

Thomas S. Kuhn

La tensione essenziale

Cambiamenti e continuità nella scienza



Titolo originale *The Essential Tension*

Copyright © 1977 The University of Chicago

Copyright © 1985 Giulio Einaudi editore s.p.a., Torino
Traduzione di Mario Vadacchino

Il saggio *La nozione di causalità nello sviluppo della fisica*
è tradotto da Alberto e Giuliana Conte

Il saggio *Logica della scoperta o psicologia della ricerca?*
è tradotto da Giulio Giorello

ISBN 88-06-58396-4

MB

avanzamento. Lo sviluppo della scienza permette la spiegazione di fenomeni sempre più raffinati. Tuttavia, soltanto i fenomeni, e non le spiegazioni, lo sono chiaramente di più. Fatta astrazione dalla teoria all'interno della quale essa funziona, la gravitazione è soltanto diversa da una tendenza innata verso il centro e la nozione di campo è soltanto diversa da quella di forza. Considerati in se stessi come mezzi di spiegazione, senza riferimento a ciò che le teorie che li assumono possono spiegare, i punti di partenza ammessi per una spiegazione fisica non sembrano intrinsecamente più avanzati rispetto a un'epoca più o meno recente. C'è anche un senso per il quale le rivoluzioni dei procedimenti esplicativi potrebbero essere regressive. Sebbene l'evidenza sia ben lontana dall'essere conclusiva, ciò suggerisce che la scienza sviluppandosi usa nelle sue spiegazioni un numero sempre maggiore di modelli irriducibilmente distinti. Dal punto di vista della spiegazione, la semplicità della scienza è andata decrescendo nel corso della storia. L'esame di questa tesi richiederebbe un altro saggio, ma la possibilità stessa di prenderla in considerazione può portare a una conclusione sufficiente. Studiate in se stesse, le idee di spiegazione e di causa non evidenziano sufficientemente quel progresso della conoscenza che è chiaramente rivelato dalla scienza da cui essa deriva.

III.

Tradizioni matematiche e tradizioni sperimentali
nello sviluppo delle scienze fisiche *

Chiunque studi la storia dello sviluppo scientifico si imbatte ripetutamente in una domanda, che potrebbe essere espressa nella forma «Le scienze sono molte o una sola?» Generalmente questa domanda nasce da problemi concreti di organizzazione descrittiva, e questi divengono particolarmente severi quando si chiede allo storico della scienza di passare in rassegna in una conferenza od in un libro di ampia prospettiva i suoi temi. Deve considerare le scienze una alla volta, cominciando ad esempio con la matematica, passando alla astronomia, quindi alla fisica, alla chimica, alla anatomia, alla fisiologia, alla botanica e così via? O deve respingere l'idea che il suo argomento sia un resoconto composto di discipline individuali e considerare invece che sia la conoscenza della natura *tout court*? In questo caso, egli è obbligato, per quanto è possibile, a considerare insieme tutti gli argomenti scientifici, esaminare ciò che gli uomini conoscevano della natura in ciascun periodo di tempo, ed individuare le modalità con le quali mutamenti nel metodo, nel clima filo-

* Questo saggio è la versione riveduta e ampliata di una conferenza in onore di George Sarton tenuta a Washington (D.C.), nel 1972 durante una sessione congiunta dell'American Association for the Advancement of Science e della History of Science Society. Una versione preliminare era stata letta alla Cornell University durante il mese precedente. Nei tre anni trascorsi da allora ho tratto giovamento dai commenti di colleghi troppo numerosi per essere citati. Alcuni debiti particolari saranno riconosciuti nelle note che seguono. Qui riporto soltanto i miei ringraziamenti per l'incoraggiamento ed il contributo alla chiarificazione fornito, durante la revisione, da due storici, i cui interessi coincidono in parte con i miei: Theodore Rabb e Quentin Skinner. La versione che ne è derivata fu pubblicata in traduzione francese nelle «Annales», 30 (1975), pp. 975-98. Un certo numero di ulteriori variazioni, per la maggior parte di minor importanza, è stata aggiunta alla versione inglese.

sofico, o più ampiamente nella società influenzarono il corpo delle conoscenze scientifiche considerate in blocco.

Con una descrizione più sfumata, entrambi gli approcci possono essere considerati modalità storiografiche di lunga tradizione ed in generale non comunicanti¹. Il primo, che tratta la scienza al più come un insieme scarsamente connesso di scienze separate, è anche caratterizzato dall'insistenza di coloro che lo praticano per un esame accurato dei contenuti tecnici, sia sperimentali che teorici degli aspetti passati della specializzazione particolare che considerano. Questo è un notevole merito, poiché le scienze sono tecniche, ed una storia che trascuri i suoi contenuti spesso ha a che fare con una attività completamente diversa, talvolta fabbricandola allo scopo. D'altro canto, gli storici che hanno inteso scrivere la storia di una specializzazione tecnica hanno in generale fatto l'ipotesi che i confini del loro argomento fossero quelli definiti dai manuali recenti delle corrispondenti discipline. Se, per esempio, il loro argomento è l'elettricità, allora la loro definizione di un effetto elettrico assomiglierà spesso molto strettamente a quella fornita dalla fisica moderna. Con questa definizione in mano essi sono in grado di analizzare le fonti antiche, medievali o della prima età moderna alla ricerca delle opportune referenze e ne deriva talvolta una documentazione impressionante dell'accumularsi graduale della conoscenza della natura. Ma questa documentazione è tratta da

¹ Per una discussione un poco più ampia di questi due approcci si veda KUHN, *La storia della scienza*, in *International Encyclopedia of the Social Science*, vol. 14, New York 1968, ora in questo volume, pp. 115-38. Si noti anche il modo con il quale la distinzione tra essi approfondisca ed offuschi la distinzione, ora di gran lunga più nota, tra sostenitori dell'approccio interno e sostenitori dell'approccio esterno alla storia della scienza. Praticamente tutti i sostenitori dell'approccio interno si dedicano ad una singola scienza o ad un insieme strettamente collegato di idee scientifiche; i sostenitori del secondo tipo di approccio appartengono quasi invariabilmente al gruppo che ha considerato le scienze come unitarie. Ma le etichette «internista» ed «esternista» non sono più molto adatte. Coloro che si sono dedicati essenzialmente ad una singola scienza, ad esempio Alexandre Koiré, non hanno esitato ad attribuire un ruolo significativo per lo sviluppo scientifico alle idee extrascientifiche. Ciò cui si sono opposti principalmente è l'attenzione per i fattori socioeconomici ed istituzionali così come sono trattati da autori come B. Hessen, G. N. Clark e R. K. Merton. Ma questi fattori non intellettuali non sempre sono stati valorizzati molto da coloro che considerano le scienze come unitarie. Il dibattito «internisti-esternisti» si svolge quindi frequentemente su argomenti diversi da quelli suggeriti dal nome, e la confusione che ne deriva è talvolta dannosa.

libri eterogenei e manoscritti descrivibili di solito come lavori di filosofia, di letteratura, di storia, di religione o di mitologia. Un resoconto di questo genere nasconde così in modo caratteristico il fatto che la maggior parte dei temi raggruppati come «elettrici» — per esempio, il lampo, il comportamento dell'ambra, e la torpedine (l'anguilla elettrica) — non erano in generale considerati, durante il periodo dal quale è tratta la loro descrizione, essere in rapporto fra loro. Si possono leggere questi resoconti con cura senza scoprire che i fenomeni ora chiamati «elettrici» non costituiscono una unica materia prima del XVII secolo e senza trovare cenni anche rari su che cosa credè allora questa disciplina. Se uno storico ha a che fare con attività che esistono nel periodo nel quale vive, allora le relazioni tradizionali dello sviluppo delle singole scienze sono spesso profondamente antistoriche.

Nessuna critica di questo tipo può essere rivolta all'altra principale tradizione storiografica, quella che tratta la scienza come una attività unica. Anche se l'attenzione è concentrata su di un secolo o su di una nazione ben definiti, l'oggetto di questo ipotetico compito si dimostra troppo vasto, troppo legato ai dettagli tecnici, e complessivamente, troppo disperso per essere chiarito da analisi storiche. A dispetto degli omaggi formali a classici come i *Principia* di Newton o *L'Origine* di Darwin, gli storici che considerano la scienza come unica hanno fino ad ora dedicato poca attenzione ai contenuti in evoluzione, concentrandosi invece sulle mutevoli condizioni intellettuali, ideologiche e istituzionali, entro le quali la scienza si è sviluppata. Il contenuto tecnico è quindi irrilevante per il loro argomento, ed i lavori da essi prodotti, specialmente negli ultimi decenni, sono stati squisitamente storici e talvolta altamente chiarificatori. Lo sviluppo delle istituzioni scientifiche, dei valori, dei metodi e delle visioni del mondo è chiaramente di per sé un argomento che merita una ricerca storica. L'esperienza suggerisce tuttavia che non è affatto così coincidente con lo studio dello sviluppo scientifico come coloro che lo praticano hanno in generale supposto. La relazione tra l'ambiente extrascientifico da un lato, e lo sviluppo delle specifiche teorie ed esperienze scientifiche, dall'altro ha dimostrato di essere indiretta, oscura e controversa.

Per una comprensione di quella relazione, la tradizione

che considera la scienza come un tutt'uno non può per principio dare alcun contributo, poiché si nega come *presupposto* l'accesso a fenomeni dai quali deve dipendere lo sviluppo di questa comprensione. Gli impegni sociali e filosofici che hanno favorito lo sviluppo di un settore particolare in un certo periodo di tempo, lo hanno talvolta frenato in altri momenti; se si fissa il periodo di interesse, allora le condizioni che favoriscono l'avanzamento di una scienza spesso sembrano essere state sfavorevoli per un'altra². In questa situazione gli storici che desiderano chiarire il reale sviluppo scientifico dovranno occupare un difficile spazio intermedio tra le due alternative tradizionali. Essi non possono cioè, supporre che la scienza sia una, poiché chiaramente non lo è. Ma d'altro canto essi non possono dare per scontate le suddivisioni dell'argomento incorporate nei manuali contemporanei e nella organizzazione dei dipartimenti delle attuali università.

