*, Muzzio, Roma, 2002.

ENRICO GIUSTI, *Euclides reformatus: la teoria delle proporzioni nella scuola galileiana*, Torino, Bollati Boringhieri.

P. ROSSI, *I filosofi e le macchine (1400-1700)*, Milano, Feltrinelli, 1962

PAOLO ZELLINI, *Breve storia dell'infinito*, Adelphi, Milano, 1993.

**DIARIO DELLE LEZIONI**

Mercoledì 1 aprile 2009

I tre tentativi di portare a compimento il progetto della matematica e della scienza greca:

- nelle terre dell’Islam (secc. VIII-XIII), lingua araba
- nell’Europa cristiana medievale (secc. XIII-XIV), lingua latina
- nell’Europa moderna (secc. XV-XVII), lingua latina e lingue moderne:  
Rivoluzione scientifica

Mercoledì 4 maggio 2009

Conferenza di Luca Dell’Aglío: Le origini della teoria dei giochi di Émile Borel nel probabilismo classico.

Mercoledì 6 maggio 2009

Visione generale del periodo della Rivoluzione scientifica

- A. La creazione dell’algebra, da al-Khwarizmi a François Viète. Il rapporto tra geometria e algebra

Abbiamo visto che l’algebra è una branca della matematica creata per risolvere i problemi della matematica pratica. Il fondatore dell’algebra fu Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi (conosciuto anche dal nome latinizzato, Algorismi, origine della parola “algoritmo”), un matematico e astronomo molto importante di Bagdad all’epoca del califfo al-Ma’mun (813-833). Questo matematico di origini persiane, che scriveva in arabo (la lingua colta nei paesi dell’Islam), aveva una profonda conoscenza della matematica greca, ma si occupò anche di matematica pratica. Egli scrisse dapprima un libro per illustrare la scrittura dei numeri con il sistema di numerazione posizionale alla maniera indiana e i relativi algoritmi. Poi si occupò della risoluzione di problemi pratici, tentando di superare la tradizione basata sulle istruzioni applicate a singoli casi particolari e impostando il problema da un punto di vista generale: *individuare un numero sconosciuto, la “cosa” (l’incognita) e individuare la condizione (l’equazione) sulla cosa e su altri numeri nell’enunciato del problema*. Egli espose questo nuovo punto di vista in un libro dedicato a ciò che egli stesso descrisse come la “scienza delle riduzioni e delle comparazioni”, in arabo *ilm al-giabr za l-muqabala*, che impiega un termine, *giabr*, usato dapprima nella terminologia medico-chirurgica. All’inizio del libro al-Khwarizmi scrisse:

«Ho scritto, nel campo del calcolo con il *giabr*, un trattato che comprende le più fini e le più nobili operazioni di calcolo di cui gli uomini hanno bisogno per la ripartizione delle eredità e delle donazioni, per le spartizioni e i giudizi, per le transazioni commerciali e per tutte le operazioni che hanno fra di loro, relative all'agrimensura, alla ripartizione dell'acqua dei fiumi, all'architettura e altre cose.»

B. Il Rinascimento

C. Il valore della matematica e lo sviluppo della cultura tecnica

Lunedì 11 maggio 2009

A. Galileo: il ruolo della matematica nella conoscenza della natura

“Difalcare gli impedimenti”: Lettura tratta da Galileo Galilei, *Dialogo dei massimi sistemi*

Salviati discute con l'aristotelico Simplicio e mostra come un risultato matematico “astratto” (in questo caso il fatto che una sfera tocca un piano a essa tangente in uno e un sol punto) sia adeguato a descrivere la realtà fisica “concreta”, purché si faccia astrazione degli “impedimenti della materia”.

B. La nuova matematica per il problema del moto e il problema dell'infinito (infinito per addizione, infinito per divisione, infinito attuale, infinito potenziale)

C. La visione greca dell'infinito (fotocopie dei lucidi)

Martedì 13 maggio 2008

A. Problemi di curve, l'idea di spazio

B. Le tre formulazioni di Newton del calcolo differenziale

C. L'idea di limite come metafisica del calcolo (d'Alembert)

(fotocopie dei lucidi)

## Appendice 3.A Scienza, tecnica e matematica nella Rivoluzione scientifica

### *Gli ingegneri del Rinascimento*

L'ingegneria europea iniziò il suo sviluppo in Italia ed è uno degli aspetti del Rinascimento italiano, la stagione culturale che riavvicinò l'Europa alla filosofia, la letteratura, le arti e le scienze greco-latine. L'Italia aveva perso l'egemonia sulle rotte commerciali e la sua struttura industriale era in crisi, ma i servizi degli ingegneri italiani erano richiesti presso le corti di nobili e re europei che volevano creare le strutture tecniche dell'amministrazione del potere centralizzato. I loro compiti e le loro competenze non erano inizialmente dissimili da quelle degli ingegneri-funzionari romani, anche se – uomini del loro tempo – oltre alle macchine usate nella costruzione e alle macchine belliche, si interessarono anche al funzionamento dei dispositivi per la filatura oppure delle ruote idrauliche.

L'ingegnere di stampo classico era un architetto-ingegnere che lavorava al servizio di un committente “istituzionale” – una città, un governante, un re –, esperto di macchine (era spesso chiamato proprio “meccanico” o *machinator*) adoperate nei cantieri o a scopo militare, capace di progettare edifici, ponti e canali e nel contempo capocantiere in grado di coordinare uomini e macchine. Era un professionista riconosciuto, del quale si ricorda il nome. Il termine “ingegnere” (o *ingeniator*) era usato soprattutto nel senso di ingegnere militare, sia che lavorasse in questa veste temporaneamente o integrato in un esercito; l'architetto, tuttavia, non era ben distinto dall'ingegnere (così come l'artista e l'artigiano si confondevano), e la figura dell'architetto moderno emergerà solo con la progressiva separazione fra l'abilità tecnica e compiti organizzativi e l'ispirazione artistica e di progettazione. Spesso aveva familiarità con la matematica, ma la sua competenza era basata essenzialmente sull'esperienza ed la filosofia della sua azione era quella di “ingannare la Natura”, strappando le sue regole grazie alle macchine frutto dell'ingegno.



