

## Per una didattica di riforma

Questa collana, dedicata soprattutto a chi opera nella scuola nella prospettiva di riforma, si inserisce in un momento cruciale della lotta per il rinnovamento della cultura e delle istituzioni educative. Il suo scopo è quello di accogliere la richiesta di alta divulgazione che proviene dal mondo della scuola: che non significa in nessun modo semplificazione e appiattimento ma al contrario invito alla chiarezza, capacità di rendere le discussioni scientifiche momenti di battaglia democratica, nella consapevolezza che la ricerca progredisce proprio quando i suoi risultati vengono prontamente percepiti, raccolti, divulgati, quando diventano oggetto di discussioni ampie e non improvvisate.

In questa prospettiva, la proposta di un'ottica interdisciplinare viene a significare non una convergenza imposta a priori, un invito a confondere o a ridurre lo specifico di ogni approccio scientifico, ma piuttosto ricerca rigorosa e insieme aperta e problematica sui temi che impegnano la società contemporanea e che proprio per la loro complessità, si pongono immediatamente come multidisciplinari, tali cioè che non possono essere trattati unicamente nei termini della tradizionale ripartizione delle competenze.

L. 1000 (944)

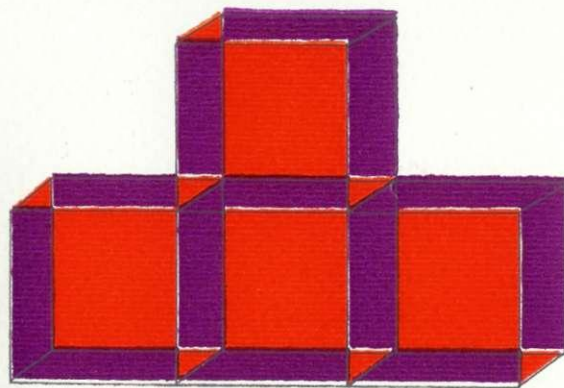
76-0188-3

2 Per una didattica di riforma

GUARALDI

Angelo Baracca  
Arcangelo Rossi

# SCIENZA E PRODUZIONE NEL '700



Per una didattica di riforma-2  
GUARALDI

Angelo Baracca  
Arcangelo Rossi

PER UNA DIDATTICA DI RIFORMA

Comitato di redazione: Valentino Baldacci, Scipione Guaracino, Alessandro Savorelli, Gigliola Sbordonì, Giampaolo Taurini, Mario Vezzani.

SCIENZA  
E PRODUZIONE  
NEL 700

Guaraldi Editore

ANGELO BARACCA Sviluppo produttivo e pensiero scientifico nell'Inghilterra del secolo XVIII	7
ARCANGELO ROSSI Sperimentalismo inglese e razionalismo francese nella fisica del '700	37

© 1977 by Guaraldi Editore S.p.A.

Direzione editoriale:  
Via Masaccio 268 - FIRENZE

Finito di stampare  
dalla Cooperativa Lavoratori Officine Grafiche Firenze  
nel mese di settembre 1977

ANGELO BARACCA

## Sviluppo produttivo e pensiero scientifico nell'Inghilterra del secolo XVIII

### GLI AUTORI

Angelo Baracca insegna Meccanica statistica presso l'Università di Firenze e svolge attività di ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari. Ha pubblicato lavori sulla storia della fisica ed è autore con S. Bergia di *La spirale delle alte energie* (Milano 1975) e con A. Rossi di *Marxismo e scienze naturali* (Bari 1976).

Arcangelo Rossi è stato allievo della Scuola Normale Superiore di Pisa e insegna Storia della fisica presso l'Università di Lecce. È autore di lavori su Copernico e sulla fisica del '700 ed ha pubblicato *Popper e la filosofia della scienza* (Firenze 1975) ed è autore insieme a A. Baracca di *Marxismo e scienze naturali* (Bari 1976).

La scienza viene comunemente presentata come pura e disinteressata ricerca della verità, che evolve e si struttura di volta in volta per rispondere alle sole domande che sorgono all'interno del suo operare, man mano che essa allarga e approfondisce l'indagine sulla natura.