I manuali e l'organizzazione istituzionale sono indici utili delle ordinarie suddivisioni che lo storico deve prendere in considerazione, ma essi devono essere quelle del periodo che egli studia. Insieme ad altra documentazione, essi possono allora fornire perlomeno una lista preliminare dei vari settori della pratica scientifica in un certo momento. La sistemazione di questa lista è, tuttavia, soltanto la fase iniziale del compito dello storico, poiché egli ha bisogno anche di sapere qualche cosa sulle relazioni tra le aree di attività che ha scelto, indagando per esempio il grado di interazione tra di esse e la facilità con la quale l'esperto può passare da una all'altra. Indagini di questo tipo possono gradualmente fornire uno schema generale della complessa struttura dell'attività scientifica del periodo prescelto, ed uno schema di questo tipo è un prerequisito per una analisi delle complesse influenze dei fattori extrascientifici, sia intellettuali che sociali, sullo sviluppo delle scienze. Ma uno schema strutturale da solo non è sufficiente. In quanto gli effetti da esaminare variano da settore a settore, lo storico che desidera comprenderli deve anche esaminare parti significative di attività tecniche, talvolta recondite, nel settore o nei settori che gli interessano.

² Su questo punto si veda, oltre al materiale riportato sotto, KUHN, *Scientific Growth: Reflection on Ben-David's «Scientific Role»*, in «Minerva», 10 (1972), pp. 166-78.

Sia nella storia che nella sociologia della scienza, la lista degli argomenti che possono essere utilmente studiati, trascurando il contenuto delle scienze attinenti, è estremamente breve.

La ricerca storica del tipo qui richiesto, è appena cominciata. La mia convinzione che il suo proseguimento sarà fruttuoso deriva, non da un nuovo lavoro, ma da ripetuti tentativi come insegnante di sintetizzare i prodotti, a quanto pare inconciliabili, delle due tradizioni non comunicanti appena descritte³. Inevitabilmente, tutti i risultati di questa sintesi sono sperimentali e parziali, e regolarmente forzano e talvolta superano le divisioni dell'attuale sapere. Tuttavia, una presentazione schematica di un gruppo di questi risultati può essere utile per illustrare ciò che ho in mente quando parlo delle mutevoli ordinarie divisioni tra le scienze ed anche illustrare i vantaggi che si possono ottenere da una più profonda attenzione ad esse. Una conseguenza di una versione più sviluppata della posizione che sarà oltre esaminata potrà essere una riformulazione dai fondamenti di un dibattito già annoso sulle origini della scienza moderna. Un'altra potrebbe essere l'individuazione di una importante novità che, durante il XIX secolo, contribuì a formare la disciplina della fisica moderna.

³ Questi problemi di sintesi risalgono ai primissimi tempi della mia carriera, quando essi prendevano due forme che inizialmente parevano completamente distinte. La prima, abbozzata nella nota 2, era come rendere gli interessi socio-economici pertinenti per le narrazioni riguardanti lo sviluppo delle idee scientifiche. La seconda, culminata nella pubblicazione del mirabile e autorevole *Origins of Modern Sciences*, London 1949 [trad. it. *Le origini della scienza moderna*, Il Mulino, Bologna 1962] di Herbert Butterfield, riguardava il ruolo del metodo sperimentale nella rivoluzione scientifica del XVII secolo. I primi quattro capitoli del libro di Butterfield spiegano in modo convincente la principale trasformazione concettuale verificatasi all'inizio delle scienze moderne come «dipendente non da nuove osservazioni o da ulteriori prove, ma dal sorgere di concezioni diverse dalle precedenti nelle menti degli stessi scienziati... [dal loro] assumere una diversa struttura mentale» (p. 7). I due capitoli successivi, *Il metodo sperimentale nel XVII secolo* e *Bacone e Cartesio*, forniscono trattazioni più tradizionali dei loro argomenti. Per quanto appaiono ovviamente pertinenti per lo sviluppo scientifico, i capitoli che li trattano contengono poco materiale effettivamente utilizzato in altre parti del libro. Una causa di ciò, come ho capito tardi, fu il tentativo di Butterfield, specialmente nel capitolo *Tarda affermazione della rivoluzione scientifica nel campo della chimica*, di assimilare le trasformazioni concettuali della scienza del Settecento al medesimo modello (non nuove osservazioni, ma una nuova struttura mentale) che aveva avuto un successo così brillante per il Seicento.

Le scienze fisiche classiche.

La mia argomentazione principale può essere introdotta con una domanda. Tra il gran numero di temi ora compresi nelle scienze fisiche quali erano già, nell'antichità, punti focali della attività continuativa degli esperti? La lista è estremamente breve. L'astronomia è la sua componente più antica e sviluppata; durante il periodo ellenistico, quando la ricerca in questo campo si sviluppò fino ad un livello mai toccato in precedenza, ad essa si aggiunse una ulteriore coppia, l'ottica geometrica e la statica, che comprendeva l'idrostatica. Questi tre argomenti — astronomia, statica ed ottica — sono le uniche parti delle scienze fisiche che, durante l'antichità, divennero oggetto di una tradizione di ricerca caratterizzata da vocabolari e tecniche inaccessibili al profano e quindi da un corpo di letteratura diretto esclusivamente ai praticanti. Anche oggi sia *I corpi galleggianti* di Archimede che l'*Almagesto* di Tolomeo possono essere letti solo da chi ha una capacità tecnica matura. Altri argomenti che, come il calore e l'elettricità, dovevano essere inclusi più tardi nelle scienze fisiche, rimarranno durante l'antichità semplicemente classi interessanti di fenomeni, argomenti per rapide citazioni o per il dibattito e la speculazione filosofica (gli effetti elettrici, in particolare, erano divisi tra diverse di tali classi). Il fatto di essere riservati agli iniziati non garantisce, naturalmente, un progresso scientifico, ma i tre settori sopra ricordati avanzano secondo modalità che richiedevano la conoscenza esoterica e tecnica responsabile del loro isolamento. Se inoltre, l'accumularsi di soluzioni concrete e a quanto pare definitive dei problemi è una misura del progresso scientifico, questi campi sono le sole parti di ciò che doveva diventare scienza fisica nei quali vi fu nell'antichità un innegabile progresso.

A quel tempo, tuttavia, queste tre materie non erano praticate da sole, ma erano invece strettamente collegate con altre due — la matematica e l'armonia¹ — non considerate più

¹ Henry Guerlac per primo insistette con me sulla necessità di includere la teoria della musica nel gruppo delle scienze classiche. Il fatto che abbia inizialmente ommesso una disciplina non più considerata scienza, mostra quanto sia facile trascurare la validità dei precetti metodologici esposti nelle mie pagine iniziali. L'armonia non era, tuttavia, per nulla la disciplina che

in genere come scienze fisiche. Di queste due, la matematica era persino più antica e sviluppata dell'astronomia. Dominata, dal v secolo a. C., dalla geometria fu concepita come la scienza delle quantità fisiche reali, particolarmente quelle spaziali, e pesò molto nel determinare le caratteristiche delle altre quattro raggruppate intorno a lei. L'astronomia e l'armonia trattavano rispettivamente di posizioni e di rapporti, ed esse erano quindi matematiche in senso stretto. La statica e l'ottica geometrica, traevano concetti, diagrammi e vocabolario tecnico dalla geometria, e condividevano con questa una struttura logica generalmente deduttiva comune sia alla esposizione che alla ricerca. Non è sorprendente, in queste circostanze, che uomini come Euclide, Archimede e Tolomeo, che dettero contributi ad uno di questi settori, quasi sempre dettero contributi significativi anche agli altri. Qualche cosa di più del livello di sviluppo fece così delle cinque un raggruppamento naturale, e lo tenne separato dalle altre specialità altamente sviluppate dell'antichità, come l'anatomia e la fisiologia. Praticate da un singolo gruppo, e partecipanti ad una comune tradizione matematica, l'astronomia, l'armonia, la matematica, l'ottica e la statica sono qui raggruppate insieme come scienze fisiche classiche o più semplicemente come le scienze classiche². Infatti, anche l'elencarle come argo-

ora chiamiamo teoria della musica. Era invece una disciplina matematica che assegnava le proporzioni numeriche ai vari intervalli delle varie scale greche o toni. Poiché ve ne erano sette, ciascuna disponibile in tre generi ed in quindici toni o chiavi, la disciplina era complessa, in quanto la determinazione di alcuni intervalli richiedeva numeri di quattro o cinque cifre. Poiché soltanto gli intervalli più semplici erano sperimentalmente disponibili come rapporti di lunghezze di corde vibranti, l'armonia era anche argomento di alta astrazione. La sua relazione con la pratica musicale era al più indiretta, e resta poco chiara. Storicamente, l'armonia data dal v secolo a. C. e fu altamente sviluppata al tempo di Platone ed Aristotele. Euclide è una tra le numerose personalità che scrissero trattati di armonia, e la cui opera fu poi largamente superata da quella di Tolomeo, fenomeno questo comune anche in altri campi. Per queste note descrittive e per quelle della seguente nota 5, sono ampiamente debitore di molte discussioni chiarificatrici con Noel Swerdlow. Prima che esse avvenissero non mi sentivo in grado di seguire i consigli di Guerlac.

² L'abbreviazione «scienze classiche» può essere fonte di confusione, poiché l'anatomia e la fisiologia furono anche nell'antichità classica scienze altamente sviluppate, ed esse condividono alcune, ma non assolutamente tutte, le caratteristiche di sviluppo che qui vengono attribuite alle scienze fisiche classiche. Queste scienze biomediche fecero tuttavia parte di un secondo gruppo classico, praticato da un gruppo distinto di individui, la maggior parte dei quali era strettamente associata con la medicina e con le isti-

menti distinti è in certa misura anacronistico. Le prove che saranno esposte dopo esprimono il fatto che, da alcuni punti di vista significativi, esse possono meglio essere descritte come una singola disciplina, la matematica.