L'unione ideale di matematica e sapere tecnico nel manuale per gli ingegneri *Ingenieurs-Schul* (1633) di Johann Faulhaber (1580-1635), il quale – oltre alle responsabilità tecnico-amministrative nella sua città natale, Ulm – diresse una scuola presso la quale studiò matematica Cartesio nel 1620. Nella copertina del primo volume sono raffigurate 12 donne che rappresentano altrettante discipline teoriche e pratiche.

**Macchina**

La parola “macchina” deriva dal termine greco *mechane* (in latino *machina*), che era usato originariamente – nelle opere di Omero – per designare una risorsa, una trovata ingegnosa, a volte nel senso di tranello, di astuzia. Gli storici Erodoto e Tucidide e il filosofo Platone la usano parlando rispettivamente del sistema di costruzione della piramide di Cheope, delle macchine da guerra e dei dispositivi usati nella scenografia a teatro, in riferimento quindi a “macchine” o congegni intese proprio come risorse e artifici per ottenere uno scopo.

Verso la fine del IV secolo a. C., fra i discepoli di Aristotele ad Atene, fu elaborata un’opera intitolata proprio *Meccanica* (nota anche con il titolo latino *Quaestiones mechanicae* e considerata, erroneamente, opera dello stesso Aristotele), dove si discute il funzionamento della bilancia e della leva, e sulla base della teoria della leva si parla del remo, del timone, del cuneo, della puleggia, del verricello, ma anche delle tenaglie dei dentisti e degli schiaccianoci. Oltre alle questioni su questi vari strumenti e dispositivi, vi si trovano considerazioni sul trasporto di un peso da parte di un uomo, sul moto umano e questione sul moto in generale. Il funzionamento della leva è esaminato usando un linguaggio geometrico e in riferimento al cerchio (considerato in movimento), ma si usano anche le concezioni della fisica aristotelica, mentre altrove si svolgono ragionamenti basati sulla esperienza pratica e il senso comune. È pertanto un libro ibrido, un primo tentativo di sviluppare una *teoria della pratica* e di consegnarla per scritto, che quindi è indice di un’evoluzione del pensiero tecnico greco verso la tecnologia; ma nel contempo permane una visione della *tecnica* in opposizione alla *natura*, come un insieme di risorse concepite dall’uomo per “averla vinta” sulla natura, sfidandola. Si legge infatti all’inizio del libro:

*Desta meraviglia ciò che accade sì secondo natura, ma di cui non si scopre la causa; ed egualmente quanto prodotto contro natura, per artificio, a favore delle necessità degli uomini. In molte cose infatti la natura opera contro i bisogni dell’uomo [...] Se quindi deve essere prodotto qualcosa contro natura, ciò, a causa delle difficoltà, implica il ricorso a arti speciali. Intendiamo con il nome di meccanica quell’arte che serve alla risoluzione di tali difficoltà, secondo il detto del poeta Antifonte: “l’arte procuri la vittoria, che natura impedisce”. Appartengono a questo genere di fenomeni quelli in cui il più piccolo vince il più grande, e una modesta forza solleva pesanti carichi, e tutti gli altri problemi che chiamiamo meccanici.*

La visione della macchina come “inganno” alla natura e della sfera tecnica come regno dell’ “artificio” (da cui deriva la parola “artificiale”) fu ereditata dall’ingegneria europea. Il superamento di questa visione e l’evoluzione verso una concezione del dominio della natura come “controllo” (ossia, forzare un comportamento richiesto sulla base della conoscenza delle sue leggi) è uno degli aspetti che portarono alla nascita dell’ingegneria moderna.

Capostipite degli ingegneri del Rinascimento fu Filippo Brunelleschi (1377-1446), ricordato soprattutto come architetto di alcune delle più famose chiese dell’epoca, e che si occupò anche di progettare le macchine necessarie a tale scopo, fra cui una complicata macchina per il sollevamento. Egli non lasciò alcun testo scritto, ma si ritiene che avesse conoscenze matematiche e meccaniche (forse aveva letto Archimede) che guidarono la sua attività, come la costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze. La cultura matematica si accrebbe notevolmente nel

Rinascimento con la riscoperta dei testi greci di Euclide e Archimede. Tuttavia, forse la diffusione dell'opera di Vitruvio ostacolò quella della tradizione greca di studi matematici dei problemi tecnici, con la notevole eccezione di Leonardo da Vinci (1452-1519).

La descrizione delle proprie competenze che Leonardo da Vinci fece al duca di Milano corrisponde proprio alla figura dell'ingegnere classico che abbiamo descritto, quando affermava di poter competere con chiunque in architettura e nella costruzione dei canali, e di conoscere inoltre: un sistema per la costruzione di ponti molto leggeri, facili ad essere trasportati, la tecnica per la costruzione dei fossati e delle scale per gli assalti, la costruzione di balestre leggere di facile trasporto e in grado di lanciare materiali infiammabili; lo scavo di cunicoli allo scopo di aprire un passaggio in posti inaccessibili e di spingersi anche sotto i fiumi; la costruzione di cannoni, mortai e macchine da fuoco diversi da quelli in uso a quei tempi. Tuttavia, il pensiero tecnico di Leonardo si discosta dalla corrente generale dell'epoca, come vedremo subito. Bisogna però ricordare che egli si lamentava ugualmente della sua mancata accettazione nei circoli degli umanisti. Egli infatti scriveva:

“Sebbene, come loro, non sapessi allegare gli autori, molto più degna cosa a leggere allegando la sperienza, maestra ai loro maestri. Costoro vanno sgonfiati e pomposi, vestiti e ornati non delle loro, ma delle altrui fatiche; e le mie a me medesimo non conciedono; e se me inventore disprezzeranno, quanto maggiormente loro, non inventori ma trombetti e recitatori delle altrui opere, potranno essere biasimati” (*Codice Atlantico*, Reale Accademia dei Lincei, Roma, 1900-04, f. 117, r. b.).