Ma una tale immagine, sulla quale l'ideologia borghese organizza il consenso a tutti i livelli, nasconde e mistifica i legami profondi che la scienza ha con la struttura economica e produttiva. In realtà la scienza, nel corso del suo sviluppo, affronta di volta in volta i problemi che concretamente si pongono nel contesto delle esigenze dello sviluppo economico e sociale, i nuovi ambiti di fenomeni che vengono dischiusi man mano che il rapporto instaurato dall'uomo con la natura si modifica insieme al modo storicamente specifico di produrre la base materiale della vita.

Di fatto la «Rivoluzione scientifica» del XVII sec. avviene in un periodo in cui la borghesia

emerge decisamente alla ribalta della storia e preme contro i vecchi rapporti sociali. E, significativamente, è una «rivoluzione a metà» che è incapace di rompere fino in fondo con una concezione aristotelica della esperienza come illustrazione di ipotesi presupposte in base alla concezione dell'universo, e che dà luogo ad una scienza ancora profondamente imbevuta di presupposti metafisici. È un fatto che solo con la definitiva affermazione del dominio sociale della borghesia e con l'instaurazione di rapporti di produzione capitalistici la scienza si libera progressivamente da quelle implicazioni metafisiche. Il XVIII sec. rappresenta un momento in cui questo processo assume contorni più netti.

La tesi che qui vogliamo discutere è che l'emancipazione della scienza, la formazione di concetti e principi che vanno realmente al di là della scienza newtoniana avvengono negli ambienti dei tecnici, che sono a diretto contatto con le nuove esigenze poste dalla rivoluzione industriale in Inghilterra.

1.

Se si considera l'assetto sociale, economico e produttivo della Francia e dell'Inghilterra nel '700, ci si trova di fronte a due situazioni completamente diverse sia per il livello delle forze produttive che per il tipo di rapporti sociali. Per i rapporti sociali la differenza è addirittura macroscopica: in Inghilterra è già avvenuta alla fine del '600 la rivoluzione borghese, che invece avverrà in Francia soltanto un secolo più tardi,

alla fine del '700. Quindi in Francia si ha un rapporto ancora ideologico con la realtà, in cui la scienza viene vista come una forza liberatrice in senso illuministico, all'interno di quegli stessi rapporti sociali esistenti; così, l'esigenza che la scienza promuova direttamente la produzione è sì sentita, ma in modo distorto, cioè nell'ambito della produzione artigianale anziché in quello della nuova produzione industriale, che invece in Inghilterra verrà instaurata proprio in quel secolo. In Inghilterra si stabilisce un legame molto più diretto con le esigenze del mondo della tecnica e della produzione anche se nell'ambiente accademico questo legame rimane ancora esteriore, cioè la realizzazione tecnica rimane ancora una conferma tutta esteriore delle speculazioni scientifiche.

Ebbene, questo legame si stabilisce, secondo me, in Inghilterra in un ambiente nuovo, quello in cui operano le nuove figure di tecnici e di ingegneri, mossi appunto dalle nuove esigenze produttive.

Ma, per analizzare la situazione inglese, bisogna fare i conti, anche se molto brevemente, con l'opera di Newton, perché già essa rispecchia inequivocabilmente la situazione economica e sociale, il livello delle forze produttive, il particolare modo di produzione che c'è in Inghilterra tra la fine del '600 e i primi del '700. L'unificazione delle leggi del mondo terrestre e di quello celeste sulla base della legge di gravitazione rispecchia una consapevolezza tutta nuova del ruolo dell'uomo nei confronti della natura. Newton poi inaugura nella fisica una concezione corpuscolare (c'è chi fa risalire addirittura a Newton piuttosto

che a Dalton la concezione atomica della materia): è un atomismo fisico e in parte ancora filosofico, più che l'atomismo chimico moderno, però diventa un aspetto pregnante dell'opera di Newton per alcuni risvolti che mi interessano direttamente e che ora esporrò. Certo questo aspetto dovrebbe essere inquadrato nel complesso dell'opera di Newton, che presenta aspetti molteplici, sui quali non posso dilungarmi. Vi sono, per esempio, dei forti limiti alla impostazione empiristica di Newton, ma d'altra parte anche dei forti limiti ad una interpretazione razionalistica e matematizzante della sua opera: è noto per esempio l'aspetto fideistico, teistico presente in Newton, secondo il quale Dio interviene attivamente nel mondo, mantiene in moto i pianeti, garantisce la stabilità del sistema solare (quella stabilità che in Francia verrà più tardi dimostrata da Laplace sulla base solo della meccanica razionale). Certo Newton è un passo avanti rispetto alla pura speculazione razionalistica cartesiana e leibniziana, e in ciò rispecchia una classe sociale nuova; però è un passo avanti nel senso che sceglie altre ipotesi, più aderenti ad un nuovo livello di sviluppo della scienza, ma che sempre ipotesi rimangono.