Per l'unità delle scienze classiche si ipotizza anche un'altra caratteristica comune ed essa giocherà un ruolo particolarmente importante nel bilancio di questo lavoro. Quantunque tutti e cinque i campi, compresa la matematica antica, fossero empiriche piuttosto che *a priori*, il loro sviluppo considerevolmente antico richiedeva poca osservazione raffinata ed ancora meno esperimento. Per una persona istruita a trovare la geometria nella natura, poche osservazioni relativamente accessibili e prevalentemente qualitative di ombre, specchi, leve e del moto delle stelle e dei pianeti fornivano una base empirica sufficiente per la elaborazione di teorie spesso potenti. Apparenti eccezioni a questa ampia generalizzazione (sia le osservazioni astronomiche sistematiche nell'antichità che le esperienze e le osservazioni sulla rifrazione e sui colori del prisma fatte nell'antichità e nel medioevo) rafforzeranno solo la mia argomentazione centrale quando sarà esaminata nel paragrafo successivo. Per quanto le scienze classiche (compreso, da un importante punto di vista, la matematica) fossero empiriche, i dati che il loro sviluppo richiedeva erano di un tipo che l'osservazione quotidiana, talvolta modestamente raffinata e sistematizzata, potevano fornire³. Questo è uno tra i motivi per i quali questo gruppo di discipline poté avanzare così rapidamente in circostanze che

tuzioni mediche. A causa di questa e di altre differenze, i due gruppi non possono essere trattati insieme, ed io mi limito qui alle scienze fisiche in parte per ovvie ragioni di competenza ed in parte per evitare eccessive complessità. Si vedano tuttavia le note 3 e 6 più sotto.

³ Dati elaborati e perfezionati divennero in genere disponibili solo quando la loro raccolta obbediva ad una sentita funzione sociale. Il fatto che l'anatomia e la fisiologia, che richiedevano tali dati, fossero altamente sviluppate nell'antichità deve essere una conseguenza della loro evidente attinenza alla medicina. Il fatto che anche questa attinenza fosse spesso posta in discussione con veemenza (dagli Empiristi!) dovrebbe spiegare la relativa povertà, fatta eccezione che in Aristotele ed in Teofrasto, di dati antichi applicabili ai più generali interessi tassonomici, comparativi e di sviluppo fondamentali per le scienze della vita a partire dal XVI secolo. Delle scienze fisiche classiche, solo l'astronomia richiese dati di evidente utilizzo sociale (calendari e dal II secolo a. C., oroscopi). Se le altre scienze fossero dipese dalla disponibilità di dati perfezionati, esse non sarebbero avanzate probabilmente molto di più di quanto non avanzò lo studio di argomenti come il calore.

non promossero significativamente l'evoluzione di un secondo gruppo naturale, quello cui si riferisce il mio titolo come i prodotti di una tradizione sperimentale.

Prima di esaminare questo secondo gruppo, consideriamo brevemente le modalità con le quali il primo si sviluppò, dopo la sua nascita nell'antichità. Tutte e cinque le scienze classiche furono attivamente coltivate dal IX secolo nell'Islam, ad un livello di competenza tecnica spesso confrontabile con quello dell'antichità. L'ottica avanzò in modo notevole, ed il centro di interesse della matematica fu in alcuni luoghi modificato dall'immissione delle tecniche algebriche e da interessi non ordinariamente tenuti in considerazione nell'ambito della tradizione geometrica ellenistica dominante. Nell'occidente latino, dal XIII secolo, ulteriori elaborazioni tecniche di questi campi genericamente matematici furono subordinate ad una tradizione dominante prevalentemente filosofica-teologica, essendo riservate le innovazioni importanti essenzialmente all'ottica ed alla statica. Parti significative del corpo della matematica e dell'astronomia antiche e dell'Islam furono tuttavia conservate e talvolta studiate per il loro interesse, sino a che esse non divennero di nuovo oggetto di una continua ricerca erudita in Europa durante il Rinascimento⁴. Il gruppo delle scienze matematiche allora ricostituite assomigliava strettamente al suo progenitore ellenistico. Per quanto questi campi fossero praticati durante il XVI secolo, tuttavia, la ricerca su di un sesto argomento fu sempre più associata ad essi. In parte come risultato della analisi scolastica del XIV secolo, l'argomento del moto locale fu separato dal problema filosofico tradizionale del mutamento qualitativo in generale, divenendo argomento di studio autonomo. Già altamente sviluppato nella tradizione filosofica antica e medievale, il problema del moto traeva origine dall'osservazione quotidiana, formulata in termini matematici generali. Si sistemò quindi in modo naturale nel gruppo delle

⁴ Questo paragrafo ha tratto notevole giovamento dalle discussioni con John Murdoch, che ha posto in evidenza i problemi storiografici che si incontrano se le scienze classiche vengono considerate come tradizioni di ricerca che proseguono nel medioevo latino. Su questo argomento si veda il suo *Philosophy and the Enterprise of Science in the Later Middle Ages*, in *The Interaction between Science and Philosophy*, a cura di Y. Elkana, New York 1974, pp. 51-74.

scienze matematiche con il quale il suo sviluppo fu da allora strettamente collegato.

Così allargate, le scienze classiche continuarono a costituire dal Rinascimento in poi un gruppo strettamente connesso. Copernico individuò l'uditorio competente a giudicare i suoi classici di astronomia con le parole «La matematica è scritta per i matematici». Galileo, Keplero, Descartes, e Newton sono solo alcune delle molte figure del Seicento che passano facilmente e spesso in modo conseguenziale dalla matematica all'astronomia, all'armonia, alla statica, all'ottica ed allo studio del moto. Con la parziale eccezione dell'armonia, inoltre, gli stretti legami tra campi relativamente matematici perdurarono con piccoli mutamenti fino agli inizi del XVIII secolo, molto tempo dopo che le scienze classiche avevano cessato di essere le sole parti delle scienze fisiche soggette ad intensa e permanente analisi. Gli argomenti scientifici ai quali portarono contributi principalmente Eulero, Laplace o Gauss sono quasi identici a quelli precedentemente chiarificati da Newton e da Keplero. Con grande approssimazione lo stesso elenco comprenderebbe anche il lavoro di Euclide, Archimede, e Tolomeo. Come i loro antichi predecessori, gli uomini che praticarono queste scienze classiche nel XVII e nel XVIII secolo, avevano, con poche notevoli eccezioni, poco a che fare con la sperimentazione e con l'osservazione raffinata anche se, dopo circa il 1650, questi metodi furono per la prima volta intensamente utilizzati per studiare un altro gruppo di argomenti, più tardi strettamente associati con settori del gruppo classico.

Un'ultima osservazione sulle scienze classiche aprirà la via alla considerazione del movimento che sarà promotore dei nuovi metodi sperimentali. Tutte, eccetto l'armonia⁵, furono

⁵ Per quanto l'armonia non venisse trasformata, il suo status declinò molto dalla fine del XV secolo all'inizio del XVIII. Essa fu sempre di più relegata nel primo capitolo dei trattati dedicati principalmente ad argomenti più pratici: la composizione, il temperamento e la costruzione degli strumenti. Man mano che questi argomenti divenivano centrali anche per le trattazioni completamente teoriche, la musica sempre più si staccava dalle scienze classiche. Ma la separazione avvenne tardi e non fu mai completa. Keplero, Mersenne e Descartes scrissero tutti sull'armonia; Galileo, Huyghens e Newton mostrarono tutti interesse per essa; il *Tentamen novae theoriae musicae* di Eulero si colloca in una tradizione di lunga durata. Dopo la sua pubblicazione nel 1739 l'armonia cessò di figurare per il suo solo interesse nei settori di ricerca dei maggiori scienziati, ma una disciplina inizialmente ad essa col-

radicalmente ricostruite durante il XVI ed il XVII secolo e nelle scienze fisiche tali trasformazioni non ebbero luogo in nessun altro settore⁶. La matematica compì una transizione dalla geometria e «l'arte dell'incognita» all'algebra, alla geometria analitica, ed al calcolo; l'astronomia acquistò le orbite non circolari, basate sul sole posto da poco al centro; lo studio del moto fu trasformato da leggi nuove, completamente quantitative; e l'ottica acquistò una nuova teoria della visione, la prima soluzione accettabile del classico problema della rifrazione, ed una teoria drasticamente modificata dei colori. La statica considerata come la teoria delle macchine, è una eccezione evidente. Ma come idrostatica, la teoria dei fluidi, fu estesa durante il XVII secolo alla pneumatica, il «mare d'aria», e può quindi essere inclusa nell'elenco delle discipline ricostruite. Queste trasformazioni concettuali delle scienze classiche sono gli elementi attraverso i quali le scienze fisiche partecipano alla più generale rivoluzione del pensiero occidentale. Se però si pensa alla Rivoluzione Scientifica come ad una rivoluzione di *idee*, sono i mutamenti in questi campi tradizionali, quasi matematici, che bisogna cercare di capire. Per quanto altri fatti di essenziale importanza si verificassero inoltre nelle scienze durante il XVI ed il XVII secolo (la Rivoluzione Scientifica non fu semplicemente una rivoluzione di pensiero), esse dimostrano di essere di tipo differente ed in certo grado indipendenti.

legata ne aveva preso il posto: lo studio sia teorico che sperimentale delle corde vibranti, delle colonne d'aria oscillanti e dell'acustica in generale. La carriera di Joseph Sauveur (1653-1716) mostra chiaramente la transizione dall'armonia come musica all'armonia come acustica.

⁶ Esse avvennero, naturalmente, nelle scienze della vita classiche, l'anatomia è la fisiologia. Inoltre, queste furono le sole parti delle scienze biomediche trasformate durante la rivoluzione scientifica. Ma le scienze della vita si erano sempre basate su osservazioni raffinate e talvolta anche sull'esperimento; esse avevano tratto la loro autorità da antiche documentazioni (per esempio Galeno) talvolta diverse da quelle importanti per le scienze fisiche; ed il loro sviluppo fu intimamente collegato con quello della professione di medico e delle corrispondenti istituzioni. Ne deriva che gli elementi da discutere nel considerare sia la trasformazione concettuale che il nuovo ampliato campo di applicazione delle scienze della vita nei secoli XVI e XVII non sono assolutamente sempre gli stessi più attinenti ai corrispondenti mutamenti nelle scienze fisiche. Tuttavia le periodiche discussioni con il mio collega Gerald Geison rinforzano la mia vecchia impressione che anche esse possano essere fruttuosamente analizzate da un punto di vista analogo a quello qui sviluppato. A questo scopo la distinzione tra tradizioni sperimentali e matematiche sarebbe di uso ridotto, ma una divisione tra le scienze biologiche mediche e quelle non mediche potrebbe essere cruciale.

L'emergere delle scienze baconiane.

