

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

LA MATEMATICA NELLA CULTURA E NELLA SOCIETÀ
FRA SETTECENTO E OTTOCENTO

All'inizio fu lo scriba, cap. 6

APPENDICE 4A SCIENZA, TECNICA E MATEMATICA NELLE ORIGINI DELLA CIVILTÀ INDUSTRIALE IN EUROPA

APPENDICE 4B LA SCUOLA POLITECNICA DI PARIGI, 1794

APPENDICE 4C CONDORCET E IL PROGETTO DI APPLICARE LA MATEMATICA ALLO STUDIO DELLA SOCIETÀ E DELL'ECONOMIA

BIBLIOGRAFIA

GRATTAN GUINNESS, I. (a cura di), 1994b, *Companion Encyclopaedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*, 2 voll., London, Routledge.

DIARIO DELLE LEZIONI

Lunedì 18 maggio 2009 (3 ore)

A. L'ascesa dell'Europa e l'alleanza tra la scienza matematica e i governanti illuminati (vedere Appendice 4A)

La biografia di Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) tra i potenti dell'Europa del suo tempo.

B. Alcuni problemi della matematica del Settecento

Per capire lo sviluppo della matematica e i suoi successi fra Settecento e Ottocento è importante ricordare che la ricerca matematica si collocava come un perno fra la nuova fisica (una fisica matematica, che si andava sviluppando attorno al nucleo centrale della meccanica ma che includeva idrodinamica, ottica, e poi, nell'Ottocento, acustica, teoria del calore, elettromagnetismo) e una tecnica che andava trasformandosi in tecnologia. Spesso lo stesso studioso si occupava di ricerca matematica pura, di temi fisici oppure di temi pratico-tecnici (ai quali tentava di accostarsi da un nuovo punto di vista teorico), anche se era ben presente la differenza tra questi settori della conoscenza, nei contenuti e nei metodi. Emblematica a questo riguardo fu l'attività di Euler.

Equazioni differenziali ordinarie (problemi geometrici, problemi meccanici)
1690 Jakob Bernoulli, «Acta eruditorum», il problema della catenaria

Equazioni alle derivate parziali

1746 d'Alembert, Ricerche sulla curva che forma una corda tesa messa in vibrazione

C. Vita e opere di Euler (File allegato)

Lunedì 25 maggio 2009

A. L'evoluzione delle scienze matematiche nella classificazione dell'*Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* di Denis Diderot e Jean le Rond d'Alembert (1751-1772)

Matematica pura e matematica mista nell'esposizione del sistema delle conoscenze umane contenuta nell'*Encyclopédie*: la prima si occupa della quantità astratta, mentre la seconda si articola in tante divisioni e suddivisioni quanti sono le realtà nelle quali la quantità può essere considerata.

Osservazioni sullo sviluppo dell'aritmetica, dell'algebra, della geometria e dell'analisi matematica nell'Ottocento

Osservazioni sullo sviluppo della fisica matematica attorno al nucleo centrale della meccanica. Il meccanicismo e il determinismo come metafisica della scienza classica.

B. L'Illuminismo, la creazione della modernità e il ruolo della matematica

- modernità politica: una nuova società, i diritti dell'uomo, la democrazia liberale
- modernità economica: la civiltà industriale basata sul sapere tecnologico
- modernità filosofico-culturale: la mentalità laica e il rapporto scienza-religione

La grande sintesi newtoniana ebbe una grande eco in Francia, ed rappresentò un importante elemento del movimento culturale dell'Illuminismo. Infatti, la fiducia che i filosofi illuministi riponevano nel potere della ragione per assicurare il progresso materiale e morale degli uomini poggiava in gran parte sui trionfi della scienza moderna. I principi razionali che dovevano guidare la trasformazione della società dell'*ancien régime* e la costruzione di una società giusta di uomini liberi avevano un modello nei principi matematici e scientifici. Così, ad esempio, Montesquieu descriveva i rapporti fra i poteri esecutivo, legislativo e giudiziario in termini di equilibrio, in analogia con l'equilibrio del cosmo retto dalla legge di gravitazione universale. Oltre alla diffusione delle idee scientifiche negli ambienti colti, la ricerca scientifica ebbe nel Settecento un grande sviluppo in Francia, grazie a figure come Jean-Baptiste Le Rond D'Alembert (1717-1783), Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Pierre Simon Laplace (1749-1827) e Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), il fondatore della chimica.

La Scuola Politecnica di Parigi: il progetto di formazione matematico-scientifiche delle classi dirigenti moderne (Appendice 4B)

Condorcet e il progetto della matematica sociale

C. La ricerca del rigore nell'analisi: da Cauchy all'arimetizzazione di Weierstrass. (fotocopie dei lucidi)

Appendice 4A. Scienza, tecnica e matematica nelle origini della civiltà industriale in Europa

I governi europei e “il progresso della scienza e delle arti utili”

L'inizio dell'Età moderna fu segnato dalle esplorazioni geografiche, dall'espansione del commercio e dalla creazione delle colonie europee negli altri continenti. Questi sviluppi furono accompagnati dall'evoluzione delle manifatture, le quali beneficiarono delle acquisizioni tecniche, dello spirito imprenditoriale e dal sostegno delle monarchie e di nuove soluzioni organizzative che si affiancavano a quelle tradizionali. Il ritmo di crescita era però lento, se confrontato al periodo di accelerazione vissuto durante la “rivoluzione industriale” del XVIII secolo. Dal punto di vista tecnico non vi era stato arretramento, e anzi la diffusione fra i tecnici e gli artigiani del nuovo spirito di precisione e di alcune delle nuove conoscenze meccaniche e fisiche agevolò continui progressi, ad esempio nella navigazione e nella costruzione navale, nelle armi da fuoco e nella fabbricazione delle lenti. Tuttavia, dal punto di vista economico vi era un continuo flusso e riflusso: dopo la crisi del Trecento, periodicamente altre epidemie (fra gli uomini o fra gli animali), guerre o carestie dovute a raccolti scarsi derivati anche dalle condizioni meteorologiche avverse spopolavano l'Europa; viceversa, i periodi di crescita producevano un aumento demografico che però finiva con annullare gli effetti positivi, perché l'agricoltura era poco produttiva e l'equilibrio alimentare fragile.