Fra gli ingegneri si ritrova l'eco della tensione culturale tipica del Rinascimento, che da una parte rivalutava l'azione terrena dell'uomo e la vita pratica, e quindi anche l'attività tecnica, mentre dall'altra persisteva nella visione classica della minore dignità delle arti meccaniche, anche per influsso dell'umanesimo. Il ruolo della matematica era per lo più sottolineato nelle prefazioni dei libri, ma non si realizzava effettivamente negli studi sulla progettazione e il rendimento delle macchine o sulla statica degli edifici. Venivano compilate tavole numeriche empiriche, oppure il linguaggio della teoria delle proporzioni era usato per esprimere regole o “ricette” desunte dall'esperienza, ad esempio riguardanti le dimensioni delle armi o il rapporto tra la carica di polvere da sparo e il peso di una palla di canone, oppure per le misure dei ponti di pietra. Nel caso di Leon Battista Alberti (1404-1472), raffinato umanista, la teoria delle proporzioni era adoperata in funzione di canoni estetici che dovevano guidare la costruzione degli edifici. Ciò mostra che la matematica era considerata soprattutto una chiave della riaffermazione della dignità della tecnica.

Leonardo da Vinci, nonostante le molte competenze tecniche e le sue realizzazioni nel campo dell'idraulica, era più un teorico che un realizzatore vero e proprio di edifici e di macchine. Egli, infatti, sottolineava il valore dell'invenzione, e mostrò interesse per tutti i vari contesti dell'attività tecnica, e segnatamente per le macchine industriali – come la filatrice, i mulini e le macchine per la lavorazione del metallo – e per gli orologi meccanici. La sua affermazione del valore della matematica – era un autodidatta, ma aveva studiato matematica con il famoso Luca Pacioli (1445-1517) – come modello della vera conoscenza corrispondeva al tentativo di ottenere una conoscenza sistematica del funzionamento delle macchine, esaminando le componenti ed studiando aspetti quali la frizione e l'efficienza. I suoi studi, che sono i più significativi del periodo precedente lo sviluppo della meccanica razionale e della fisica matematica, andavano nella direzione di superare la visione della macchina come un artificio, come un inganno alla natura.



“L’oro si riscontra attraverso il fuoco, l’ingegno attraverso la matematica”: una raffigurazione nel frontespizio di un manuale tecnico pubblicato a Norimberga nel 1547.

Fra la fine del Quattrocento e il Cinquecento si ebbe una nuova fioritura della letteratura tecnica, in latino e nelle lingue volgari, scritta da autori soprattutto italiani, tedeschi, francesi che costituì una parte importante dei primi libri stampati, fra cui i *Mechanicorum librum* (1577) di Guidobaldo del Monte (1545-1607) e *Le diverse et artificiose macchine* (1588) di Agostino Ramelli (1531-1608). La tradizione dell’ingegneria classica al servizio dello Stato raggiunse il punto di maggior sviluppo nel Seicento, con l’attività di Vauban, capo del genio militare francese sotto Luigi XIV. Solo nel Settecento un insieme di fattori, quali la fine delle monarchie assolute, la filosofia dell’Illuminismo e gli ideali di riforma sociale e di diffusione dell’istruzione e, infine, lo sviluppo della meccanica e l’evoluzione del pensiero tecnico colto, portarono alla creazione dell’ingegnere moderno. Quest’evoluzione fu anch’essa indipendente dall’evoluzione dell’industria e del commercio, nella quale operarono soprattutto artigiani e tecnici: l’incontro fra l’ingegneria moderna e l’industria avvenne soltanto nell’Ottocento.

#### *L’incontro fra scienza e tecnica nella Rivoluzione scientifica*

Il sapere dell’ingegnere classico era il frutto di una lunga esperienza pratica. Esso poggiava su invenzioni e conoscenze frutto dell’ingegno e del contatto con i materiali, le sostanze o l’acqua, sviluppate secondo ragionamenti basati non su misurazioni precise ma su considerazioni del “pressappoco” (espressione del famoso storico della scienza Koyré), sul metodo della prova ed errore, sulla messa alla prova e i successivi rimaneggiamenti di metodi, procedure e oggetti artificiali. In essa vi era, quindi, una miscela di potenziale portata rivoluzionaria e di attaccamento alla tradizione. Nelle origini dell’ingegneria europea la tensione verso il rinnovamento – rappresentata da Leonardo – si accentuò, riflettendo l’apertura all’innovazione della società europea manifestatasi già nel Medioevo, ma anche l’atmosfera culturale del Rinascimento: la valorizzazione dell’impegno civile, del buon governo e dell’operosità, la ricerca di un pensiero autonomo dai timori teologici e dai divieti

ecclesiastici, il recupero di tutti gli elementi della cultura greco-latina, colmando le lacune lasciate dalla difficile trasmissione delle conoscenze in epoca medievale.