Dedicandoci ora all'emergere di un altro gruppo di campi di ricerca, iniziamo nuovamente con una domanda, questa volta una sulla quale vi è in generale confusione e disaccordo nella letteratura storica. Qual era, se vi era, la novità nel movimento sperimentale del XVII secolo? Alcuni storici hanno asserito che proprio l'idea di basare la scienza sull'informazione acquisita attraverso i sensi era nuova. Aristotele, secondo questa concezione, pensava che i risultati scientifici potessero essere ricavati da principi primi assiomatici; fino alla fine del Rinascimento gli uomini non sfuggirono sufficientemente alla sua autorità per studiare la natura piuttosto che i libri. Questi residui della retorica settecentesca sono tuttavia assurdi. Gli scritti metodologici di Aristotele contengono molti passi che sono tanto insistenti sulla necessità di accurate osservazioni, quanto gli scritti di Francis Bacon. Randall e Crombie hanno individuato una importante tradizione metodologica medievale che dal XIII secolo fino all'inizio del XVII elaborò regole per trarre corrette conclusioni dall'osservazione e dall'esperimento¹. Le *Regulae* di Descartes ed il *Nuovo Organo* di Bacon devono molto a questa tradizione. Una filosofia empirica della scienza non era una novità al tempo della Rivoluzione Scientifica.

Altri storici puntualizzano che, qualsiasi cosa si possa aver pensato sulla necessità delle osservazioni e degli esperimenti, essi vennero effettuati nel XVII secolo molto più frequentemente di quanto non venissero fatti prima. Questa generalizzazione è senza dubbio corretta, ma trascura la differenza qualitativa essenziale tra le forme più vecchie di esperimento e quelle nuove. I partecipanti al nuovo movimento sperimentale, spesso chiamato baconiano dal suo maggiore propagandista, non espongono ed elaborano semplicemente gli elementi empirici presenti nella tradizione delle scienze fisiche classiche. Essi crearono invece un tipo diverso di scienza empirica, che per un certo tempo, piuttosto che soppiantare, esi-

¹ A. C. CROMBIE, *Robert Grossteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700*, Oxford 1953; J. H. RANDALL JR., *The School of Padua and the Emergence of Modern Science*, Padova 1961.

stette a fianco del suo antenato. Una breve caratterizzazione del ruolo occasionale giocato nelle scienze classiche dall'esperimento e dall'osservazione sistematica aiuterà ad individuare le differenze qualitative che distinguono le forme più vecchie di pratica empirica dalla sua concorrente del XVII secolo.

Molti esperimenti della tradizione antica e medievale si rivelano all'analisi accurata essere stati «esperimenti mentali», la costruzione mentale di situazioni sperimentali potenziali i cui risultati potevano tranquillamente essere previsti dalla precedente esperienza quotidiana. Altri furono effettuati, specialmente in ottica, ma è spesso estremamente difficile per lo storico decidere se un particolare esperimento citato nella letteratura era reale o mentale. Talvolta i risultati riportati non erano quelli che si otterrebbero ora; in altri casi le apparecchiature richieste non avrebbero potuto essere prodotte con i materiali e le tecniche esistenti. Ne derivano problemi reali di giudizio storico, che sono anche quelli che assillano gli studiosi di Galileo. Egli fece sicuramente degli esperimenti, ma è anche più importante ricordarlo come colui che portò la tradizione medievale dell'esperimento mentale alla sua forma più sviluppata. Sfortunatamente, non sempre è chiaro sotto quale aspetto egli si presenti².

In conclusione, quegli esperimenti che chiaramente furono effettuati sembrano avere avuto invariabilmente uno solo dei due scopi. Alcuni erano intesi a dimostrare con altri mezzi una conclusione nota precedentemente. Roger Bacon scrive che, per quanto si possa in linea di principio dedurre la capacità della fiamma di bruciare la carne, è più decisivo, tenuto conto della propensione all'errore della mente, mettere la propria mano sul fuoco. Altri esperimenti effettivi, alcuni di essi importanti, erano intesi a fornire risposte concrete a problemi posti dalla teoria esistente. L'esperimento di Tolomeo sulla rifrazione della luce alla superficie tra aria ed acqua è un esempio importante. Altri sono gli esperimenti medievali di ottica che producevano colori facendo passare

² Per un utile e facilmente accessibile esempio degli esperimenti medievali, si veda il secondo canto del *Paradiso* di Dante. I passi individuati dal riferimento dell'indice «experiment, role in Galileo's work» nel volume *Galileo, Man of Science*, a cura di Ernan McMullin, New York 1965, indicheranno quanto complessa e controversa sia tuttora la relazione di Galileo con la tradizione medievale.

la luce del sole attraverso sfere piene d'acqua. Quando Descartes e Newton studiarono i colori del prisma, essi stavano prolungando questa tradizione dell'antichità e più precisamente del medioevo. L'osservazione astronomica mostra caratteristiche strettamente analoghe. Prima di Tycho Brahe, gli astronomi non osservavano il cielo in modo sistematico, né seguivano i pianeti nel loro moto. Invece essi osservavano prima di tutto l'elevazione, le opposizioni ed altre configurazioni planetarie tipiche di cui erano necessari i tempi e le posizioni per preparare le effemeridi o per calcolare i parametri richiesti dalle teorie esistenti.

Si confronti questa modalità empirica con quella di cui Bacone divenne il più efficace sostenitore. Quando coloro che la praticavano, che erano gente come Gilbert, Boyle ed Hooke compivano esperimenti, raramente intendevano dimostrare ciò che era già noto o determinare un dettaglio richiesto per l'ampliamento della teoria esistente. Piuttosto desideravano vedere come la natura si sarebbe comportata in condizioni prima mai precedentemente osservate, spesso precedentemente mai esistite. I loro risultati tipici furono le enormi storie naturali e sperimentali in cui erano raccolti i dati miscelanei, che molti di essi pensavano presupposti alla costruzione della teoria scientifica. Esaminate a fondo, queste storie spesso si dimostrano nella scelta e nella preparazione degli esperimenti meno casuali di quanto supponessero i loro autori. Perlomeno dal 1650, coloro che le produssero furono generalmente guidati da una od altra forma di filosofia corpuscolare o atomica. La loro preferenza fu quindi per esperimenti che si pensava potessero rivelare la forma, la sistemazione ed il moto dei corpuscoli; le analogie che stanno alla base dell'accostamento di particolari relazioni di ricerca rivelano spesso il medesimo insieme di impegni metafisici³. Ma il distacco tra teorie metafisiche da un lato ed esperimenti particolari dall'altro fu all'inizio ampio. Il corpuscolarismo che sta alla base di molta sperimentazione del XVII secolo raramente richiedeva l'esecuzione o indicava il risultato preciso di ogni singolo esperimento. In queste condizioni, l'esperimento era molto apprezzato e la teoria spesso screditata.

³ Un ampio esempio è fornito da KUHN, *Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century*, in «Isis», 43 (1952), pp. 12-36.

L'interazione che si verificava tra di esse era spesso inconsapevole.

Questo atteggiamento verso il ruolo e la posizione dell'esperimento è solo la prima delle novità che distinguono il nuovo movimento sperimentale dal vecchio. Un secondo è fornito dalla maggiore enfasi data agli esperimenti, che lo stesso Bacone descrisse come un «torcere la coda al leone». Questi erano esperimenti che forzavano la natura, mostrandola in condizioni che non avrebbero mai potuto essere ottenute senza l'energico intervento dell'uomo. Colui che poneva successivamente nel vuoto artificiale di un barometro o di una pompa ad aria grano, un pesce, un gatto e varie sostanze chimiche mostra proprio questo aspetto della nuova tradizione.

Il riferimento al barometro ed alla pompa ad aria illustra una terza novità del movimento baconiano, forse la più impressionante di tutte. Prima del 1590 la dotazione strumentale delle scienze fisiche consisteva esclusivamente di congegni per l'osservazione astronomica. I successivi cento anni mostrarono la rapida introduzione ed utilizzazione di telescopi, termometri, barometri, pompe ad aria, rivelatori di cariche elettriche, e numerosi altri nuovi congegni sperimentali. Lo stesso periodo fu caratterizzato dalla rapida adozione da parte degli studiosi della natura di un arsenale di apparati chimici che precedentemente potevano essere trovati solo nelle botteghe di abili artigiani o nei nascondigli degli adepti dell'alchimia. In meno di un secolo la scienza fisica divenne basata sugli strumenti.

Questi netti mutamenti furono accompagnati da parecchi altri, uno dei quali merita particolare attenzione. Gli sperimentatori baconiani disprezzavano gli esperimenti mentali ed insistevano su relazioni sperimentali che fossero sia accurate che circostanziate. Tra le conseguenze della loro insistenza vi furono talvolta divertenti confronti con la tradizione sperimentale più antica. Robert Boyle, per esempio, ridicolizza Pascal per un libro di idrostatica, nel quale, sebbene i principî fossero considerati indiscutibili, i numerosi esempi sperimentali erano stati chiaramente confezionati a tavolino per adattarsi a loro. Il signor Pascal non ci dice, si lamenta Boyle, come un uomo possa sedersi al fondo di una botte d'acqua di venti piedi con una coppetta di vetro fissa-

ta alla gamba. Né ci dice dove trovare il divino artigiano in grado di costruire i raffinati strumenti dai quali dipendono alcuni degli altri suoi esperimenti⁴. Leggendo la letteratura della tradizione nella quale si colloca Boyle, lo storico non ha difficoltà a dire quali esperimenti furono effettuati. Lo stesso Boyle indica spesso i testimoni fornendo talvolta le loro patenti di nobiltà.

Ammettendo la novità qualitativa del movimento baconiano, come la sua esistenza influenza lo sviluppo della scienza? I contributi del baconismo alla trasformazione concettuale delle scienze classiche furono molto piccoli. Alcuni esperimenti giocarono un certo ruolo, ma essi avevano tutti profonde radici nella tradizione più antica. Il prisma che Newton acquista per esaminare «il celebre fenomeno dei colori» deriva dagli esperimenti medievali con globi pieni d'acqua. Il piano inclinato è derivato dallo studio classico delle macchine semplici. Il pendolo, per quanto una novità assoluta, è anzitutto una nuova realizzazione fisica di un problema che i teorici medievali dell'impetus avevano considerato in connessione con il moto oscillatorio della corda vibrante o di un corpo che cade attraverso il centro della terra e poi di nuovo indietro verso di essa. Il barometro fu inizialmente concepito ed analizzato come un congegno idrostatico, un condotto da pompa riempito d'acqua senza perdite, progettato per realizzare l'esperimento mentale con il quale Galileo aveva «dimostrato» i limiti dell'avversione della natura per il vuoto⁵. Solo dopo che un vuoto notevole fu prodotto ed erano state dimostrate le variazioni dell'altezza della colonna con il tempo e con l'altitudine, il barometro ed il suo derivato, la pompa ad aria, raggiunsero il laboratorio degli strumenti baconiani.