Questi secoli costituiscono la fase preparatoria della conquista della supremazia mondiale da parte dell'Europa, basata sullo sviluppo di un'economia industriale a base tecnologica. In quel periodo si andò consolidando il concerto delle nazioni dell'Europa occidentale, unite da un'eredità culturale comune, da progressi condivisi nelle condizioni tecniche e materiali e da una comune ambizione di dominio politico e commerciale, e divise da specificità culturali che si profilavano con chiarezza e dalla rivalità per la supremazia e per la conquista dei mari, delle terre e dei mercati. Questa fase storica fu contrassegnata da una profonda evoluzione religiosa: la “tensione verso la libertà” che abbiamo visto essere la base dell'impulso propulsivo della cultura europea si manifestò nel movimento della Riforma protestante. Si ebbe, inoltre, uno spostamento degli equilibri di potere politico ed economico europei che portò la Gran Bretagna a un dominio incontrastato e alla creazione di un immenso impero commerciale e coloniale.

Nei paesi del sud e del centro dell'Europa, e soprattutto nelle monarchie del Portogallo, Spagna e Francia, che grazie alle vittorie militari e agli imperi coloniali erano protagonisti

della scena europea, la Controriforma segnò un atteggiamento di chiusura alle novità dal punto di vista non solo religioso, ma anche culturale e sociale. Inoltre, in questi paesi – come anche nelle monarchie non cattoliche di Russia e di Prussia – questa tendenza fu rafforzata dall’assolutismo monarchico. Da un punto di vista economico, in questi paesi lo Stato sviluppò politiche protezioniste, intervenendo attivamente nella regolazione del commercio e anche nello sviluppo delle manifatture.

In Francia, sotto il governo assoluto di Luigi XIV, il Re Sole, nella seconda metà del Seicento e fino alla morte nel 1715, i suoi ministri principali, il controllore generale delle finanze Jean Baptiste Colbert e il ministro della guerra, il marchese di Louvois, portarono avanti il progetto di una gestione razionale delle attività e del territorio, ossia una gestione centralizzata ed efficiente (riorganizzazione dell’amministrazione statale e creazione di un esercito nazionale permanente) volta a semplificare la sovrapposizione di strutture tradizionali. Inoltre, sotto l’influsso del pensiero di Cartesio, nella cultura francese fra Seicento e Settecento si diffuse il coltivo della scienza e la convinzione che fosse necessario stabilire un rapporto virtuoso fra le nuove conoscenze scientifiche e il sapere tecnico, fra i *savants* (studiosi delle scienze naturali) e gli “artisti” (ossia artigiani e tecnici) e ingegneri. Una delle iniziative dell’Accademia delle Scienze (*Académie Royale des Sciences*) fondata a Parigi, sotto l’ispirazione di Colbert, nel 1666, fu un progetto di descrizione sistematica degli arti e dei mestieri, curato da René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757).

Le monarchie dell’Europa del nord, i Paesi Bassi, la Svezia e l’Inghilterra – più precisamente, la Gran Bretagna, dopo l’ascesa al trono inglese della dinastia scozzese degli Stuart, nel 1603 – aderirono prima alla Riforma protestante e si orientarono poi verso un atteggiamento tollerante in materia religiosa. Inoltre, adottarono forme temperate di monarchia, nelle quali i sudditi godevano di spazi di libertà. Si è discusso a lungo la tesi secondo la quale proprio il valore concesso alle opere dell’uomo secondo le confessioni protestanti spinse gli abitanti di questi paesi verso uno spirito d’azione e di impresa e verso la ricerca di profitto. Comunque, non vi è dubbio che soprattutto l’evoluzione della società britannica creò le condizioni per un inaudito sviluppo commerciale, industriale e tecnico. Ciò non fu senza difficoltà: un movimento rivoluzionario e una guerra civile, conclusa nel 1649 con l’esecuzione del re Carlo I, che chiuse la strada all’assolutismo; uno sviluppo progressivo della legislazione che portò alla creazione di uno stato di diritto e alla monarchia costituzionale (dal diritto di *Habeas corpus* che tutelava di fronte gli arresti arbitrari fino alla fondamentale *Bill of rights*); e infine, l’introduzione delle libertà civili (inclusa la libertà di

stampa) e, fatta salva l'esigenza di fedeltà alla Chiesa anglicana delle cariche pubbliche, la piena tolleranza religiosa, sancita da una legge del 1689.

In tal modo, nella Gran Bretagna si allentarono le rigide divisioni sociali di origine medievale, come anche il pregiudizio nei confronti del lavoro manuale e dell'abilità tecnica, e si creò un ambiente flessibile, nel quale gli individui potevano progredire nella scala sociale e i nobili non avevano difficoltà a interagire con altri gruppi sociali. Vi erano condizioni sufficienti di libertà e di speranza di guadagno per spingere le persone a intraprendere iniziative industriali o commerciali, oppure a tentare di produrre un'invenzione allo scopo di sfruttarla economicamente. A questa società dinamica, ricca e avida di idee tecniche e imprenditoriali, capace di sfruttare le ricchezze proprie e altrui (a cominciare dalla lana, dal carbone e dal cotone), si ispirarono i filosofi francesi del Settecento critici della rigidità e dell'incapacità di portare il progresso della loro società, il cosiddetto *ancien régime*. Le regole di convivenza e il regime di libertà britanniche, insieme alle riflessioni dei pensatori francesi, ispirarono poi l'ordinamento costituzionale degli Stati Uniti dopo l'indipendenza nel 1776.