Per quanto riguarda l'ingegneria, quest'ultimo aspetto significò il recupero delle due correnti principali del pensiero tecnico colto del mondo classico, e quindi non solo quello pratico-empirico rappresentato da Vitruvio, ma anche da quello dei "meccanici" greci di epoca ellenistica, rappresentato da Archimede di Siracusa, che svilupparono la statica, l'ottica e la teoria delle cinque macchine semplici, usando il linguaggio e i concetti della geometria.

### **I meccanici greci, le macchine semplici e le origini della tecnologia**

La cultura greca, a partire dal grande slancio dei secoli VI al IV a. C., diede un grande contributo alla creazione di una riflessione teorica sul cosmo, sui fenomeni della natura, sull'uomo, sulla società, sulla conoscenza. Fra i Greci nacque la filosofia, così come anche la nostra idea di "matematica", ossia una matematica teorica che tratta oggetti (i numeri, i segmenti, i cerchi e le altre figure geometriche) che erano anche al centro della matematica pratica, ma da un punto di vista diverso, ossia ricercando – invece di conoscenze *utili* nella pratica – conoscenze *certe* la cui verità è provata da una dimostrazione geometrica.

Meno noto è il fatto che proprio in quel periodo si ebbe anche un notevole sviluppo dell'innovazione tecnica, in particolare per quello che riguarda le macchine. Come ha spiegato lo storico Bertrand Gille, le innovazioni furono legate a due attività molto apprezzate e importanti nel mondo greco: la navigazione e il teatro. Per esempio, puleggia e verricello sono due macchine semplici usate dai greci sia nelle navi, sia sul palcoscenico.

Bisogna quindi sfumare il giudizio secondo il quale i Greci, poiché accettavano la schiavitù, si disinteressarono delle tecniche che potevano agevolare il lavoro umano e quindi disprezzavano la tecnica. Piuttosto, caratteristica della cultura greca è lo sviluppo della scienza o teoria (*episteme*) autonomamente dal sapere pratico-tecnico (*techne*). Inoltre, i Greci iniziarono a fare la "teoria" della "tecnica", ossia diedero inizio alla tecnologia. A questo scopo essi si servirono del linguaggio e dei concetti della geometria. Si occuparono di questo problema già i pitagorici, e ad uno di essi, Archita di Taranto, è attribuita dalla tradizione – ma non vi sono elementi per provarlo – l'invenzione della vite. Come è caratteristico del sapere teorico greco, anche queste riflessioni furono consegnate per scritto, in trattati specialistici. Uno dei primi è la *Meccanica* pseudo-aristotelica che abbiamo citato prima, libro nel quale si tenta di considerare la bilancia e la leva da un punto di vista geometrico. Ma il vero tentativo riuscito di analizzare questo problema fu realizzato da Archimede di Siracusa (287-212 a.C.), in un'opera intitolata *Sull'equilibrio dei piani*, che forse era una parte di un più ampio trattato intitolato *Elementi di meccanica* (sull'attività di Archimede come costruttore di macchine, invece, vi sono molte leggende ma nessuna è documentata). Archimede, studiando la bilancia e la leva, si spinse oltre i problemi pratici, verso la delucidazione dei principi generali della statica, ossia la scienza dell'equilibrio dei corpi, e così nella sua opera per l'idrostatica, dal titolo *Sui corpi galleggianti*. Ebbe così inizio nel mondo greco lo sviluppo della meccanica come scienza: il progetto di una tale disciplina era stato concepito, anche se dopo Archimede non vi furono contributi teorici altrettanto elaborati.

Ad Alessandria di Egitto fiorì una scuola di studiosi di macchine e dispositivi, incluse le tecniche militari che interessavano particolarmente la corte che sosteneva la loro attività. Essi elaborarono la classificazione delle macchine in macchine semplici (cinque: leva, cuneo, vite, puleggia e verricello, alle quali si aggiunse in seguito una sesta, il piano inclinato) e macchine complesse, ossia combinazioni delle macchine semplici. Essi svilupparono i loro studi seguendo il criterio di precisione guidato dalla matematica. Il loro contributo principale, dal punto di vista tecnico, è la progettazioni di dispositivi automatici, basati sull'utilizzazione dell'acqua per comprimere l'aria (lo studio della compressibilità dell'aria si chiama «pneumatica», oggi parte della meccanica dei fluidi). A Ctesibio di Alessandria,



probabilmente vissuto nello stesso periodo di Archimede, si attribuisce la costruzione di un organo idraulico. Il suo discepolo Filone di Bisanzio scrisse un trattato intitolato *Meccanica* nel quale si occupò di macchine da guerra, della teoria della leva e di una grande varietà di macchine automatiche e automi di nessuna utilità nel lavoro bensì concepiti come giocattoli, per divertire e meravigliare.

Il più famoso e influente di questi autori fu Erone di Alessandria, autore di un trattato intitolato *Meccanica* dedicato alle macchine semplici, agli ingranaggi e alle macchine complesse e rivolto a un pubblico di artigiani e tecnici; di un libro intitolato *Dioptra* di “meccanica di precisione”, sulla costruzione e l’uso di alcuni strumenti di misura; e di un trattato di *Pneumatica* dove descrive automi e dispositivi come quelli di Filone: fontane con animali che bevono e uccelli che cantano, dispositivi automatici da usare nei templi, per aprire e chiudere le porte oppure per fare arrivare l’acqua all’entrata di un tempio. In questo libro figura persino un dispositivo che usa il vapore allo scopo di far girare una palla, ispirato ai principi che portarono alla creazione delle turbine a reazione.