Ancora su questo argomento, per quanto gli esperimenti ora ricordati fossero influenti, ve ne furono pochi come que-

⁴ *Hydrostatical Paradoxes, Made out by New Experiments*, in *The Works of the Honourable Robert Boyle*, a cura di A. Millar, London 1744, dove la discussione del libro di Pascal si ha nelle prime pagine.

⁵ Per il preludio medievale all'approccio galileiano al pendolo si veda M. CLAGETT, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison 1959 [trad. it. *La scienza della meccanica nel medioevo*, Feltrinelli, Milano 1972]. Per le linee di sviluppo che portarono al barometro di Torricelli si veda la monografia troppo poco nota di C. DE WAARD, *L'expérience barométrique, ses antécédents et ses explications*, Thouars Deux-Sèvres 1936.

sti, e tutti dovettero la loro speciale efficacia alla pertinenza con la quale essi si potevano confrontare con le teorie della scienza classica in evoluzione, scienza classica che li aveva suggeriti. Il risultato dell'esperimento del barometro di Torricelli e del piano inclinato di Galileo erano stati in gran misura previsti. Gli esperimenti di Newton con il prisma non sarebbero stati più efficaci dei loro precursori tradizionali nel trasformare la teoria dei colori se Newton non avesse avuto a disposizione la legge della rifrazione, appena scoperta, legge che si era cercato di ottenere nell'ambito della tradizione classica da Tolomeo a Keplero. Per la stessa ragione, le conseguenze di quell'esperimento sono nettamente diverse da quelle degli esperimenti non tradizionali che durante il XVII secolo rivelarono qualitativamente nuovi effetti ottici, come l'interferenza, la diffrazione e la polarizzazione. Questi ultimi, poiché non erano risultati della scienza classica e non potevano essere accuratamente confrontati con le sue teorie, ebbero una piccola influenza sullo sviluppo dell'ottica fino al XIX secolo. Con le dovute riserve, alcune appena necessarie, Alexandre Koyré e Herbert Butterfield dimostreranno di avere ragione. La trasformazione delle scienze classiche durante la rivoluzione scientifica è attribuibile più precisamente ai nuovi modi di guardare ai vecchi fenomeni che non ad una serie di nuove scoperte sperimentali⁶.

In questa situazione, numerosi storici, compreso Koyré, hanno descritto il movimento baconiano come una frode, di nessuna influenza sullo sviluppo della scienza. Questa valutazione è tuttavia, come quella cui talvolta si oppone energicamente, una conseguenza del considerare le scienze come una. Se il baconismo contribuì poco allo sviluppo delle scienze classiche, dette origine ad un gran numero di nuovi settori scientifici, spesso aventi radici nei mestieri precedenti. Lo studio del magnetismo, che derivò i suoi primi dati da precedenti esperienze con la bussola nautica, è un esempio di questo tipo. L'elettricità fu diffusa dal tentativo di trovare una relazione tra l'attrazione della calamita per il ferro e quello dell'ambra sfregata per le pagliuzze. Entrambi questi campi inoltre, dipesero per il loro sviluppo ulteriore dalla

⁶ A. KOYRÉ, *Études galiléennes*, Paris 1939 [trad. it. *Studi galileiani*, Einaudi, Torino 1976]; BUTTERFIELD, *Origins of Modern Science* cit.

progettazione di nuovi, più potenti e più raffinati strumenti. Essi sono tipici delle scienze nuove baconiane. Una generalizzazione pressoché analoga si applica allo studio del calore. A lungo argomento di speculazione nell'ambito della tradizione filosofica e medica fu trasformata dall'invenzione del termometro in argomento di investigazione sistematica. La chimica presenta un caso di tipo diverso. Molti dei suoi strumenti principali, dei reagenti e delle tecniche erano stati sviluppati da lungo tempo prima della rivoluzione scientifica. Ma fino alla fine del xvi secolo essi furono principalmente possesso degli artigiani, dei farmacisti e degli alchimisti. Sol tanto dopo una rivalutazione dei mestieri e delle tecniche manuali, essi furono regolarmente utilizzati nella ricerca sperimentale allo scopo di conoscere la natura.

Poiché questi settori ed altri analoghi furono nel xvii secolo nuovi centri di attività scientifica, non è sorprendente che il loro sviluppo abbia prodotto all'inizio poche trasformazioni più notevoli di quelle prodotte dalla ripetuta scoperta di effetti sperimentali precedentemente sconosciuti. Se il possesso di un corpo teorico coerente in grado di produrre previsioni raffinate è l'indice di un settore scientifico sviluppato, le scienze baconiane rimasero sottosviluppate lungo tutto il xvii secolo e la maggior parte del xviii. Sia le loro pubblicazioni scientifiche che i loro modelli di crescita assomigliavano meno a quelli delle scienze classiche contemporanee che a quelli osservabili oggi in un certo numero di scienze sociali. Con la metà del xviii secolo tuttavia la sperimentazione in questi campi era divenuta più sistematica, venendo a raggrupparsi sempre di più intorno a gruppi scelti di fenomeni che si pensava fossero particolarmente significativi. In chimica lo studio delle reazioni di spostamento e della saturazione furono i più importanti tra i nuovi argomenti; in elettricità lo studio della conduzione e della bottiglia di Leyda; nella termometria e nel calore lo studio della temperatura delle miscele. Contemporaneamente le concezioni corpuscolari e di altro tipo furono sempre più adattate a quelle aree particolari di ricerca sperimentale, e di questa applicazione forniscono esempi particolarmente ben noti le nozioni di affinità chimica o di fluidi elettrici e delle loro atmosfere.

La teorie nelle quali operavano concetti come questi, rimasero per un certo tempo prevalentemente qualitative e

spesso corrispondentemente vaghe, ma esse potevano tuttavia essere poste a confronto, all'inizio del xviii secolo, con i singoli esperimenti con una precisione sconosciuta per le scienze baconiane. Inoltre, poiché i miglioramenti permessi da tali confronti continuarono negli ultimi trent'anni del secolo e divennero sempre di più il centro dei corrispondenti settori, le scienze baconiane rapidamente raggiunsero uno stato molto simile a quello delle scienze classiche nell'antichità. Elettricità e magnetismo divennero scienze sviluppate grazie al lavoro di Epino, Cavendish e Coulomb; il calore grazie a quello di Black, Wilcke e Lavoisier; la chimica in modo più graduale e meno netto, ma non più tardi degli anni della rivoluzione chimica di Lavoisier. All'inizio del secolo successivo le scoperte ottiche, qualitativamente nuove, del xvii secolo furono per la prima volta conglobate nella più antica scienza dell'ottica. Con il verificarsi di fatti come questi, la scienza baconiana era almeno divenuta maggiorenne, giustificando la fede, se non sempre la metodologia dei suoi fondatori settecenteschi.

Come si collegò, durante i circa due secoli di maturazione, il gruppo delle scienze baconiane al gruppo qui definito «classico»? Il problema è stato studiato molto poco, ma la risposta credo dimostrerà di essere la seguente: non molto e quindi spesso con notevole difficoltà — intellettuale, istituzionale e talvolta politica. Nel xviii secolo i due gruppi, classico e baconiano, rimasero distinti. In modo schematico, le scienze classiche furono raggruppate insieme come matematica; le baconiane furono generalmente viste come «filosofia sperimentale» o, in Francia, come «*physique expérimentale*»; la chimica con i suoi legami continui con la farmacia, con la medicina e con i vari mestieri era in parte membro del secondo gruppo ed in parte una raccolta di specializzazioni più pratiche.

Questa separazione tra scienze classiche e scienze baconiane può essere seguita sin dalle origini delle seconde. Lo stesso Bacone fu sospettoso, non solo verso la matematica,

⁷ Per uno stadio iniziale dello sviluppo della chimica, come argomento di interesse intellettuale si veda M. BOAS, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*, Cambridge 1958. Per uno stadio successivo di vitale importanza si veda H. GUERLAC, *Some French Antecedents of the Chemical Revolution*, in «*Chymia*», 5 (1959), pp. 73-112.

ma verso l'intera struttura quasi deduttiva della scienza classica. Quei critici che lo ridicolizzano, per aver sbagliato nell'individuare la scienza migliore dei suoi giorni, non colgono il punto essenziale. Egli non rifiutava il copernicanesimo perché preferiva il sistema tolemaico. Piuttosto egli li rifiutava entrambi poiché pensava che nessun sistema così complesso, astratto e matematico potesse contribuire sia alla comprensione che al controllo della natura. I suoi seguaci nella tradizione sperimentale, per quanto accettassero la cosmologia copernicana, tuttavia tentarono raramente di acquisire la capacità e la raffinatezza matematica richiesta per comprendere e per seguire le scienze classiche. Questa situazione durò per tutto il XVII secolo: Franklin, Black e Nollet lo mostrano chiaramente, così come Boyle e Hooke.

L'opposto è molto più dubbio. Qualsiasi fossero le cause del movimento baconiano, esse influenzarono anche le già stabilizzate scienze classiche. Nuovi strumenti entrarono anche in questi campi, specialmente nell'astronomia. Anche le regole per riportare e valutare i dati si modificano. Dall'ultima decade del XVII secolo scontri come quello tra Boyle e Pascal non sono più concepibili. Ma, come precedentemente detto, la conseguenza di questi sviluppi fu un graduale raffinamento piuttosto che un mutamento sostanziale nella natura delle scienze classiche. L'astronomia aveva già utilizzato strumenti prima e l'ottica era già stata sperimentale; i meriti relativi del telescopio quantitativo e dell'osservazione ad occhio nudo erano stati in dubbio per tutto il XVII secolo; con l'esclusione del pendolo, gli apparecchi della meccanica erano prevalentemente attrezzi per dimostrazioni didattiche piuttosto che per la ricerca. In questa situazione la distanza ideologica tra le scienze baconiane e quelle classiche si ridusse, ma non sparì affatto. Lungo tutto il XVIII secolo le principali figure tra coloro che praticavano le scienze matematiche affermate effettuarono pochi esperimenti e dettero ancora meno contributi reali allo sviluppo dei nuovi settori sperimentali.