Per quanto riguarda le manifatture britanniche, nel 1624 fu introdotto lo Statuto dei monopoli, che eliminò i privilegi privati di sfruttamento esclusivo di certi settori commerciali e manifatturieri. Questo regolamento, che da una parte apriva nuovi spazi di azione in opposizione alle strutture corporative di origine medievale, dall'altra proteggeva le invenzioni, poiché stabiliva come un'unica eccezione i diritti di sfruttamento per non più di 14 anni delle nuove manifatture al suo o suoi inventori (periodo esteso poi a 21 anni).

ACCADEMIE E PUBBLICAZIONI DELLA NUOVA SCIENZA

1662 Royal Society

1665 «Philosophical Transactions of the Royal Society», Londra

1665 «Journal des Sçavants», Parigi

1668 «Giornale de' letterati d'Italia», Roma

1666 Académie royale des sciences

1682 «Acta eruditorum», Leipzig

1700 Accademia reale delle scienze di Berlino

1725 Accademia delle scienze di San Pietroburgo

Il valore attribuito all'invenzione in quanto motore del progresso di una nazione moderna – insieme a quello riconosciuto alla scienza – furono recepiti nella Costituzione

degli Stati Uniti, che conferì al Congresso il potere di “promuovere il progresso della scienza e delle arti utili, assicurando per tempo limitato agli autori e inventori il diritto esclusivo dei suoi rispettiva scritti e scoperte” (art. I, sez. 8).

La creazione della fisica matematica

Nel 1687 Isaac Newton pubblicò i *Principi matematici della filosofia naturale*, nel quale presentava una descrizione in termini matematici della meccanica celeste, portando così a compimento l’ambizioso progetto intellettuale della Rivoluzione scientifica. Tutti i fenomeni del moto dei corpi terrestri e celesti erano diventati oggetto di uno studio unificato, come anche i fenomeni della luce, esaminati anche da Newton nella sua *Opticks*, pubblicata nel 1704.

Alla base di questo successo vi era un’importante novità nel campo della matematica. Infatti, mentre Copernico, Galileo e Kepler avevano a disposizione soltanto la geometria euclidea, Newton e, indipendentemente, anche Gottfried Leibniz (1646-1716), elaborarono una nuovo calcolo matematico, ossia il calcolo infinitesimale, basato sull’uso del linguaggio algebrico creato alla fine del Cinquecento e costruito proprio per esaminare i problemi del moto. Infatti, l’idea di derivata che era alla base del calcolo differenziale permetteva di calcolare tassi di variazione istantanei quali la velocità o l’accelerazione.

Oltre al calcolo differenziale furono sviluppate altre nuove teorie matematiche intimamente legate fra loro, come la teoria dei massimi e dei minimi, il calcolo integrale, la teoria delle equazioni differenziali e le equazioni alle derivate parziali, che insieme costituiscono una branca della matematica nota come «analisi matematica». Essa non soltanto si rivelò uno strumento fondamentale per lo studio del moto, ma era potenzialmente in grado di permettere la formazione di teorie scientifiche relative altri fenomeni fisici e la formulazione delle relative leggi in linguaggio matematico. Si tratta della fisica matematica, che si sviluppò insieme alla fisica sperimentale.

Nel Settecento continuarono gli studi di meccanica, relativi ad esempio a problemi come il moto della corda vibrante. L’analisi matematica fu applicata anche all’idrodinamica o meccanica dei fluidi, grazie soprattutto al lavoro di vari matematici della famiglia Bernoulli e a uno dei più grandi matematici di tutti i tempi, Leonhard Euler (1707-1783), nato a Basilea, e che lavorò presso l’Accademia Imperiale delle Scienze di San Pietroburgo. Anche se li abbiamo qualificato come matematici, questi studiosi erano ancora dei filosofi della natura, in quanto avevano un ventaglio di interessi molto ampio: l’analisi matematica (lo studio delle proprietà di oggetti matematici quali le equazioni differenziali, le serie o le funzioni), ma

anche la sua applicazione come strumento nella fisica matematica e anche nei problemi tecnici. Basta scorrere l'elenco dei lavori di Euler, per trovare, accanto a ricerche puramente matematiche e a studi molto astratti di fisica matematica o di meccanica celeste, altri riguardanti le lenti, i mulini a vento, le macchine idrauliche o le vele delle navi.

In Gran Bretagna la ricerca scientifica dopo Newton ebbe un periodo di stagnazione, dovuto a un insieme di fattori. Da un parte, vi fu il rifiuto di adoperare l'approccio al calcolo infinitesimale sviluppato da Leibniz, che si dimostrò più fertile di quello newtoniano. Dall'altra, non si sviluppò un vero interesse per la ricerca teorica, sia nella fisica, sia nell'ambito tecnico. Per quanto riguarda la fisica, una notevole eccezione è rappresentata dall'università di Glasgow: infatti, nel Settecento la Scozia conobbe una stagione di fioritura culturale di stampo illuministico.