Ci sono due libri molto belli di Koyré, di cui consiglio la lettura: *Studi newtoniani* e *Dal mondo chiuso all'universo infinito*. Koyré coglie, molto bene, mi sembra, quest'aspetto speculativo del pensiero di Newton, che rifiuta come metafisiche le ipotesi di Cartesio, ma che in realtà finisce per accettare altre ipotesi; «Apparentemente, poi, - scrive Koyré - ammettere l'esistenza del vuoto, degli atomi, di uno spirito etereo e di

forze non meccaniche non è lo stesso che  *fingere*  ipotesi [questo, di fatto, è quanto fa Newton]; mentre postulare la pienezza dello spazio, i vortici e la conservazione della quantità di movimento nell'universo [queste sono le concezioni di Cartesio] equivale, al contrario, a rendersi colpevoli dell'uso di questo metodo [questo è infatti il rimprovero che Newton fa agli altri]. L'espressione "ipotesi" sembra dunque essere diventata per Newton, negli ultimi anni della sua vita, uno di quei termini singolari come "eresia" che non si applicano mai a se stessi ma solo agli altri. *Noi* non "fingiamo" ipotesi, *noi* non siamo eretici. Sono loro - i baconiani, i cartesiani, Leibniz, Hooke, Cheyne e altri - *loro* "fingono" ipotesi, *loro* sono gli eretici». Questo è l'atteggiamento di Newton rispetto al passato, un atteggiamento quindi ancora speculativo per molti aspetti.

Qui, dicevo, mi interessa particolarmente un altro aspetto della concezione di Newton sul piano dei concetti fisici che egli usa. Egli parte dunque da una teoria corpuscolare e proprio per questo è costretto a concludere che negli urti fra i corpi il moto non si conserva (dico «il moto» e non «l'energia» perché non voglio entrare nel merito del dibattito specialistico sulla quantità di moto  $mv$  o la «vis viva»  $mv^2$ ). Newton nega dunque i principi di conservazione e lo dice chiaramente in alcuni brani. «Corpi che sono o assolutamente duri, o così molli da essere privi di Elasticità, non rimbalzano l'uno dall'altro. L'impenetrabilità li fa solo fermare. Se due corpi uguali si incontrano direttamente *nel vuoto*, essi per le Leggi del Moto si fermano dove si incontrano, e perdono tutto il loro Moto, e rimangono

a riposo, a meno che essi non siano elastici, e ricevano nuovo moto dalla loro elasticità».

E scrive ancora: «... dalle varie composizioni dei due moti appare sicuro che nel mondo non c'è sempre la stessa quantità di movimento». E ancora: «Considerando perciò che la varietà dei movimenti che troviamo nel mondo decresce continuamente, è necessario conservarla e accrescerla mediante principi attivi». Questo principio attivo per Newton è l'intervento di Dio nel mondo; a causa di questa concezione nascerà poi una disputa accessissima tra Newton e Leibniz, che viene discussa in dettaglio nel libro di Koyré che ho già citato, *Dal mondo chiuso all'universo infinito*. Ma c'è da aggiungere che in Newton mancano non solo leggi di conservazione, ma anche i concetti di lavoro e di energia; c'è un concetto piuttosto generico di quantità di moto, ma mancano concetti precisi che corrispondono a quelli pratici di lavoro e di energia. Richiamo qui, per chi non è cultore di fisica, che per lavoro si intende la capacità di spostare il punto di applicazione di una forza: per esempio, si compie lavoro se si alza un corpo pesante, cioè si sposta verso l'alto il punto di applicazione della forza-peso (si ricordi che la forza-peso è applicata al baricentro del corpo). Ora, a ben vedere, questa mancanza dei concetti di lavoro, di energia e dei principi di conservazione in Newton non meraviglia affatto, se ci si richiama brevemente a quale era il modo di produzione in Inghilterra in quel tempo.