Galileo e Newton sono evidenti eccezioni. Ma soltanto il secondo lo è realmente, ed entrambi chiariscono la natura della divisione classico-baconiano. Orgoglioso membro dei Lincei, Galileo contribuì anche allo sviluppo del telescopio, del pendolo a scappamento, di una primitiva forma di ter-

mometro oltre ad altri nuovi strumenti. Chiaramente egli prese parte in modo significativo ai caratteri del movimento qui indicato come baconiano. Ma, come mostra anche la carriera di Leonardo, un interesse per gli strumenti e l'ingegneria non fa di un uomo uno sperimentatore e l'atteggiamento predominante di Galileo per questo aspetto della scienza resta nelle modalità classiche. Talvolta proclamò che la forza della sua mente non gli rendeva necessario effettuare gli esperimenti che descriveva. Altre volte, per esempio analizzando le limitazioni delle pompe ad acqua, egli fece ricorso senza commento ad apparecchiature che superavano le capacità della tecnologia del suo tempo. La critica di Boyle verso Pascal si applica senza modificazioni a Galileo. Caratterizza una personalità che poteva e dette contributi di importanza storica alle scienze classiche, ma non, eccetto che per il progetto di strumenti, a quelle baconiane.

Educato durante gli anni nei quali il baconismo inglese era al culmine, Newton fu partecipe chiaramente ad entrambe le tradizioni. Ma, come I. B. Cohen pose in evidenza venti anni fa, ciò che deriva sono due filoni distinti della influenza newtoniana, una riferibile ai *Principia* di Newton, ed un'altra alla sua *Ottica*⁸. Questa osservazione acquista speciale significato se si nota che, per quanto i *Principia* si collochino direttamente nell'ambito della tradizione delle scienze classiche, l'ottica non è affatto chiaramente in quella baconiana. Poiché il suo argomento era l'ottica, un settore in precedenza ben sviluppato, Newton fu capace di confrontare continuamente esperimenti scelti con la teoria ed è da questi confronti che derivano i suoi risultati. Boyle, la cui *Storia sperimentale dei colori*, comprende parecchi degli esperimenti sui quali Newton basò la sua teoria, non fece un tentativo analogo, accontentandosi di notare che i suoi risultati suggerivano speculazioni che poteva meritare di sviluppare⁹. Hooke, che scoprì gli «anelli di Newton», il primo argomento del libro secondo dell'*Ottica*, accumulò i dati prevalentemente nello stesso modo. Newton invece li selezionò e li utilizzò per elaborare la teoria in modo molto analogo a quello con cui i suoi predecessori della tradizione classica avevano utilizzato le

⁸ I. B. COHEN, *Franklin and Newton*, Philadelphia 1956.

⁹ BOYLE, *Works*, 2, pp. 42-43.

meno recondite informazioni abitualmente fornite dall'esperienza quotidiana. Anche quando si dedicò, come nelle *Questions* della sua *Ottica* a nuovi argomenti baconiani, come la chimica l'elettricità ed il calore, Newton scelse tra la crescente letteratura sperimentale quelle particolari osservazioni e quegli esperimenti che potevano chiarire i risultati teorici. Per quanto nessun risultato così valido come quelli dell'ottica potesse essere fornito in questi campi ancora in crescita, concetti come l'affinità chimica, sparsi nelle *Questions*, si dimostrarono una ricca sorgente per i baconiani più sistematici ed acuti del XVIII secolo ed essi perciò tornarono a questi concetti più volte. Ciò che trovarono nell'*Ottica* e nelle sue *Questions* fu un uso non baconiano dell'esperimento baconiano, un prodotto della profonda e simultanea immersione di Newton nella tradizione scientifica classica.

Con l'eccezione parziale, tuttavia, dei suoi contemporanei europei Huyghens e Mariotte, l'esempio di Newton è unico. Durante il XVIII secolo, all'inizio del quale il suo lavoro scientifico era completato, nessun altro partecipò in modo significativo ad entrambe le tradizioni, una situazione questa che influenzò anche lo sviluppo delle istituzioni scientifiche e delle carriere professionali per lo meno nel XIX secolo. Per quanto molta ulteriore ricerca in questo campo sia necessaria, le osservazioni seguenti indicano lo schema di larga massima che la ricerca deve approfondire. Almeno a livello elementare, le scienze classiche avevano trovato una loro collocazione nel curriculum normale delle università medievali. Durante il XVII ed il XVIII secolo il numero di cattedre ad esse dedicate aumentò. Coloro che le avevano, insieme a quelli che ebbero incarichi nelle associazioni scientifiche di Francia, di Prussia e di Russia fondate da poco, furono coloro cui si debbono i principali contributi alle scienze classiche in fase di sviluppo. Nessuno di essi è descrivibile in modo appropriato come dilettante, nonostante il termine sia stato applicato indiscriminatamente alla totalità di coloro che praticavano le scienze del XVII e del XVIII secolo. Coloro che praticavano le scienze baconiane tuttavia furono in genere dei dilettanti con l'eccezione dei chimici, che trovarono lavoro nella farmacia, nell'industria ed in alcune scuole mediche durante il XVIII secolo. Per altre scienze sperimentali non vi furono posti nelle università prima della seconda metà

del XIX secolo. Per quanto alcuni di coloro che le praticavano trovassero posto nelle varie accademie scientifiche nazionali, essi erano spesso membri di seconda categoria. Solo in Inghilterra, dove le scienze classiche avevano cominciato a declinare nettamente prima della morte di Newton, esse erano ben rappresentate, contrasto questo sul quale torneremo più oltre.

L'esempio dell'Accademia delle Scienze di Francia è da tale punto di vista istruttivo, ed il suo esame fornirà nello stesso tempo la base per un argomento da discutere nel prossimo paragrafo. Guillaume Amontons (1663-1705), ben noto per i suoi contributi sia al progetto che alla teoria di strumenti baconiani quali il termometro e l'igrometro, non salì mai nell'accademia al di sopra del livello di *élève*, nel cui ruolo fu addetto all'astronomo Jean Le Fèvre. Pierre Polinière (1671-1734), ricordato spesso come colui che introdusse la *physique expérimentale* in Francia, non fu mai formalmente associato ad alcuna accademia. Per quanto i due francesi che dettero i principali contributi alle scienze elettriche del XVIII secolo fossero accademici, il primo, C. F. de C. Dufay (1698-1739) fu messo nella sezione di chimica, mentre il secondo, l'abate Nollet (1700-70), fu membro di quella sezione, in certo modo eterogenea, ufficialmente riservata a coloro che praticavano le *arts mécaniques*. In questa, ma solo dopo la sua elezione alla Royal Society of London, Nollet salì di grado, essendo il successore tra gli altri sia del conte di Buffon che di Ferchauld de Réaumur. Il famoso costruttore di strumenti Abraham Bréguet, d'altro canto, uomo con il tipo di ingegno per il quale era stata prevista la sezione meccanica, non trovò posto all'accademia fino a che, nel 1816 all'età di 69 anni, il suo nome fu iscritto nei ruoli accademici per ordinanza reale.

Quello che questi casi isolati mostrano è anche indicato dalla organizzazione formale dell'accademia. Una sezione di *physique expérimentale* non fu introdotta fino al 1785 e fu quindi aggregata alla sezione matematica (con la geometria, l'astronomia e la meccanica) piuttosto che nella divisione delle più manuali *sciences physiques* (anatomia, chimica e metallurgia, botanica ed agricoltura, storia naturale e mineralogia). Dopo il 1815, quando il nome della nuova sezione fu cambiato in *physique générale*, gli sperimentatori fra i suoi mem-

bri furono, per un certo tempo, molto pochi. Guardando al XVIII secolo in complesso, i contributi degli accademici alle scienze fisiche baconiane furono minori se confrontati con quelli dei medici, dei farmacisti, degli industriali, dei costruttori di strumenti, dei conferenzieri ambulanti, o di uomini benestanti. L'eccezione è di nuovo l'Inghilterra, dove la Royal Society fu abbondantemente affollata di questi dilettanti, piuttosto che da coloro la cui professione era per prima cosa e principalmente quella della scienza.

Le origini della scienza moderna.

Ritorniamo ora brevemente dalla fine del XVIII secolo alla metà del XVII. La scienza baconiana era allora in fase di gestazione, mentre le scienze classiche erano in radicale trasformazione. Assieme ai contemporanei mutamenti nelle scienze della vita, questi due eventi costituiscono ciò che si è poi chiamato rivoluzione scientifica. Per quanto nessuna parte di questo saggio abbia la pretesa di spiegare le sue cause straordinariamente complesse, merita notare come il problema delle cause diventi diverso quando gli sviluppi da spiegare vengano separati.

Non è sorprendente che soltanto le scienze classiche fossero trasformate durante la rivoluzione scientifica. Fino alla fine di questo periodo a mala pena esistevano altri campi delle scienze fisiche. Al livello nel quale esistevano, inoltre, mancavano di un qualche corpo significativo di conoscenze tecniche unificate da ricostruire. Viceversa, un insieme di ragioni della trasformazione delle scienze classiche si trovano nelle loro precedenti linee di sviluppo. Per quanto gli storici si differenzino molto nel peso da attribuire ad esse, pochi ora hanno dubbi sul fatto che una certa riformulazione medievale delle antiche dottrine, islamiche o latine, furono di grande importanza per figure quali quelle di Copernico, di Galileo, e di Keplero. Non vedo analoghe radici scolastiche per le scienze baconiane, nonostante le attribuzioni fatte talvolta alla tradizione metodologica che discende da Grosseteste.

Molti degli altri fattori, ora frequentemente chiamati in causa per spiegare la rivoluzione scientifica, contribuirono sia all'evoluzione delle scienze classiche che a quelle baco-

niane, ma spesso per vie diverse ed in diverso grado. Le influenze di nuovi ingredienti intellettuali — inizialmente ermetici e quindi meccanico-corpuscolari — sull'ambiente nel quale fu praticata la prima scienza moderna forniscono un esempio di queste differenze. Nelle scienze classiche i movimenti ermetici favorirono talvolta lo status della matematica, incoraggiando i tentativi di trovare regolarità matematiche nella natura, e talvolta accreditando le semplici forme matematiche così scoperte come cause formali, termine della catena causale scientifica¹. Sia Galileo che Keplero forniscono esempi di questo crescente ruolo ontologico della matematica, ed il secondo mostra inoltre una ulteriore, più misteriosa, influenza ermetica. Da Keplero e Gilbert fino a Newton, per quanto da allora in forma attenuata, le simpatie e le antipatie naturali notevoli nel pensiero ermetico, aiutarono a colmare il vuoto causato dal collasso delle sfere aristoteliche che avevano fino ad allora tenuto i pianeti nelle loro orbite.