Dalla tecnica alla tecnologia: i numeri e la matematizzazione

Nell'attività tecnica e nel sapere tecnico europeo dell'Età moderna vi furono i segni inequivocabili di una profonda trasformazione, frutto del contatto personale e del contagio intellettuale fra tecnici e filosofi della natura. Beninteso, si registrarono in quel periodo molte invenzioni tecniche in continuità con la tradizione medievale, ossia frutto dell'esperienza pratica e manuale, in particolare per quanto riguarda le varie fasi della lavorazione dei tessuti. Il ritmo serrato delle invenzioni nel settore tessile nella Gran Bretagna, soprattutto a partire del 1750, fu spettacolare. Esso può essere collegato, oltre che alle condizioni economiche, politiche e culturali generali, che facilitavano l'invenzione e la sua trasformazione in innovazione, anche all'interconnessione organizzativa fra le varie fasi del processo produttivo.

Tuttavia, in quel periodo si registra l'evoluzione verso una nuova *tecnica della precisione* nelle ricerche dei tecnici colti europei. Alcuni di essi avevano ricevuto una formazione nelle varie scuole e accademie sorte un po' ovunque fra Cinquecento e Seicento, dove si insegnava soprattutto la matematica pratica, mentre altri erano autodidatti, che si giovavano della ricca pubblicistica tecnica che circolava in Europa e degli incontri e contatti personali favoriti dalla creazione di società come la Royal Society. Tali ricerche erano guidate dall'ideale della scienza come metodo di conoscenza, anche se il loro scopo era perfezionare o progettare macchine oppure sviluppare le tecniche idrauliche o militari. Quindi, da una parte, la ricerca tecnica colta aspirava a formulare il sapere pratico in termini *matematici* – ossia sotto la forma di leggi stabilite tramite equazioni matematiche fra variabili misurabili – o quanto meno in termini *quantitativi*, ossia attraverso coefficienti numerici empirici oppure

confrontando i dati di misurazione in grafici o tabelle in modo fruibile. Dall'altra, in questo periodo si intrapresero dei progetti sistematici di raccolta di dati *sperimentali*, sentiti come controparte imprescindibili dell'*esperienza*, anche attraverso dei modelli a scala, allo scopo di ottenere conoscenze più accurate oppure per mettere alla prova delle ipotesi basate sull'*esperienza* o sull'*intuizione*.

A questo filone appartengono le innovazioni nell'ambito delle macchine o *motori* primari. In primo luogo, lo studio del funzionamento e dell'efficienza di quelli già esistenti, ossia i mulini a vento – studiati dal fiammingo Simon Stevin (1548-1620) e dal britannico John Smeaton (1724-1792) – e la ruota idraulica – studiata da Smeaton e poi da Jean Charles Borda (1733-1799) e da altri ingegneri francesi – rese possibile il loro perfezionamento. In secondo luogo, fu inventato un motore completamente nuovo, la macchina a vapore, un'idea alla quale si lavorò in molti paesi fra Seicento e Settecento, e che fu realizzata e sfruttata commercialmente da Thomas Savery (1650?-1715), Thomas Newcomen (1663-1729) e soprattutto James Watt (1736-1819).

A partire dalla Rivoluzione scientifica si è affermata, infatti, l'esigenza di fondare la conoscenza tecnica sul sapere scientifico, e anche di piegare la conoscenza tecnica alle forme di trasmissione tipiche delle discipline teoriche, quali la scrittura di manuali e la formazione dei tecnici nelle scuole. Quest'esigenza ha trovato compimento alla fine dell'Ottocento. Il passaggio dal sapere empirico al sapere teorico rivolto alle attività, alla pratica, è il passaggio dalla *tecnica* alla *tecnologia*.

I primi problemi tecnici studiati dal punto di vista teorico-scientifico furono quelli relativi alla navigazione e la costruzione di vascelli, che avevano un ruolo di primo piano nell'Europa dell'epoca: nel 1747 Euler pubblicò un'imponente monografia intitolata *Scientia navalis*, e nel 1773 un'opera più semplice e volta all'attività pratica, *Teoria completa della costruzione e della manovra dei vascelli* (pubblicata a San Pietroburgo in francese, tradotta in inglese a Londra tre anni dopo). Gli studiosi di idrodinamica si occuparono anche della ruota idraulica, sulla quale Jean-Charles Borda presentò uno studio completo all'Accademia delle Scienze di Parigi nel 1767, deducendo dalle sue equazioni un criterio per il funzionamento ottimo della ruota (“nessun impatto all'ingresso, nessuna velocità all'uscita”).

Mentre il lavoro di Smeaton si era limitato alla raccolta accurata di dati empirici relativi a grandezze tecniche misurabili, Borda seguiva una nuova metodologia più ambiziosa, articolata in varie fasi secondo il modello della conoscenza fisico-matematica: 1) la formulazione dei problemi in termini di *grandezze tecniche quantificabili* o *variabili*; 2) la sua

soluzione in termini di *leggi matematiche di variazione* espresse grazie all'analisi matematica; 3) la *verifica empirica* di tali leggi, attraverso la costruzione di modelli sperimentali a scala ridotta o no. Le fasi 1 e 2 erano basate sulle conoscenze empiriche frutto di osservazione ed esperimenti su modelli a scala, ma beneficiavano anche delle conoscenze della fisica; e le eventuali discordanze ricavate dalla fase 3 portavano anche a ritoccare la formulazione delle fasi 1 e 2.

Le grandezze tecniche erano principalmente variabili ottimizzabili e le leggi matematiche relative ad esse fornivano quindi criteri di ottimizzazione, ossia criteri per ottenere valori massimi o minimi delle variabili che rappresentavano le prestazioni migliori di un oggetto artificiale: prestazioni in termini di "operazione" o funzionamento desiderato di un vascello, di una ruota, di una macchina, oppure in termini di scelta o taglio di certi materiali, o ancora di solidità e funzionalità nella costruzione edile. Mentre lo scopo del ricercatore in meccanica razionale e in generale nella fisica era ritrovare le leggi che regolano i fenomeni naturali, lo studioso di meccanica applicata e in generale delle scienze dell'ingegnere si sforzava di "far andare le cose in un certo modo", vale a dire, *controllare* l'andamento di una situazione creata artificialmente per soddisfare certi scopi. Non *descrivere* la realtà, quindi, ma *prescrivere*, scegliendo la soluzione ottima di un problema.