Fra la fine del '600 e i primi del '700 in Inghilterra predominava nell'attività industriale la produzione della lana; i filati e i tessuti di lana

venivano prodotti in pratica dai contadini, da quei piccoli proprietari o fittavoli che erano il tratto caratteristico delle campagne inglesi (sul continente permanevano invece aspetti feudali). Ogni famiglia in molte regioni possedeva un filatoio, un telaio, e con essi arrotondava i proventi del lavoro dei campi. È un modo di produzione in cui il produttore ha la proprietà tanto del mezzo di produzione, quanto del prodotto: non c'è ancora quella espropriazione che si produrrà poi nei decenni successivi. È facile capire che in un tale modo di produzione non nascerà mai l'esigenza di fare un calcolo del lavoro che si spende per azionare una certa macchina, di sapere se il lavoro di cui si dispone è sufficiente per azionare più macchine, o di porsi altri problemi di questo tipo, e ciò proprio perché il lavoro è commisurato alle forze naturali di cui l'uomo dispone. Nell'ambito di questo modo di produzione, non può nascere l'esigenza di razionalizzare concetti come lavoro, come energia, o di chiedersi se l'energia si trasformi o se ci sia una equivalenza fra diverse forme di energia o fonti di energia, o simili. Il limite dianzi rilevato nell'opera di Newton appare dunque abbastanza naturale. I decenni successivi cambiano radicalmente questa situazione: si hanno i prodromi della rivoluzione industriale.

2.

Mi soffermerò allora brevemente su due aspetti: le trasformazioni di carattere tecnico-produttivo e quelle di carattere culturale, che sono strettamente legate alle prime.

Nell'ambito della produzione nei decenni successivi si verifica in primo luogo l'emergere di un capitale commerciale: i grandi commercianti diventano commercianti produttori, acquistano le macchine che prima erano di proprietà degli operai e ora invece le affittano agli operai, a quegli stessi contadini, i quali vengono così espropriati dei mezzi di produzione; si ha simultaneamente anche l'espropriazione del prodotto del lavoro, in quanto anche la materia prima viene fornita da questi commercianti, i quali prelevano poi il prodotto finito e provvedono a smerciarlo sul mercato. Comincia così a nascere la figura embrionale del lavoratore salariato. È l'epoca del predominio del capitale commerciale, che però è solo il primo stadio delle trasformazioni che rivoluzionano la vecchia struttura sociale: il secondo stadio è la vera e propria industrializzazione, cioè la concentrazione vera e propria di varie fasi della produzione in unico luogo. Ma, come ha messo bene in risalto il Mantoux nel libro *La rivoluzione industriale*, le trasformazioni produttive non si riducono alla pura concentrazione dei mezzi di produzione; c'è molto di più, e non è fuor di luogo richiamarlo brevemente in questa sede.

Nasce, dicevo, la figura dell'operaio salariato che possiede solo la propria forza-lavoro che è una merce di cui egli dispone ora liberamente (è uno dei tratti caratteristici della società capitalistica rispetto a quelle che l'hanno preceduta) e che può scambiare con altre merci. Marx ha messo in rilievo che l'operaio salariato scambia questa merce con una certa quantità di denaro, che è la quantità di denaro sufficiente alla ripro-