La *Meccanica* pseudo-aristotelica, che era già stata tradotta al latino all’inizio del XIII secolo, fu stampata nel 1497 e tradotta e commentata da vari autori, fra cui anche Galileo Galilei (1564-1642), che nel anno 1597-98 se ne occupò nel suo corso all’università di Padova e scrisse, forse come dispense per i suoi studenti, un trattato sulla teoria delle macchine semplici intitolato *Della scienza meccanica, e delle utilità che si traggono da gl’istromenti di quella* (pubblicato a stampa soltanto nel 1634). Gli interessi di Galileo andavano però molto oltre la *meccanica come parte della tecnologia*. Egli si interessava principalmente della ricerca teorica delle leggi del moto dei corpi indipendentemente da qualsiasi considerazione di utilità, ossia della *meccanica come scienza*. Lo scopo di entrambi i filoni di ricerca sono diversi: nel primo caso, il ricercatore si prefigge un obiettivo pratico; nel secondo cerca di carpire le leggi naturali. Entrambi sono collegati fra di loro: il funzionamento delle macchine, a partire della leva e le macchine semplici, fino alle macchine composte oppure gli automi, sollecitano problemi generali sul moto; e viceversa dallo studio delle leggi del moto si può capire come funzionano le macchine e quindi come perfezionare quelle già esistenti, aumentandone il rendimento oppure come progettare delle nuove utili a certi scopi. E un analogo rapporto esiste fra l’idraulica e la meccanica dei fluidi.

La meccanica teorica greca era stata studiata, dopo la fine del mondo antico, sia dagli autori in lingua araba che dagli studiosi di lingua latina delle università europee medievali. Tuttavia, in quel periodo le ricerche di tipo teorico furono mantenute rigidamente separate dalle sollecitazioni della tecnica, e i tecnici, che non conoscevano il latino né avevano formazione matematica, ignoravano la teoria delle macchine e l’idraulica. Inoltre, nelle università medievali – ma anche nei centri di ricerca dell’islam – si studiava principalmente la fisica e la meccanica aristotelica, perché Aristotele fu il filosofo greco recuperato dalla scolastica medievale, la scuola di pensiero che perseguì una fusione fra la teologia e l’eredità classica.

Il Rinascimento portò all’interazione fra gli uomini colti e i tecnici e ingegneri; inoltre, fra gli eruditi europei – anche per reazione alla tendenza scolastica a ricondurre ogni problema all’autorità indiscussa di Aristotele oppure al dogma cristiano – fu rivalutato il pensiero di Platone e circolarono anche le correnti mistiche medievali, legate alla tradizione magica, oppure alla kabbalah ebraica. Da tutti questi fermenti filosofici emergeva una rivalutazione del ruolo della matematica nella comprensione dell’universo, e anche la convinzione che, tramite lo studio della matematica e la conoscenza approfondita dei fatti reali, esaminati attraverso la lente della matematica, l’uomo sarebbe stato in grado di decifrare i misteri dell’universo.

Gli studi di Archimede ne fornivano un esempio brillante, nel quale le conclusioni erano espresse usando il linguaggio geometrico degli *Elementi* di Euclide.

In questo ambiente si formò il giovane Galileo fra Pisa e Firenze, incoraggiato dal suo mentore, l'ingegnere Guidobaldo del Monte. Egli frequentava i luoghi di lavoro dei tecnici e si occupò della fabbricazione e del perfezionamento di strumenti come il cannocchiale oppure l'orologio. Egli però non era un tecnico o un ingegnere, bensì un filosofo della natura, e il suo principale interesse fu di andare oltre gli studi di statica, iniziando quindi lo studio dei fenomeni del moto (caduta dei gravi, il moto su un piano inclinato, moto parabolico). Egli ne ricercava le leggi espresse in termini matematici, che dovevano poi essere verificate per il tramite di un esperimento (il "cimento", nel linguaggio galileiano). Con gli studi di meccanica di Galileo inizia la creazione della scienza moderna, un processo di portata rivoluzionaria per la cultura europea noto come Rivoluzione scientifica, al quale contribuirono un gran numero di studiosi e che raggiunse il suo punto più alto con l'opera di Isaac Newton (1642-1727).

### Galileo e l'arsenale di Venezia

Nell'opera *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e i movimenti locali* pubblicata a Leida nel 1638 – nonostante il divieto della Chiesa di pubblicare le sue opere, dopo il processo intentatogli dall'Inquisizione per la sua difesa delle dottrine copernicane – Galileo si occupò di resistenza di materiali, a proposito di un problema di teoria delle macchine, della resistenza delle travi incastrate o appoggiate e soprattutto di dinamica. È molto famosa la menzione dell'arsenale di Venezia con la quale i personaggi Salviati (Galileo) e Sagredo iniziano la loro discussione sulle nuove idee meccaniche l'aristotelico Simplicio:

*Salviati: Largo campo di filosofare a gl'intelletti specolativi parmi che porga la frequente pratica del famoso arsenale di voi, Signori Veneziani, ed in particolare in quella parte che meccanica si domanda; atteso che quivi ogni sorta di strumento e di macchina vien continuamente posta in opera da un numero grande d'artefici, tra i quali e per le osservazioni fatte da i loro antecessori, e per quelle che di propria avvertenza vanno continuamente per sé stessi facendo, è forza che ve ne siano dei peritissimi e di finissimo discorso.*

*Sagredo: V. S. non s'inganna punto; ed io, come per natura curioso, frequento per mio diporto la visita di questo luogo e la pratica di questi che noi, per certa preminenza che tengono sopra il resto della maestranza domandiamo protti; la conferenza dei quali mi ha più volte aiutato nell'investigazione di effetti non solo meravigliosi ma reconditi ancora e quasi inopinabili.*

Galileo, *Opere*, a cura di S. Timpanaro, Milano-Roma, Rizzoli, 1938, vol. II, p. 83.