Il primo tentativo di produrre uno studio teorico della macchina a vapore fu il saggio di Sadi Carnot (1796-1832), sviluppando un'analogia fra il funzionamento della ruota idraulica e quello della macchina a vapore, che era basata sulle teorie correnti della fisica sperimentale del calore come fluido (il calorico). Lo sviluppo della termodinamica come parte della fisica e della termodinamica tecnica si svolse parallelamente nell'Ottocento, seguendo le due impostazioni distinte che abbiamo descritto, anche se in interazione intellettuale.

I due Carnot, come Borda, Coulomb, Monge e Poncelet, oltre a essere ingegneri erano anche filosofi della natura, e, oltre a impostare nuovi strumenti e teorie nel campo delle scienze dell'ingegnere, condussero ricerche scientifiche nel campo della fisica, della chimica e della matematica. Tale profilo intellettuale fu frutto del nuovo modello di formazione degli ingegneri che si sviluppò in Francia nella seconda metà dell'Ottocento, con il contributo determinante di una grande figura scientifica della fine del Settecento, Gaspard Monge (1746-1818).

Le tecniche di ottimizzazione dell'analisi matematica e oltre

Durante il Settecento, l'analisi matematica ebbe un grande sviluppo e mostrò le sue potenzialità sia nella soluzione di problemi molto generali dell'astronomia e della fisica, sia in quella di problemi concreti legati alla pratica e alla tecnica.

Il concetto di derivata è molto sfaccettato. Esso si collega tipicamente all'idea di tasso di variazione, ed in particolare ai concetti meccanici di velocità e accelerazione. Tuttavia, esso è anche collegato al calcolo di massimi e minimi, vale a dire, all'idea di ottimizzazione, che è invece tipica della formulazione dei problemi tecnici. Si consideri ad esempio il problema di calcolare l'angolo di inclinazione di un canone rispetto al terreno che massimizza la gittata (ossia la distanza orizzontale percorsa). Si tratta di un problema classico di balistica, che motivò alcune fra le ricerche seicentesche che portarono allo sviluppo del concetto di derivata e del calcolo differenziale. La formulazione del problema di balistica prima citato è emblematica della conoscenza tecnica. Il tecnico non è interessato al problema del moto in generale, e nemmeno al problema del moto parabolico. Il tecnico cerca il controllo del moto in un oggetto artificiale da lui progettato (in questo caso, un'arma, il cannone). Egli tenta di piegare il mondo fisico reale alle proprie esigenze, al proprio obiettivo.

Nel Settecento la teoria dei massimi e dei minimi, e poi il calcolo delle variazioni diventarono un settore specifico dell'analisi matematica, che mantenne un rapporto privilegiato con le applicazioni: a questi studi si fa oggi riferimento parlando di *ottimizzazione classica* (che usa strumento di analisi matematica). Tuttavia l'idea di ottimizzazione si presentava allora anche in altri problemi esaminati dai matematici. Per esempio, un classico problema di geometria è il seguente: quale è la forma che racchiude in un perimetro dato la massima superficie. Oppure, lo stesso Euler considerò un problema che apparteneva al filone delle "amenità" che hanno sollevato curiosità matematica fin dal mondo antico: il problema dei ponti di Königsberg. Questo è uno dei primi problemi di ottimizzazione finita (così detta poiché non sono coinvolte grandezze misurabili con numeri reali, come nell'analisi matematica, bensì un numero finito di unità: questi sono gli studi detti oggi di *ottimizzazione combinatoria* (che usano la teoria dei grafi e la matematica discreta). Infine, alcune tecniche di *ottimizzazione algebrica* si ritrovano agli inizi dell'Ottocento nei lavori di Joseph Fourier sui poliedri. Lo sviluppo di queste ultimi due filoni si ebbe però soltanto nel Novecento, ed esse sono fra le principali tecniche matematiche della moderna ingegneria industriale.

Appendice 4B La Scuola politecnica di Parigi

L'idea che le conoscenze matematiche dovessero avere un ruolo fondamentale nella formazione dell'ingegnere risale al mondo antico, ed è alla base della creazione di scuole e accademie, da parte di privati oppure come istituzioni cittadine o statali. Gli studi teorico-matematici erano però condizionati dal ruolo generalmente accordato all'esperienza pratica e all'apprendistato. Al riguardo è illuminante la testimonianza di John Wallis (1616-1703), professore dell'università di Oxford, sullo studio delle matematiche in Gran Bretagna nel Seicento: "da noi non erano tanto materia di studi accademici, quanto piuttosto di studi meccanici; esse erano coltivate da commercianti, mercanti, navigatori, carpentieri, agrimensori e simili e forse anche da alcuni stampatori di almanacchi di Londra [...] A quell'epoca vi erano più studiosi di matematica a Londra che non nelle università" (cit. in Musson e Robinson 1969:22).

Nella Francia del Settecento vi fu una svolta da questa "cultura dell'officina" verso una "cultura di scuola", ossia una formazione professionale dell'ingegnere in vere e proprie scuole con lezioni regolari simili a quelle che si svolgevano nelle università. Fra queste lezioni vi erano molte di matematica, e questo era nel rispetto della tradizione e in continuità con il passato. Tuttavia, e questa era la seconda novità, all'interno di queste nuove scuole vi fu

un'evoluzione dallo studio della matematica pratica verso un corso di studi molto più ricco, composto dalla matematica, le scienze della natura e le scienze dell'ingegnere.