duzione, al mantenimento dell'operaio e della sua famiglia, quindi alla conservazione e alla riproduzione della forza-lavoro. Però l'operaio una volta che ha venduto la sua forza-lavoro non pone limiti al capitalista per utilizzarla. Il capitalista di fatto la utilizza finché vuole, la utilizza al di là del tempo necessario per produrre una quantità di beni equivalenti al salario con cui l'operaio è stato pagato, quel valore equivalente ai mezzi necessari alla conservazione e alla riproduzione della forza-lavoro. L'operaio fornisce così un sopra-lavoro, durante il quale produce un *plus-valore*, che è il *profitto* del capitalista. Quest'ultimo ha essenzialmente due modi per aumentare il profitto: o allunga la giornata lavorativa dell'operaio, e incontra in ciò dei limiti naturali, oppure aumenta la produttività del lavoro. E come fa ad aumentare la produttività del lavoro, cioè il valore prodotto nell'unità di tempo di lavoro dell'operaio? È proprio per fare questo che egli ricorre alle macchine. Esse svolgono questo ruolo preciso nella produzione capitalistica. Vorrei ancora richiamare i termini in cui Marx analizza le macchine al fine di precisarne non solo il ruolo economico-produttivo, ma per vederne anche la genesi storica. Marx scrive nel *Capitale* che la macchina è composta di tre parti: la macchina utensile, il meccanismo di trasmissione e la macchina motrice, o forza motrice. Ora, la seconda parte, il meccanismo di trasmissione, è una cosa abbastanza priva di interesse ai miei scopi, mentre invece la prima e la terza sono le più interessanti. La *macchina utensile* è essenzialmente quella parte che sostituisce l'operaio nel lavoro ed ha una grande importanza per

capire le trasformazioni, anche concettuali, che avvengono nell'evoluzione scientifica dell'800. Su questo ruolo dello strumento si sofferma Alfred Schmidt nel libro *Il concetto di natura in Marx*: egli definisce lo *strumento* come un frammento di natura incorporata, con l'ausilio del quale gli oggetti sono trasformati sempre più in risultati dell'attività soggettiva, mentre vengono dischiusi ambiti sempre nuovi della natura; verificheremo direttamente quest'ultima affermazione a proposito della macchina a vapore. Aggiunge poi lo Schmidt a proposito degli strumenti: «Non c'è dubbio che le astrazioni più elementari degli uomini sono sorte in connessione con i processi del lavoro, in particolare con la produzione di strumenti». Vorrei richiamare, in connessione con ciò, uno studio di Daumas che mette in rilievo come la fisica dell'inizio del '700 in Inghilterra, benché faccia già ricorso alle misure, sia ancora però qualitativa, basata su misure ancora molto approssimate; Daumas indica anzi molto chiaramente come il concetto di precisione della misura e anche l'abitudine ad eseguire misure precise nascono proprio con la rivoluzione industriale, con lo sviluppo della tecnica, la quale mette a disposizione gli strumenti adatti: un esempio tipico è il tornio che viene messo a punto con la tecnica di costruzione degli orologi lungo tutto il '700; nasce allo stesso modo tutta la meccanica di precisione.

Detto questo sulla macchina utensile, il mio discorso si concentra ora più sulla terza parte della macchina: la *macchina motrice*. Si capisce come la crescente disponibilità delle macchine e la concentrazione industriale che ne segue, cioè

la concentrazione delle varie fasi della produzione in un unico luogo, pongano l'esigenza di disporre di fonti di energia sempre più potenti. Sono essenzialmente tre le forme di energia a cui si ricorre:

a) la più antica è sicuramente l'energia animale, comprendendo in questa anche l'energia umana. Vi ricordo che l'allagamento dei pozzi delle miniere man mano che si andava più a fondo con gli scavi aveva costituito un grosso problema, causando un vero e proprio ristagno della produzione mineraria in Inghilterra ai primi del '700: questo problema fu affrontato inizialmente con pompe azionate da cavalli, e si arrivò a utilizzare fino a 500 cavalli per azionare delle pompe per prosciugare i pozzi delle miniere. Il metodo diventava estremamente dispendioso e poco pratico: questo problema spinse ai primi usi della macchina a vapore.

b) Una seconda fonte d'energia era costituita dall'acqua: una fonte naturale d'energia che veniva sfruttata con ruote idrauliche e con altre macchine anche più complesse su cui non posso dilungarmi. È bene sottolineare che l'uso dell'acqua come fonte di energia è stato uno dei fattori determinanti dell'avvio della rivoluzione industriale e solo in una seconda fase il vapore ha preso il sopravvento sull'acqua. Naturalmente questo poneva delle forti restrizioni: bisognava infatti scegliere il luogo in cui costruire le fabbriche in relazione alla disponibilità di acqua, e questo vincolava fortemente gli insediamenti industriali.

c) C'era necessità quindi di un mezzo che fosse più elastico, più flessibile, meno legato ai

fattori stagionali: questo fu fornito dal vapore, la terza fonte di energia su cui mi soffermerò.