Un ingrediente fondamentale della Rivoluzione scientifica fu quindi l'interazione fra la nascente scienza moderna e l'antica tradizione tecnica. Dal mondo tecnico i filosofi della natura ricavarono molti problemi, dall'artiglieria, dalla navigazione e della costruzione delle navi, dalla fabbricazione delle lenti. Inoltre, i tecnici, i "meccanici" li aiutarono a costruire gli strumenti scientifici, ossia strumenti di misura attendibili, precisi e controllabili, fondamentali per l'applicazione del metodo sperimentale. Infine, le conquiste della tecnica (ben prima che i filosofi ottenessero i loro principali successi) furono alla base del loro "ottimismo", ossia della fiducia nel potere dell'uomo di capire e dominare la natura, e della loro visione dell'universo e delle sue leggi, che fu molto condizionata dall'esempio della macchina.

Viceversa, il mondo tecnico uscì profondamente trasformato dall'interazione con la nuova scienza, a partire da Nicolò Tartaglia (1500ca.-1557), da Galileo e dagli studiosi olandesi Simon Stevin (1548-1620) e Christian Huygens (1629-1695). Le opere di Tartaglia – come ha fatto vedere Koyré – mostrano che la balistica fu sviluppata sì *per* gli artiglieri e artiglieri, ma di fatto *contro* di loro, nel senso che essi avrebbero continuato volentieri a usare le loro tavole di tiro, basate sulla esperienza accumulata e abbastanza precise per i loro scopi, e che solo lentamente iniziarono a convincersi dell'utilità pratica dello studio matematico-sperimentale del moto dei proiettili. Infatti, la ricerca di precisione e di verità tipica della matematica teorica non era stata presente nel mondo terreno della tecnica, né in epoca greca, e nemmeno nel Medioevo. Fu l'influsso degli scienziati a portare nell'ambito tecnico l'aspirazione alla precisione, che diede un grande impulso all'innovazione.

### *Il valore della tecnica e il progresso del sapere*

La Rivoluzione scientifica consumò definitivamente la rottura iniziata nel Rinascimento con il pensiero medievale europeo strettamente legato alla teologia cristiana e al principio di autorità. Fu una rottura dolorosa che mise in opposizione radicale gli scienziati e le autorità della Chiesa, con i processi dell'Inquisizione, le esecuzioni, i roghi e i divieti di libri. Erano a confronto due visioni cosmologiche, e infatti il conflitto ideologico si accentrò attorno all'ipotesi eliocentrica avanzata da Copernico (1473-1543), come frutto dei suoi studi di astronomia derivati dall'autore greco Tolomeo, e a problemi come quelli sollevati da Giordano Bruno (1548-1600) sull'infinità dell'universo o la pluralità dei mondi. Ma erano anche a confronto due visioni dell'uomo: superando la visione cristiana medievale di un uomo schiacciato dal confronto con l'onnipotenza divina e tutto volto verso la vita futura nell'aldilà, nell'Europa moderna emerse una nuova consapevolezza della dignità dell'uomo, della potenza del suo sapere e del valore delle sue opere.

Questa nuova visione dell'universo e dell'uomo e il suo luogo in esso furono in parte condizionate dalla ricchezza della tradizione tecnica europea, che nel Cinquecento e Seicento erano sotto gli occhi di tutti e avevano iniziato a trasformare – anche se in modo circoscritto – la società agricola tradizionale. Essa è alla base dell'*ottimismo tecnologico* del filosofo René Descartes (Cartesio, 1596-1650), vale a dire, della sua convinzione della capacità dell'uomo di conoscere i segreti della natura terrena e di dominarla. Per lui, come per Galileo, il mondo terreno non era diverso da quello perfetto degli astri celesti. Anzi, Cartesio – che progettò una macchina per tagliare i vetri parabolici – per riferirsi al rapporto di Dio con il mondo usò la fortunata metafora del meccanico che ha costruito una macchina perfetta, anzi un orologio. Secondo i filosofi della natura, quindi, oltre all'astronomia, scienza esatta degli astri, era possibile sviluppare una fisica “razionale” esatta e anche una tecnica esatta, ossia una tecnologia. Spingendosi ancora oltre, Cartesio formulò la dottrina filosofica del *meccanicismo*, secondo la quale l'universo intero ed ogni fenomeno è assoggettato alle leggi della meccanica. Questa dottrina è stata il fondamento filosofico dello sviluppo di tutte le branche della scienza moderna, ed è anche alla base della visione dell'uomo come macchina che ha avuto lungo corso nel Novecento.

Il meccanicismo di Cartesio appartiene allo sfondo culturale della creazione della tecnologia e della sua diffusione in tutti gli ambiti della vita moderna, e ha avuto un grande influsso nel pensiero tecnico moderno. Inoltre, soprattutto in Gran Bretagna, ebbe anche un notevole influsso il pensiero di Francis Bacon (Bacone, 1561-1626), contemporaneo di Galileo, studioso di diritto e storia politica e uomo politico

sotto la regina Elisabetta I e il suo successore Giacomo I, fondatore della dinastia Stuart. Bacone esprimeva lo spirito del suo tempo opponendo la “filosofia delle parole”, ossia le infinite dispute tipiche delle università medievali da lui considerate sterili, alla “filosofia delle opere”, ossia l’atteggiamento attivo e costruttivo di fronte alla realtà tipico dei mondi tecnico, produttivo e commerciale che aveva portato tanti miglioramenti alla vita dell’uomo fin dal tardo Medioevo. La sua critica però non era solo riservata alla scolastica medievale; egli fu ugualmente critico delle grandi concezioni teoriche della filosofia greca; del pensiero del Rinascimento attratto dalla magia e dall’alchimia, perché erano saperi esoterici, ossia riservati ad alcuni eletti, che pretendevano anche di trovare chiavi universali dei fenomeni; ed infine delle azzardate teorie astronomiche e fisiche degli scienziati suoi contemporanei, che considerava elucubrazioni frutto più di ipotesi matematiche che non di una conoscenza ravvicinata dei fenomeni.