La fondazione delle scuole tecniche centrali statali era in perfetta coerenza con la creazione dei corpi degli ingegneri come organizzazioni tecnico-amministrative al servizio dello stato. Infatti, esse furono create in corrispondenza con i vari corpi, per centralizzare, indirizzare e filtrare l'ingresso dei giovani aspiranti ingegneri. Innanzitutto, furono organizzate le scuole militari, della marina, dell'artiglieria e del genio militare; fu poi creata la scuola del genio civile (*pont et chaussées*). La scuola degli ingegneri-costruttori della marina fu creata nel 1741 per completare la formazione dei giovani formati nelle scuole esistenti presso gli arsenali. La scuola degli ingegneri civili fu creata a partire dall'Ufficio centrale dei disegnatori, il cui compito era produrre una cartografia delle strade francesi, affidato nel 1747 a Perronet, nel quale i giovani aspiranti a entrare nel corpo erano istruiti secondo le forme classiche di apprendistato; ma il regolamento del 1775 prevedeva già lezioni regolari di matematica, cartografia, idraulica e disegno, e come materie facoltative chimica, fisica, idrodinamica e scienze naturali.

Molte novità emersero anche nella scuola degli ingegneri militari di Mézières, attiva dal 1748: una maggior apertura a giovani di origine non nobile, l'introduzione di un rigido esame di ingresso di matematica e l'organizzazione di corsi di lezioni teoriche di matematica e di scienza. In questa scuola si cominciò a delineare una formazione teorica e intellettuale per l'ingegnere, oltre la trasmissione di conoscenze utili, e fu creata una vera e propria struttura didattica interna. Il più famoso professore di Mézières fu Monge, che vi lavorò negli anni 1764-84. Egli sviluppò la geometria descrittiva in collegamento con la sua attività didattica nella scuola, ed in particolare con i problemi relativi alla fortificazione, al taglio delle pietre e alla carpenteria. Egli insegnò geometria, meccanica, fisica e vi introdusse infine un corso di chimica, occupandosi dell'istallazione di un laboratorio.

Nel 1783 fu creata anche la *École des mines* per la formazione degli ingegneri minerari, anch'essi raggruppati in un apposito corpo statale e ai quali fu affidata la gestione pubblica delle miniere, con competenze anche nel settore metallurgico. Le esperienze nell'ambito della formazione tecnica portarono alla creazione, nel 1794, sotto l'ispirazione di Monge e di altri scienziati che aderirono alla Rivoluzione, della *École polytechnique*, la Scuola politecnica di Parigi (chiamata all'inizio Scuola centrale dei lavori pubblici). In questa scuola si voleva centralizzare completamente a Parigi la formazione di tutti gli ingegneri, unificandola all'insegna dell'alleanza fra scienza e competenza tecnica per creare la figura di un tecnico superiore al servizio dello Stato. Tale progetto, pensato e realizzato in piena Rivoluzione, era

il frutto di decenni di riflessioni e contributi sulle scienze dell'ingegnere, ma era anche carico di valore simbolico riguardanti la nuova società che si voleva costruire. Esso svegliò infatti negli anni seguenti molte polemiche in Francia. Da una parte, vi si opponevano le singole scuole preesistenti; inoltre, attorno ad essa vi fu un intenso dibattito sul ruolo da attribuire alle conoscenze matematiche e scientifiche di per sé e ai saperi tecnico-applicativi. Mentre Monge era uno studioso molto attento alle esigenze degli ingegneri, gli insegnanti attivi all'inizio dell'Ottocento, fra cui matematici eminenti come Laplace o Augustin-Louis Cauchy (1789-1857), furono aspramente criticati dagli ingegneri. Era l'inizio di una discussione ancora oggi aperta sul rapporto fra scienza, tecnologia e matematica nella formazione degli ingegneri.

Infatti, la Scuola politecnica di Parigi rappresentò un modello internazionale, seguito da quasi tutti i paesi che, nell'Ottocento, affiancarono alle facoltà universitarie – dove si formavano medici, avvocati e funzionari dell'amministrazione – le scuole tecniche superiori o scuole di applicazione per gli ingegneri, create in tutte le grandi capitali, da Madrid a Napoli a Vienna a San Pietroburgo. Tale modello era intimamente legato allo sviluppo dell'ingegneria al servizio dello Stato, con forti connotazioni militari e patriottiche. L'accademia militare di West Point, negli Stati Uniti, fondata nel 1802, s'ispirò all'esempio francese, e persino in Gran Bretagna fu creata una *School of Militar Engineering* nel 1812 per formare gli unici ingegneri statali britannici, gli ingegneri militari. Ma soprattutto, esso veicolò internazionalmente l'immagine dell'ingegnere moderno come un professionista colto, con una solida preparazione matematica e scientifica, e con un elevato senso del proprio ruolo sociale al servizio del progresso materiale e morale del proprio paese. Tale ruolo si doveva svolgere in un paese moderno innanzitutto nelle opere civili e nelle infrastrutture, agendo per conto dello Stato, come in Francia, oppure lavorando in ambito privato, come in Gran Bretagna e negli Stati Uniti.

La forza del modello dell'*École Polytechnique* si spiega perché esso traeva le proprie radici da un'ampia riflessione portata avanti nel Settecento sul ruolo dell'istruzione pubblica, delle scienze e della tecnica nella creazione di una nuova società, più ricca, più giusta, più dinamica e portatrice di progresso. Tale punto di vista, sviluppato da intellettuali come D'Alembert o Condorcet, anch'essi studiosi di scienza e membri dell'Accademia delle Scienze, filtrò con particolare intensità nell'ambiente degli ingegneri, e li portò naturalmente a dare il proprio contributo alla Rivoluzione del 1789. D'altra parte, tipico del pensiero dell'Illuminismo era considerare la comunità degli scienziati un modello per la comunità degli uomini dotti e gli uomini di scienza (filosofi della natura, ma anche gli ingegneri-studiosi

formati nelle scuole degli ingegneri) gli esperti cui affidare la costruzione di una nuova società.