Ma prima di entrare in dettaglio sul problema delle fonti di energia, mi ero proposto di soffermarmi sui fermenti culturali che si accompagnano a queste trasformazioni produttive. La nuova classe in ascesa ha bisogno di nuove sedi di cultura diverse da quelle istituzionali. Queste ultime sono le Università di Cambridge, di Oxford, le classiche università inglesi in cui continua ad essere impartita una cultura accademica scolastica. Le nuove sedi di cultura, che si istituiscono in questo periodo, sono di vario tipo. La Scozia è un paese in fermento, più ricettivo, meno legato alla tradizione dell'Inghilterra, e le Università di Glasgow e di Edimburgo sanno legarsi più strettamente ai nuovi sviluppi del mondo della tecnica e della produzione. Ma al di là anche delle sedi istituzionali come queste, le nuove classi si creano istituzioni nuove proprie. È un vero pullulare di società culturali, letterarie e scientifiche che vengono create in Inghilterra in questo periodo un po' dappertutto e alle cui riunioni partecipano tecnici, imprenditori, esponenti delle classi nuove. Degli *itinerant lecturers*, cioè docenti viaggianti che non sono legati ad una sede universitaria, tengono di anno in anno in tutte le città lezioni a livello popolare. Si tengono anche corsi appositi per chi è direttamente impegnato nell'industria e nella produzione. I grandi tecnici, che saranno al centro delle nostre considerazioni, partecipano attivamente alla vita di queste società; spesso si tratta di tecnici ad altissimo livello scientifico, membri at-

tivi anche della Royal Society. In questi nuovi ambienti, che nascono appunto per l'iniziativa individuale sotto l'impulso di questa nuova classe in ascesa, e non hanno un ruolo ufficiale, comincia a realizzarsi il primo collegamento reale fra tecnica ed elaborazione scientifica: non certo l'elaborazione speculativa dell'ambiente accademico, ma l'elaborazione scientifica dei tecnici che in questo periodo producono nuova scienza, ed anzi la scienza più valida e più dirompente. Certo però, occorre dirlo chiaramente, non si deve pensare ad un immediato massiccio inserimento della scienza nella produzione; è semmai la scienza che ora viene radicalmente rinnovata dalle nuove esigenze produttive, mentre si dovrà attendere il secolo successivo perché la scienza diventi un fattore trainante del progresso tecnico. Comunque, i primi tentativi di saldare la scienza alle esigenze della produzione avvengono proprio ora; basti pensare che queste società si interessano per esempio a trovare nuovi metodi per il candeggio dei tessuti, inaugurando un rinnovato interesse per la chimica: sarà James Watt, questo è un particolare significativo, a introdurre e ad estendere in Inghilterra il metodo per il candeggio che viene inventato in Francia da Berthelot nella seconda metà del '700. A questo punto, vorrei passare a vedere in modo specifico quali reali contributi abbiano apportato questi tecnici di cui ho parlato.

3.

Una prima figura di grande rilievo è quella di un ingegnere: John Smeaton che è vissuto fra

il 1724 e il 1792. È un tecnico d'avanguardia. È il Presidente della prima società tecnica che viene creata a fianco della associazione scientifica ufficiale che è la Royal Society; società tecnica che dopo la sua morte si chiamerà addirittura «Smeatonian Society» in suo onore. Smeaton è impegnato attivamente nella costruzione delle macchine più avanzate: costruisce ruote idrauliche per i maggiori industriali dell'epoca, è impegnato nel miglioramento della macchina a vapore (che, vi ricordo, anche se ne parlerò solo nella ultima parte di questa conversazione, era nata alla fine del '600, benché in forma ancora inadeguata alle esigenze per cui era stata introdotta): Smeaton ne raddoppia il rendimento, compiendo studi su modelli in scala ridotta. Lo studio su modelli è anzi, come vedremo, una caratteristica costante del modo di procedere di Smeaton. Proprio in relazione a questa sua febbrile attività pratica, verso la metà del secolo egli si pone l'obiettivo di migliorare il rendimento delle ruote ad acqua. Esistono a quel tempo essenzialmente due tipi di ruote: si può infatti mettere la ruota su un corso d'acqua piano in maniera che l'acqua scorrendo *da sotto* aziona le pale della ruota; oppure, se si dispone di una caduta d'acqua, si può far cadere l'acqua sulle pale della ruota e quindi azionare la ruota *da sopra* anche con l'urto dell'acqua e l'azione della gravità. Le idee sui vantaggi e gli svantaggi dei due tipi di ruote sono a quel tempo tutt'altro che chiare. Ma proprio Smeaton si pone questo problema del tutto nuovo: quello di stabilire quale tipo di ruota ad acqua abbia maggiore rendimento. La spinta delle nuove esigenze pratiche consente di ta-