Per Bacone le *arti meccaniche* (la tecnica) erano una forma di conoscenza, anzi un modello di come procedere per carpire i segreti della natura con un atteggiamento umile e reverente di fronte ad essa. Secondo lui l’universo è un labirinto (oggi potremmo dire che è il regno della complessità), nel quale è inutile cercare di individuare leggi semplici, ordine e l’“armonia universale”; bisogna anzi liberarsi dei pregiudizi, non solo religiosi, ma anche della superstizione o dei massimi sistemi filosofici, e procedere nel sapere partendo dalla realtà, per induzione, per arrivare a individuare gli elementi essenziali dei fenomeni, che ci permettono ottenere una serie di progressive conquiste sulla natura. Un secondo pregio della tecnica era proprio che si trattava di un sapere collettivo, che cresce accumulando lentamente piccole porzioni di conoscenza ottenute da tutti i suoi cultori.

Bacone lavorò alla compilazione di un elenco sistematico della molteplicità di progressi tecnici accumulati in Europa, nell’agricoltura, la chimica, le manifatture (del vetro, della carta, della polvere da sparo e così via). Tale elenco era per lui parte della storia naturale, in quanto egli rifiutava l’opposizione tradizionale fra natura e arte, fra il naturale e l’artificiale. Egli fu un grande propagandista delle tecniche e dei servizi che esse rendevano agli esseri umani, senza nascondere che alcune (le macchine belliche, le sostanze tossiche) potevano diventare “strumenti di vizio e di morte”. Il progresso nelle condizioni di vita doveva essere il vero scopo dei sapienti. Egli dedicò la sua famosa opera *Sull’avanzamento e il progresso del sapere umano e divino* (*Advancement of learning*, 1605) al re Giacomo I, invitandolo a promuovere il sapere sviluppando quello che oggi chiameremo una “politica culturale”: sviluppo delle università, delle biblioteche, organizzazione della collaborazione fra studiosi.

Sotto la dinastia Stuart, che unificò l’Inghilterra e la Scozia, la Gran Bretagna si dotò, prima fra le monarchie europee, di un quadro costituzionale, punto di partenza di una dinamica evoluzione politica, sociale e culturale segnata da uno spirito di operosità, di tolleranza e di apertura all’iniziativa individuale. Fra i tratti che distinguono la cultura britannica (diffusa poi nei paesi dell’area culturale di lingua inglese, soprattutto negli Stati Uniti) vi sono elementi tipici del pensiero di Bacone, quali il valore concesso all’invenzione tecnica e la fiducia nelle procedure empiriche nell’acquisizione del sapere. Bacone riteneva necessaria una maturazione del metodo di lavoro empirico e dell’attività tecnica, in modo tale da superare la *experientia erratica* dei meccanici. Bisognava costituire, a partire da un insieme sparso di dati e osservazioni, un corpus sistematico di conoscenze, anche attraverso la collaborazione fra artigiani qualificati, costruttori di macchine e di strumenti e filosofi della natura e uomini colti. Quest’idea ispirò la creazione nel 1660 da parte di Robert Boyle (1627-

1691) e altri seguaci di Bacone della Royal Society, il cui più illustre presidente fu Isaac Newton.

### Lettura 3

#### Natura, tecnica e matematica fra gli ingegneri del Rinascimento

Il brano seguente è tratto dal libro Paolo Rossi, *I filosofi e le macchine (1400-1700)*, Milano, Feltrinelli, 1962 (l'ultima ristampa è del 2002, pp. 62-65). L'opera di Plutarco cui si fa riferimento è la *Vita di Marcello* (nella quale si parla di Archimede).

Nei *Mechanicorum libri* di Guidobaldo del Monte (1545-1607) pubblicati a Pesaro nel 1577, troviamo, fondata su ragioni non dissimili da quelle avanzate dall'Agricola, un'altrettanto appassionata difesa della dignità delle arti meccaniche:

*“Ma perciocché questa parola Meccaniche non verrà forse intesa da ciascheduno per lo suo vero significato, anzi troveransi di quelli che stimeranno lei essere voce d'ingiuria (solendosi in molte parti d'Italia dire ad altrui Meccanico per ischernio et villania, et alcuni per essere chiamati Ingegneri si prendono sdegno), non sarà fuor di proposito ricordare che meccanico è vocabolo onoratissimo ... convenevole ad uomo di alto affare et che sappia con le sue mani et co'l senno mandare ad esecuzione opere meravigliose a singolare utilità et diletto del vivere umano.”*

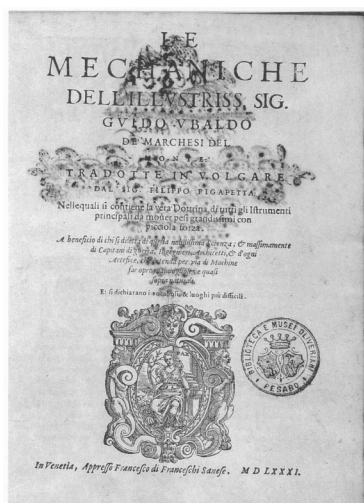
Pur rifacendosi indifferentemente sia ai problemi di meccanica pseudoaristotelici, sia ad Archimede, Guidobaldo si preoccupa di rivendicare, contro un famoso passo di Plutarco, il carattere integralmente meccanico dell'opera archimedeica:

*“Quantunque Plutarco, nella stessa vita, affermi che egli dispregiasse le Meccaniche come basse et vili et materiali, né di loro degnasse scrivere giammai, et che non per opera principale, ma per un cotal sollazzo et gioco di geometria impiegava la fatica nelle Meccaniche ... leggiamo noi tuttavia in altri autori lui avere dettato un libro della misura et proportione d'ogni maniera di vasello divinando la forma della gran nave fabricata da Hierone, et Pappo Alessandrino allega il libro della bilancia d'Archimede che è più mechanico tutto, e l'istesso, nell'ottavo delle raccolte matematiche, pone un istrumento da mover pesi mostrando essere il quarantesimo trovato da Archimede...;il suo libro su cose che igualmente pesano è tutto mechanico. Oltre a ciò una parte del libro della quadratura della parabola e il secondo delle cose che stanno sopra l'acqua, ovvero a galla, sono mechanici. Da questi luoghi vedesi espresso che non solamente Archimede fece opere mechaniche, ma ne scrisse anco molti trattati”*

Lo stesso Plutarco, del resto, ha dovuto riconoscere che la fama di Archimede è legata alle sue imprese meccaniche mediante le quali egli si procacciò fama “non di scienza umana, ma di sapienza divina”. L'errore di Plutarco deriva, ancora una volta, da pregiudizio contro le arti.

Per distruggere tale pregiudizio Guidobaldo fa notare come utilità e nobiltà concorrano insieme ad adornare le discipline meccaniche e come queste traggano

origine dall'armonico congiungimento e dalla comunione concorde della geometria e della fisica. Nella meccanica la geometria giunge a suo pieno compimento e mediante la meccanica l'uomo giunge a dominare le cose fisiche e naturali. Quanto è di aiuto agli artigiani, agli artisti, ai contadini, ai marinai: tutto ciò rientra nella meccanica. Dal suo sviluppo e dal suo progredire nel tempo son derivati all'uomo l'aratro e i mezzi di trasporto per le mercanzie, i remi e il timone, i mezzi per sollevare l'acqua e per irrigare i campi, la spremitura dell'olio e del vino, il taglio degli alberi e del marmo, le tecniche della fortificazione e dell'assedio.



Frontespizio dell'opera *Le meccaniche* (Venezia, 1581) di Guidobaldo del Monte (traduzione italiana dei *Mechanicorum libri*).

Sulla traccia delle *Quaestiones pseudoaristoteliche*, Guidobaldo concepisce la natura come una realtà che può essere dominata, quasi ingannata per astuzia dall'intelligenza e dal lavoro, fino alla realizzazione di quei “miracoli” attuati dall'arte che non rientrano nell'ordine immediatamente “naturale” delle cose:

*“L'essere mechanicò dunque et ingegniero è officio da persona degna e signorile, et mechanicò è voce greca significante cosa fatta con artificio da muovere, come per miracolo, et fuori dell'humana possanza, grandissimi pesi con picciola forza; et in generale comprende ciascun edificio, ordigno, strumento, argano, mangano overo ingegno maestrevolmente ritrovato et lavorato per cotali effetti et simili altri infiniti, in qual si voglia scienza, arte et esercitio.”*

Questa stessa concezione del rapporto arte-natura – contro la quale polemizzerà Galileo – compare anche nella prefazione premessa da Filippo Pigafetta all'edizione in volgare dell'opera di Guidobaldo, pubblicata a Venezia nel 1581. La meccanica non ha solo il compito di sforzare i corpi “per via di machine a partirsi dai propri siti” e di trasportarli “all'insù et per ogni lato in movimenti contrari alla natura loro”, essa deve occuparsi anche “degli elementi in universale et del moto e della quiete dei corpi”; si realizza in tal modo, attraverso l'opera dei meccanici, una sintesi “di altissima speculatione et di sottile manifattura”. Nella *speculatione* il meccanico si serve “dell'aritmetica, della geometria, dell'astrologia e della filosofia naturale”, nella *manifattura* egli ha necessità dell’*“esercitio et lavoro delle mani”* e userà “l'architettura, la pittura, il disegno, l'arte dei fabri, de' legnaiuoli, de' muratori et

*d'altri mestieri*". Filosofia naturale, matematiche ed arti manuali concorrono in tal modo, nell'opera del meccanico, ad un unico fine. Da *"arte povera e vile"* Archimede trasformò la meccanica in arte *"nobile et pregiata"* e ad Archimede fanno appello quanti, da Leon Battista Alberti a Giorgio Agricola a Guidobaldo hanno contribuito a *"risuscitare a chiara luce la Meccanica dalle oscure tenebre ove giaceva sepolta"*.

Le diverse et artificiose macchine di Agostino Ramelli, ingegnere del Re di Francia e di Polonia, furono pubblicate a Parigi nel 1588 in un'edizione bilingue (italiana e francese) splendidamente illustrata. Il Ramelli tiene in scarsa considerazione il problema dell'effettiva eseguibilità dei suoi complicati progetti, ma insiste anch'egli, con forza, sulla necessità di un "congiungimento" di matematica e di meccanica. Nella Prefazione all'opera, che è dedicata all'*"eccellenza delle matematiche"*, Ramelli contrappone alla varietà delle opinioni dei filosofi (*"la contesa grande fra li filosofi intorno alli principi delle cose naturali"*) la certezza e la infallibilità delle ragioni matematiche. Sui principi della natura *"a pena tre o quattro filosofi s'accordarono in tal materia, ma se dai matematici nella geometria o nell'aritmica vien con ragione confermata cosa alcuna, ciò stimiamo tanto infallibile e sicuro, come se fosse detto dall'oracolo d'Apolline"*.

Ramelli vede nell'arte meccanica la fonte del progresso umano, il segno del passaggio dallo stato primitivo allo stato civile: *"nelli stessi principi del mondo tanto fu necessaria a gli uomini, che s'essa fusse stata levata, sarè parso fusse rimasta estinta la luce del sole"*.