Questo ruolo di scienziati e ingegneri si espresse innanzitutto nei compiti di natura propriamente scientifico-tecnica volti a “razionalizzare” le attività, nell’ambito della Commissione per la riforma del sistema di pesi e di misura e di quella per la riforma del calendario, nelle quali partecipano molto studiosi anche di posizioni politiche moderate. Monge, fervente rivoluzionario, fu ministro di Marina per un anno e mezzo, e in tale veste firmò l’ordine di esecuzione del re Luigi XVI nel 1793. Nel periodo successivo, quando la Francia fu minacciata dalle potenze straniere, ingegneri e scienziati animarono e furono coinvolti in varie iniziative del Comitato di salute pubblica: oltre alla creazione dell’*École polytechnique*, essi furono coinvolti nell’industria di guerra (fabbricazioni dei cannoni e della polvere da sparo, costruzione di aerostati), nella quale si mostrava per la prima volta le potenzialità di applicazione di una nuova scienza, la chimica.

Alla fine del Settecento l’esperienza rivoluzionaria e lo sforzo bellico rappresentavano un campo di prova effettivo della visione “scientista”, vale a dire, quella che pone al centro della società il sapere scientifico-tecnico e ripone piena fiducia nel ruolo di guida degli esperti, ossia gli ingegneri e gli scienziati. Secondo questo punto di vista, nella scienza e nella tecnica vi sono le chiavi del progresso sociale e economico e, ancora di più, esse forniscono il modello della razionalità che deve guidare le decisioni e che rende possibile agli uomini essere padroni della realtà. Di conseguenza, in quel periodo si fece strada anche l’idea di creare dei principi scientifici relativi ai fenomeni sociali ed economici, sulla base dei quali esercitare un governo scientifico della società, in analogia con le capacità di governo dei fenomeni fisici e chimici garantiti dalle scienze naturali e dalle scienze dell’ingegnere.

Queste idee sono state alla base dello sviluppo di una scienza oggi molto solida, l’economia matematica. Esse, inoltre, hanno largo corso nel mondo d’oggi, dove la gestione sociale e economica sono considerati una vera e propria tecnologia a base scientifica. La loro affermazione non fu lineare, poiché nel corso dell’Ottocento il pensiero romantico mise in dubbio quest’impostazione radicale. Tuttavia, se lo sviluppo dell’industrializzazione in Gran Bretagna rese evidente il ruolo della tecnica nello sviluppo economico e nel potere delle nazioni, la cultura francese impose la convinzione dell’alleanza ideale e necessaria fra scienza e tecnica e creò la figura dell’uomo colto di formazione matematico-scientifica come perno della modernizzazione di un paese.

APPENDICE 4C CONDORCET E IL PROGETTO DI APPLICARE LA MATEMATICA ALLO STUDIO DELLA SOCIETÀ E DELL'ECONOMIA

Fra la fine del Seicento e l'inizio del Settecento, nel circolo culturale che girava attorno alla Royal Society fu sviluppata l'idea di considerare la realtà sociale alla stregua della realtà fisica, e quindi di condurre riguardo ai "fenomeni" sociali una raccolta sistematica di dati empirici, formulati in modo numerico e raccolti ordinatamente in tabelle o altre forme. Questa idea, presentata nell'opera *Political arithmetick* pubblicata nel 1690 dal medico e professore di anatomia dell'università di Oxford William Petty (1623-1687), insieme anche allo sviluppo delle raccolte di tavole statistiche nei regni europei, rappresentava una risposta all'esigenza di gestire le società europee sempre più complesse dal punto di vista della divisione del lavoro nelle attività produttive agricole e industriali, dell'aumento degli scambi commerciali, dello sviluppo urbano e dell'articolazione della vita politica. Alla base del benessere e la stabilità sociale e della ricchezza delle nazioni fu identificato un elemento quantificabile, la popolazione, che divenne oggetto di una nuova scienza, la demografia. A partire dalle tavole di natalità e di mortalità potevano fornire ai governanti utili strumenti per gestire la vita pubblica e orientare le loro decisioni.

L'idea di una gestione della società basata sulla ragione e volta alla felicità dei sudditi ebbe un ruolo centrale nel pensiero dell'Illuminismo e portò come conseguenza lo sviluppo delle cosiddette "scienze morali e politiche", che oggi sono chiamate scienze sociali. Oltre alla demografia, si delineò allora una nuova scienza, l'economia politica. Il dinamismo della produzione e del commercio europeo, il superamento dei semplici obiettivi di sopravvivenza della popolazione e l'avvento del mercato al quale si rivolgeva la produzione agricola e industriale faceva emergere molti problemi quali la politica monetaria e fiscale, le operazioni di banche e le assicurazioni o l'evoluzione dei prezzi, che sollecitavano una riflessione teorica specifica, diversa da quella, più antica, riguardanti i sistemi politici e le forme di governo.

La nascita delle scienze sociali si colloca quindi sotto l'influsso del modello epistemologico di successo delle nuove scienze naturali, che sostenne la fiducia degli intellettuali nell'utilità e nella rilevanza di una ricerca sistematica che adoperassi una metodologia diversa e rinnovata rispetto ai tradizionali metodi di indagine storica e filosofica. Vi furono però molte discussioni riguardanti proprio la metodologia, ed in particolare l'opportunità e l'interesse dell'uso della matematica.