Dopo il primo trentennio del XVII secolo, quando il misticismo ermetico fu sempre più rifiutato, il posto che ancora occupava nelle scienze classiche, fu rapidamente preso da una o l'altra forma di filosofia corpuscolare derivata dall'antico atomismo. Le forze di attrazione e di repulsione tra corpi sia grandi che microscopici non furono più privilegiate a lungo, fonte questa di molta opposizione a Newton. Ma entro l'universo infinito richiesto dal corpuscolarismo, non potevano esservi centri o direzioni preferenziali. Moti costanti naturali potevano avvenire solo in linea retta e potevano essere disturbati solo da urti intercorpuscolari. Da Descartes in poi, questa nuova prospettiva porta direttamente alla prima legge del moto di Newton e — attraverso lo studio dell'urto, un

¹ Il crescente valore attribuito alla matematica, come strumento e come ontologia, da molti scienziati dell'inizio dei tempi moderni, è stata riconosciuta da quasi mezzo secolo ed è stata per molti anni descritta come una reazione al neoplatonismo rinascimentale. Il cambiare etichetta con quella di «ermetismo» non migliora la spiegazione di questo aspetto del pensiero scientifico (per quanto abbia contribuito al riconoscimento di altre importanti novità), ed il cambiamento mostra un limite decisivo dell'attuale conoscenza, limite che non ho saputo come evitare qui. Come viene attualmente utilizzato il termine «ermetismo» fa riferimento ad una varietà di movimenti presumibilmente collegati; neoplatonismo, cabalismo, rosacroianesimo e quant'altro volete. Essi hanno grande bisogno di essere distinti: nel tempo, nel luogo, intellettualmente ed ideologicamente.

problema nuovo — anche alla sua seconda legge. Un fattore della trasformazione delle scienze classiche fu chiaramente il nuovo clima intellettuale nel quale esse furono praticate dopo il 1500, prima ermetico e quindi corpuscolare.

Il medesimo nuovo ambiente intellettuale influenzò le scienze baconiane ma spesso per altre ragioni e con modalità diverse. Senza dubbio, l'enfasi ermetica sulle simpatie occulte aiuta a comprendere il crescente interesse, dopo il 1550, per il magnetismo e l'elettricità; analoghe influenze avevano migliorato lo status della chimica dal tempo di Paracelso fino a quello di Van Helmont. Ma le attuali ricerche mostrano sempre di più come il maggior contributo dell'ermetismo alle scienze baconiane e probabilmente all'intera rivoluzione scientifica fu la figura faustiana del mago, impegnato a manipolare ed a controllare la natura, spesso con l'aiuto di ingegnosi congegni, di strumenti e macchine. Il riconoscimento della figura di Francis Bacon come figura di transizione tra il mago Paracelso ed il filosofo sperimentale Robert Boyle ha contribuito più di ogni altra cosa, negli anni recenti a modificare l'intelligenza storica delle modalità con le quali sono nate le nuove scienze sperimentali².

In questi settori baconiani, a differenza dei settori classici loro contemporanei, gli effetti della transizione al corpuscolarismo furono ambigui, una prima ragione per la quale l'ermetismo si conserverà più a lungo nei settori come la chimica ed il magnetismo che, ad esempio, nell'astronomia o nella meccanica. Affermare che lo zucchero è dolce poiché le sue particelle tonde blandiscono la lingua non è ovviamente un progresso rispetto all'attribuire ad esso un potere saccarifico. L'esperienza del XVIII secolo stava a dimostrare che lo sviluppo delle scienze baconiane spesso aveva bisogno di essere guidato da concetti come l'affinità ed il flogisto, non drasticamente diversi dalle simpatie ed antipatie naturali del movimento ermetico. Ma il corpuscolarismo separò le scienze sperimentali dalle magiche, promuovendo così la necessaria indipendenza. Fatto ancora più importante, esso fornì una base razionale all'esperimento come nessuna forma di

² F. A. YATES, *The Hermetic Tradition in Renaissance Science*, in *Science and History in the Renaissance*, a cura di C. S. Singleton, Baltimore 1968, pp. 255-74; P. ROSSI, *Francesco Bacone: dalla magia alla scienza*, Einaudi, Torino 1974.

aristotelismo né di platonismo avrebbe potuto fare. Finché la tradizione che dominava la spiegazione scientifica richiedeva la definizione di cause formali o essenze, soltanto dati forniti dall'evolversi naturale degli eventi potevano essere importanti per essa. Sperimentare o costringere la natura era fare violenza ad essa, oscurando così il ruolo delle «nature» o forze che facevano le cose quali esse erano. In un universo corpuscolare, d'altro canto, la sperimentazione ha un ovvio rilievo per le scienze. Non può modificare e può chiarire in modo particolare le condizioni meccaniche e le leggi dalle quali derivano i fenomeni naturali. Questa fu la lezione che Bacone attribuì ripetutamente alla favola di Cupido in catene.

Un nuovo ambiente intellettuale non fu, naturalmente la sola causa della rivoluzione scientifica ed anche gli altri fattori invocati molto frequentemente nella sua spiegazione, acquistano forza di persuasione quando esaminati separatamente nel campo classico ed in quello baconiano. Durante il Rinascimento il monopolio dell'università medievale sul sapere fu gradualmente infranto. Nuove sorgenti di ricchezza, nuovi modi di vita, e nuovi valori si combinano per favorire la condizione sociale di un gruppo precedentemente classificato come quello degli artigiani ed operai. L'invenzione della stampa e la riscoperta di nuovi testi antichi dette ai suoi membri l'accesso ad una eredità scientifica e tecnica reperibile precedentemente, se mai lo era, solo nell'ambito dei copisti delle università. Un risultato reso emblematico dalle carriere di Brunelleschi e di Leonardo, fu l'emergere dalle corporazioni artigiane, durante il XV ed il XVI secolo, degli ingegneri-artisti, la cui perizia professionale comprendeva la pittura, la scultura, l'architettura, l'arte delle fortificazioni, l'idraulica e la progettazione di macchine da guerra e da costruzione. Mantenuti da un sistema sempre più elaborato di mecenatismo, questi uomini furono ad un tempo impiegati e sempre più gloria delle corti rinascimentali e più tardi talvolta dei governi delle città del nord Europa. Alcuni di loro furono anche associati in modo non formale ai circoli umanistici, che li introdussero ai testi ermetici e neoplatonici. Questi testi non furono tuttavia quelli che principalmente legittimarono la loro condizione di partecipanti al raffinato Rinascimento. Fu piuttosto la loro capacità a riferirsi ed a

commentare in modo convincente opere come il *De architectura* di Vitruvio, la *Geometria* e l'*Ottica* di Euclide, i *Problemi di Meccanica* dello Pseudo-Aristotele e dopo la metà del XVI secolo sia i *Corpi galleggianti* di Archimede, sia la *Pneumatica* di Erone³.

L'importanza di questo nuovo gruppo per la rivoluzione scientifica è indiscutibile. Galileo da vari punti di vista e Simone Stevino da tutti, sono i frutti della sua presenza. Ciò che va posto in evidenza tuttavia è che i testi usati dai suoi membri ed i settori che principalmente influenzò appartengono al gruppo qui chiamato classico. Sia come artisti (prospettiva) che come ingegneri (tecnica delle costruzioni e approvvigionamento d'acqua) essi utilizzarono principalmente opere di matematica, di statica e di ottica. Anche l'astronomia, per quanto in modo meno esteso, entrò occasionalmente nell'ambito della loro attività. Uno degli interessi di Vitruvio era stato il progetto di meridiane precise; gli artisti-ingegneri del Rinascimento lo estesero anche al progetto di altri strumenti astronomici.

Per quanto produttivo solo qua e là, l'interesse degli artisti-ingegneri per questi settori classici fu un fattore significativo nella loro ricostruzione. Questa è probabilmente l'origine dei nuovi strumenti di Brahe e dell'interesse di Galileo per la resistenza dei materiali e per la prevalenza limitata delle pompe ad acqua, interesse quest'ultimo che portò direttamente al barometro di Torricelli. Probabilmente, ma in modo più discutibile, l'interesse ingegneristico, stimolato specialmente dalla fabbricazione dei cannoni, contribuì a separare il problema del moto locale dal più ampio problema filosofico del mutamento, facendo sì nello stesso tempo che fossero importanti per il suo ulteriore sviluppo i numeri piuttosto che le proporzioni geometriche. Questi argomenti e quelli connessi sono quelli che indussero all'introduzione nell'accademia di Francia di una sezione per le *arts mécaniques*

³ P. ROSSI, *I filosofi e le macchine*, Feltrinelli, Milano 1971². Rossi ed i precedenti studiosi dell'argomento non discutono tuttavia la possibile importanza della distinzione tra i mestieri praticati dagli artisti-ingegneri e quelli introdotti più tardi nel mondo colto da figure come Vanoccio Biringuccio ed Agricola. Per taluni aspetti di tale distinzione, più sotto introdotta, ho molti debiti verso le conversazioni con il mio amico Michael S. Mahoney.

e che fecero sì che questa sezione fosse raggruppata con le sezioni di geometria e di astronomia. Quel non trovare d'ora in poi una collocazione naturale per le scienze baconiane trova la sua corrispondenza negli interessi degli artisti-ingegneri del Rinascimento che non includono gli aspetti non matematici e non meccanici delle arti quali la tintura, la tessitura, la soffiatura del vetro e la navigazione. Queste furono, tuttavia, proprio i mestieri che giocarono un ruolo così importante nella genesi delle nuove scienze sperimentali. Le dichiarazioni programmatiche di Bacone richiedevano storie naturali di tutte queste, ed alcune di queste storie di arti non meccaniche furono scritte.