gliare nettamente con un colpo solo con tutte le speculazioni di tipo metafisico. Smeaton dichiara esplicitamente il suo scopo, scrivendo di voler «trovare il carico che una ruota dovrebbe avere per lavorare con il massimo vantaggio, conoscendo l'effetto che dovrebbe produrre e la velocità che dovrebbe avere nel produrlo». È questo un modo del tutto nuovo di porre un problema scientifico. Un altro grande ingegnere, Peter Ewart ai primi dell'800 potrà scrivere a proposito del lavoro di Smeaton: «Sebbene le ruote azionate da sotto fossero circa 50 anni fa le più diffuse, esse s'incontrano ora raramente ed ogni volta che l'economia della potenza è uno scopo non se ne costruiscono di nuove». Questo perché? Perché Smeaton dimostra che il rendimento massimo delle ruote azionate da sopra è doppio di quello delle ruote azionate da sotto. E l'indicazione viene immediatamente recepita a livello tecnico, come mostra la constatazione di Ewart che da 50 anni non vengono più costruite ruote azionate da sotto, mentre prima esse costituivano il tipo dominante.

Anche per lo studio delle ruote ad acqua Smeaton costruisce un modello in scala e compie su di esso delle misure precise. Si può ripetere a questo proposito l'osservazione, che ho fatto in precedenza, della precisione delle misure che è un prodotto della rivoluzione industriale. Smeaton misura la quantità d'acqua disponibile conoscendo la portata e il numero di colpi della pompa incorporata nel modello; misura poi il flusso d'acqua con metodi accurati e il numero dei giri compiuti dalla ruota; questa poi, girando, solleva un peso attraverso una carrucola. E qui sta

un fondamentale contributo di Smeaton: se nuovo è il compito che egli si prefigge, egli deve disporre anche degli strumenti *concettuali* adeguati per raggiungerlo. Al di là di tutte le sterili dispute accademiche sul moto, serve ora un concetto legato al rendimento della ruota. Il nuovo concetto di *lavoro* risponde proprio a questa esigenza pratica: «Poiché sarei obbligato a fare uso di un termine che fino ad oggi è stato causa di discussioni, ritengo necessario assegnare il senso nel quale intendo usarlo; e nel quale, secondo me, esso è usato nella "meccanica pratica". La parola "potenza" [potenza è il lavoro nella unità di tempo], come è usata nella meccanica pratica, significa secondo me l'applicazione di una forza, gravitazione, impulso o pressione in modo da produrre moto: e per mezzo di forza, gravitazione, impulso o pressione composta con moto la capacità di produrre un effetto e che nessun effetto è necessariamente meccanico, ma tale da richiedere un tale tipo di potenza per produrlo», cioè quelle azioni che egli ha specificato in precedenza. Gli esempi che poi Smeaton porta sono estremamente chiarificatori: «Il sollevamento di un peso, relativo all'altezza cui esso può essere sollevato in un dato tempo, è la misura più appropriata di potenza o, in altre parole, se si moltiplica il peso sollevato per l'altezza cui esso può essere sollevato in un dato tempo, il prodotto è la misura della potenza che lo solleva; e conseguentemente, sono uguali tutte quelle potenze, i cui prodotti, costituiti da queste moltiplicazioni sono uguali: perché se una potenza può sollevare un peso doppio alla stessa altezza; o lo stesso peso ad altezza dop-