Le ricerche di uno dei fondatori dell'economia politica, Adam Smith (1723-17), professore all'università di Glasgow, contenute nel suo libro *Indagine sulla natura e le cause*

della ricchezza delle nazioni (1776), furono condotte con una metodologia storica e in risposta a preoccupazioni di filosofia morale, tipiche del pensiero illuministico scozzese. Infatti, Smith si occupò nei suoi primi lavori dei problemi introdotti da David Hume (1711-1776) nel suo libro *Treatise of human nature*, dedicandosi nel seguito al problema delle basi della coesione e dell'organizzazione sociale. In Smith – come negli illuministi francesi con i quali ebbe molti contatti – la riflessione teorica era collegata direttamente all'arte del governare, ossia a problemi quali l'amministrazione della giustizia, la raccolta delle imposte oppure la libertà di commercio. Oltre alla storia, la dinamica vita economica e politica della Gran Bretagna fornì molti spunti al suo lavoro. All'inizio della sua opera fa riferimento dettagliato ai progressi nella meccanizzazione dell'industria e alle varie origini delle invenzioni, sia quelle ottenute dai tecnici nei modi tradizionali, sia grazie al lavoro dei filosofi della natura: egli poté vedere all'opera i suoi colleghi a Glasgow, discutendo con Watt della macchina a vapore. Smith lavorò come consulente del governo dopo la pubblicazione della sua opera.

In Francia la tradizione dell'aritmetica politica ebbe particolare accettazione fra scienziati e ingegneri, e si evolse verso un'impostazione più ambiziosa. Il marchese di Condorcet (1743-1794), un brillante matematico, convinto sostenitore della rivoluzione, che difese con forza il ruolo dell'istruzione nel progresso sociale, formulò in quel periodo il progetto di una nuova disciplina, da lui chiamata «matematica sociale», contenuto in un lavoro intitolato *Tavola generale di una scienza che ha per oggetto l'applicazione del calcolo alle scienze politiche e morali* (1793). All'interno di questa scienza si collocava, dal suo punto di vista, l'economia politica, insieme a molti altri temi come ad esempio la presa delle decisioni nelle assemblee e nei tribunali. Fra gli strumenti matematici che potevano essere applicati in questo campo vi era una branca della matematica nuova, il calcolo delle probabilità, considerata ancora da tutti un sapere di minor rigore e importanza del resto della matematica, anche per i problemi filosofici legati alla definizione stessa di probabilità. Questo progetto scientifico andava oltre l'idea di introdurre la *quantificazione* dei fenomeni umani e sociali, ossia di raccogliere ed elaborare i dati empirici numerici, e aspirava a sviluppare una vera e propria *matematizzazione*, ossia ad individuare le leggi matematiche di tali fenomeni, dai quali desumere poi criteri di regolamentazione o di decisione.

Inoltre, fra gli ingegneri statali francesi, militari e civili, iniziò un'elaborazione teorica relativa a problemi non strettamente tecnici, ossia gli aspetti operativi e la gestione dei costi legati alla conduzione dei progetti di ingegneria (fortificazioni, opere pubbliche) per conto dello Stato, nei quali essi erano coinvolti non soltanto come tecnici superiori ma anche come

funzionari della pubblica amministrazione e quindi portatori di un'esigenza di efficienza in rapporto alla finanza pubblica. Non si trattò di un lavoro sistematico, bensì di un insieme di contributi singoli in gran parte isolati, alcuni condotti con tecniche matematiche. Si tratta comunque di riflessioni in un terreno interdisciplinare, fra ingegneria, economia e scienze sociali. Essi mostrano l'emergere di un nuovo tipo di problemi che diventerà centrale per gli ingegneri al servizio dell'iniziativa privata nell'Ottocento: divisione del lavoro, organizzazione delle attività, ottimizzazione delle risorse e dei costi.

Le discussioni sull'utilità e sull'opportunità di applicare la matematica, oltre i fenomeni fisici, a questioni che riguardano l'uomo (e quindi la libertà umana) e la vita associata erano dovute al rifiuto di molti di trasferire in questo ambito la metodologia della fisica, anzi della meccanica, la scienza più matura, che fu il modello di sviluppo di tutte le altre parti della fisica e della chimica. Aveva senso, infatti, andare alla ricerca di rigide leggi matematiche riguardanti fenomeni nei quali interviene la libertà umana? Questo interrogativo fu alla base della crisi del progetto di Condorcet all'inizio dell'Ottocento: significativamente, nel 1803 Napoleone – che si era formato come ufficiale dell'artiglieria e conosceva e amava la matematica – arrivò a chiudere la sezione di scienze morali e politiche dell'Istituto di Francia (l'istituzione che aveva rimpiazzato l'Accademia delle Scienze sull'ondata della Rivoluzione) dove si erano diffuse queste idee considerate perniciose, in particolare in un gruppo di pensatori noti come “idéologues”.

Fra i matematici, all'interesse settecentesco per l'applicazione della matematica al di fuori dei fenomeni fisici si sostituì un rifiuto generalizzato, del quale è emblematico il grande Laplace, che pure aveva dato un grande contributo al calcolo delle probabilità. Invece, fra gli ingegneri rimase vivo l'interesse per lo studio matematico dei problemi sociali. Fra i pionieri dell'economia matematica vi sono due ingegneri di *ponts et chaussées*: Achylle-Nicolas Isnard (1749-1803), autore del *Trattato delle ricchezze* (1781, pubblicato anonimamente) e Jules Dupuit (1804-1866), autore dell'articolo *Sulla misura dell'utilità nei lavori pubblici* (1844) pubblicato sulla rivista «Annales de ponts et chaussées».