Poiché la possibile utilità, di una separazione anche analitica, tra arti meccaniche e non meccaniche non è mai stata proposta prima, ciò che segue deve essere ancora più schematico di quanto precede. Come argomento di impegno conoscitivo, tuttavia le seconde paiono essere giunte più tardi delle prime. Promosse probabilmente all'inizio da tendenze alla Paracelso, il loro affermarsi è dimostrato da opere come la *Pyrotechnia* di Biringuccio, il *De re metallica* di Agricola, il *Newe Attractive* di Robert Norman, ed il *Discours* di Bernard Palissy, la più antica delle quali fu pubblicata nel 1540. Lo stato raggiunto precedentemente dalle arti meccaniche aiuta senza dubbio a spiegare l'apparire di libri come questi, ma il movimento che li produsse è tuttavia distinto. Pochi tra coloro che praticavano le arti non meccaniche furono finanziati attraverso il mecenatismo o riuscirono, prima della fine del Settecento, a superare i limiti delle associazioni di mestiere. Nessuno poteva fare appello ad una significativa tradizione letteraria classica, fatto questo che probabilmente rese la letteratura ermetica pseudo-classica e la figura del mago più importante per loro che per i loro contemporanei impegnati nei settori meccanico-matematico⁴. Eccetto che nella chimica, tra farmacisti e medici, la pratica concreta fu rara-

⁴ Per quanto nessuno dei due tratti direttamente questo punto, due articoli apparsi di recente esprimono le modalità con le quali, prima l'ermetismo e quindi il corpuscolarismo giocano un ruolo nella battaglia settecentesca per uno status sociale degli intellettuali: P. M. RATTANSI, *The Helmontian-Galenist Controversy in Restoration England*, in «Ambix», 12 (1964), pp. 1-23; T. M. BROWN, *The College of Physicians and the Acceptance of Iatromechanism in England, 1665-1695*, in «Bulletin of the History of Medicine», 44 (1970), pp. 12-30.

mente accompagnata da dissertazioni colte su di essa. I medici tuttavia paiono essere in numero molto superiore alla media, tra coloro che scrissero opere dotte, non solo di chimica, ma anche di altre arti non meccaniche, che fornirono i dati richiesti per lo sviluppo delle scienze baconiane. Agricola e Gilbert sono solo gli esempi più antichi.

Queste differenze tra le due tradizioni, originate nei mestieri precedenti, aiutano a spiegare anche altre cose. Per quanto gli artisti-ingegneri del Rinascimento fossero socialmente utili, lo sapessero, e talvolta basassero le loro richieste su di ciò, nei loro scritti gli elementi utilitaristici sono di gran lunga meno persistenti e stridenti di quanto non siano negli scritti di coloro che si dedicavano alle arti non meccaniche. Si ricordi quanto poco Leonardo si interessasse al problema se i congegni meccanici che progettava potevano realmente essere costruiti; o si confrontino gli scritti di Galileo, Pascal, Descartes e Newton con quelli di Bacone, Boyle ed Hooke. Presente in entrambi i gruppi di scritti, l'utilitarismo è centrale solo per i secondi, fatto che può fornire una spiegazione all'ultima maggiore differenza tra le scienze classiche e quelle baconiane.

Fatta eccezione per la chimica, che aveva trovato una sua composita base istituzionale dalla fine del XVII secolo, le scienze baconiane e quelle classiche fiorirono in ambiti territoriali diversi, almeno dal 1700. Si possono trovare praticanti di entrambe nella maggior parte dei paesi europei, ma il centro delle scienze baconiane fu chiaramente l'Inghilterra, di quelle matematiche l'Europa, specialmente la Francia. Newton è l'ultimo matematico inglese prima della metà del XIX secolo, che possa competere con figure europee come Bernoulli, Eulero, Lagrange, Laplace e Gauss. Nelle scienze baconiane la differenziazione inizia prima ed è meno evidente, ma sperimentatori europei con rinomanza che possa gareggiare con quella di Boyle, Hooke, Hauksbee, Gray, Black e Priestly sono difficili da trovare prima degli anni intorno al 1780. Inoltre quelli che vengono in mente per primi tendono a concentrarsi in Olanda ed in Svizzera, specialmente nella prima. Boerhaave, Musschenbroek e de Saussure sono esempi di ciò⁵. Questa distribuzione geografica richiede una

⁵ Informazioni per quanto riguarda questo punto sono sparse in P. BRU-

analisi più sistematica, ma se si tengono in conto la popolazione relativa e specialmente la produttività nelle scienze baconiane ed in quelle classiche, è probabile che si dimostri sorprendente. Questa analisi potrà anche mostrare che le differenze nazionali ora notate emersero solo dopo la metà del XVII secolo, divenendo lentamente più evidenti durante le generazioni che seguirono. Non sono forse le differenze tra le attività settecentesche dell'Accademia delle Scienze di Francia e quelle della Royal Society maggiori di quelle esistenti tra le attività dell'Accademia del Cimento, dell'Accademia Montmor e dell'inglese «Invisible College»?

Tra le varie e contrastanti spiegazioni della rivoluzione scientifica, solo una fornisce una indicazione per spiegare le modalità delle diversificazioni geografiche. È la cosiddetta tesi di Merton, un riadattamento per le scienze della spiegazione della nascita del capitalismo fornita precedentemente da Weber, Troeltsch e Tawney⁶. Dopo la loro fase iniziale di proselitismo evangelico, si afferma, le comunità protestanti o puritane stabilizzate svilupparono un «etos» o «etica» particolarmente congeniale allo sviluppo della scienza. Tra le sue componenti primarie vi fu una forte tensione utilitaristica, un'alta stima del lavoro, compreso quello manuale e manipolativo ed uno spirito critico dovuto ad un sistema che incoraggiava ciascuno ad essere autonomo interprete prima della Sacra Scrittura e poi della natura. Lasciando da parte come altri non possono, la difficoltà di identificare un tale etos e di determinare se può essere attribuito a tutti i protestanti o solo a certe sette puritane, il maggior limite di questo punto di vista è sempre stato che tenta di spiegare troppe cose. Se Bacone, Boyle ed Hooke sembrano andare d'accordo con la tesi di Merton, non vi si accordano Galileo, Descartes ed Huyghens. È in ogni caso ben lungi dall'essere chiarito il fatto che le comunità protestanti o puritane post-evangeliche

NET, *Les Physiciens Hollandais et la methode experimentale en France au XVIII^e siècle*, Paris 1926.

⁶ R. K. MERTON, *Science, Technology and Society in Seventeenth-Century England* [trad. it. *Scienza, tecnologia e società nell'Inghilterra del XVII secolo*, Franco Angeli, Milano 1975]. Questa nuova edizione di un libro pubblicato per la prima volta nel 1938 comprende una *Selected Bibliography*: 1970, che fornisce una utile guida alla controversia che si è sviluppata fino dal suo primo apparire.

esistevano ovunque da un certo periodo mentre la rivoluzione scientifica era in atto. Non c'è da sorprendersi se la tesi di Merton è stata controversa.

La sua attrattiva è, per altro, di gran lunga maggiore se viene applicata non alla rivoluzione scientifica come un tutto unico, ma piuttosto al movimento che produsse la scienza baconiana. Il grande interesse iniziale di quel movimento per il controllo della natura attraverso tecniche manipolative e strumentali fu senza dubbio incoraggiato dall'ermetismo. Ma le filosofie corpuscolari, che dopo il 1630 sostituirono sempre più nelle scienze l'ermetismo non contenevano simili valenze ed il baconismo continuò a prosperare. Che ciò si verificasse specialmente nelle nazioni non cattoliche suggerisce il fatto che può essere ancora interessante scoprire che cosa significhino, per le scienze «puritano» ed «etos». Due accenni di informazione biografica possono rendere questo problema particolarmente interessante. Denis Papin che costruì la seconda pompa ad aria di Boyle ed inventò la pentola a pressione, era un ugonotto scacciato dalla Francia dalle persecuzioni della metà del XVII secolo. Abraham Bréguet, il costruttore di strumenti entrato a forza nell'Accademia Francese delle Scienze nel 1816, era un immigrato da Neuchâtel dove la sua famiglia era fuggita dopo la revoca dell'Editto di Nantes.

La genesi della fisica moderna.

Il mio argomento finale deve essere presentato come un epilogo, uno schizzo provvisorio di una concezione da sviluppare e modificare per mezzo di ulteriore ricerca. Ma, avendo seguito le linee di sviluppo generalmente separate delle scienze classiche e di quelle baconiane sino alla fine del XVIII secolo, devo almeno chiedermi che cosa accadde dopo. Chi ha familiarità con la situazione scientifica contemporanea riconoscerà che le scienze fisiche non si adattano più allo schema sopra illustrato, e questo ha reso difficile lo schema stesso. Quando e come avvenne la modifica? Quale fu la sua natura?

Parte della risposta sta nel fatto che le scienze fisiche, durante il XIX secolo parteciparono alla rapida crescita ed alla

trasformazione subita da tutte le professioni intellettuali. Discipline più antiche come la medicina e la giurisprudenza acquistarono nuove forme istituzionali più rigide e con standard intellettuali più esclusivi di quanto non avessero conosciuto prima. Nelle scienze dalla fine del XVIII secolo il numero di riviste e di società aumentò rapidamente e molte di loro, a differenza delle accademie nazionali tradizionali e delle loro pubblicazioni, furono riservate a singoli settori scientifici. Antiche discipline come la matematica e l'astronomia, divennero per la prima volta professioni con un proprio sistema istituzionale¹.

Fenomeni analoghi si verificarono solo poco più tardi nei settori baconiani più recenti ed una conseguenza di ciò fu un allentarsi dei legami che le avevano precedentemente tenute insieme. La chimica in particolare era divenuta, al più tardi dalla metà del secolo, una professione intellettuale autonoma, ancora legata all'industria e ad altri campi sperimentali ma con una identità ora distinta dalle altre. In parte per queste ragioni istituzionali ed in parte a causa degli effetti della ricerca chimica, prima della teoria atomica di Dalton e poi del crescente interesse per i composti organici, i concetti chimici rapidamente si allontanarono da quelli utilizzati in altri settori delle scienze fisiche. Quando questo si verificò, argomenti come il calore e l'elettricità si allontanarono sempre di più dalla chimica e furono lasciati ai filosofi sperimentali o ad una nuova disciplina, la fisica, che stava sempre di più prendendo il suo posto.

Una seconda importante causa di mutamento durante il XIX secolo fu un graduale mutamento di indirizzo della identità percepita della matematica. Fino forse alla metà del secolo, argomenti come la meccanica celeste, l'idrodinamica, l'elasticità e le vibrazioni dei mezzi continui e discontinui, furono al centro della ricerca matematica professionale. Settantacinque anni più tardi essi erano divenuti «matematica applicata» argomento separato e generalmente di rango inferiore rispetto alle più astratte problematiche di «matematica

¹ E. MENDELSON, *The emergence of Science as a profession in Nineteenth-Century Europe*, in *The Management of Science*, a cura di K. Hill, Boston 1964.