pia, nello stesso tempo in cui può farlo un'altra potenza, la prima potenza è doppia della seconda: e se una potenza può sollevare un peso dimezzato ad altezza doppia; o un peso doppio a metà altezza, nello stesso tempo in cui un'altra può farlo, quelle due potenze sono uguali». In questo modo si possono paragonare anche potenze connesse a pesi diversi; come peso dimezzato ad altezza doppia o peso doppio ad altezza dimezzata: poiché il prodotto è lo stesso, queste potenze sono uguali. Vedete dunque la scientificità della definizione, derivante dallo scopo di eseguire misure accurate, in questa capacità di fissare un criterio di confronto tra potenze diverse, che è il primo passo per poter definire un'unità di misura. E c'è dr. sottolineare anche che si tratta di una definizione operativa, adeguata appunto a quello scopo ben preciso, perché poi Smeaton esegue le sue misura sul modello della ruota sulla base proprio di questa definizione. Egli fa variare il flusso d'acqua che aziona la ruota e misura il numero di giri che questa compie e l'altezza a cui essa solleva il peso per mezzo della carrucola. Il procedimento è completamente induttivo e non lascia nulla a speculazioni metafisiche: facendo variare i vari fattori, Smeaton costruisce delle tabelle dalle quali ricava il rendimento massimo della ruota e le condizioni nelle quali esso si realizza. Si hanno così le prescrizioni per costruire delle ruote che siano in grado di sfruttare al massimo la potenza di cui si dispone. La conclusione più rilevante è la superiorità delle ruote azionate da sopra.

Oltre a introdurre il concetto di potenza,

Smeaton è costretto anche a fare i primi bilanci energetici, è costretto cioè ad introdurre (non certo esplicitamente ma ad utilizzare nella pratica in maniera abbastanza precisa) il concetto di conservazione dell'energia meccanica. È forse il caso di richiamare di cosa si tratta per chi non è cultore della materia. Supponiamo, per fissare le idee, che un peso cada da un'altezza  $h$  ad un'altezza minore  $h'$ . Si può assegnare alla quota a cui il peso si trova un'energia, che si dice energia potenziale, la cui differenza nei due punti uguaglia il lavoro compiuto nella caduta del peso. Ma il peso, nel cadere, acquista velocità e quindi energia cinetica, che è definita come

$\frac{1}{2} m v^2$ , dove  $m$  è la massa del corpo. Il principio di conservazione dell'energia meccanica stabilisce che l'energia cinetica acquistata nella caduta uguaglia la differenza di energia potenziale tra le due quote; in altre parole, si può dire che la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale si conserva durante la caduta: l'una si trasforma nell'altra, cioè quello che si perde in energia potenziale, eseguendo un lavoro, si guadagna in energia cinetica. Smeaton non enuncia questo principio, però, è costretto ad utilizzarlo; perché infatti nel caso delle ruote azionate da sopra l'acqua arriva dall'alto sulle pale: percorre cioè un primo dislivello in caduta libera acquistando così energia cinetica, urta poi le pale e percorre il secondo dislivello azionando le pale col proprio peso. Smeaton è perciò costretto a confrontare questi due cammini e per questo egli deve sapere se il dislivello attraverso il quale l'acqua agisce sulle pale può essere considerato alla stregua del di-

slivello attraverso il quale l'acqua cade in caduta libera. La conclusione di Smeaton è che se l'urto dell'acqua sulle pale fosse elastico non vi sarebbe alcuna differenza tra il caso in cui tutto il dislivello è percorso dall'acqua agendo sulle pale e quello in cui tutto il dislivello è compiuto in caduta libera dopo di che l'acqua comunica alle pale della ruota tutta l'energia cinetica che ha così acquistato. Essendo costretto a fare un bilancio energetico Smeaton finisce per utilizzare il principio di conservazione dell'energia meccanica, quel principio che era stato negato, come abbiamo visto, da Newton.

Scrivere infatti Smeaton: «Ragionando senza esperimento, si sarebbe portati ad immaginare che, comunque diverso sia il modo di applicazione, tuttavia ogni volta che la stessa quantità d'acqua discende perpendicolarmente attraverso lo stesso spazio, la potenza effettiva naturale sarebbe uguale». Non è proprio l'equivalenza di energia potenziale ed energia cinetica? Le due situazioni in cui l'acqua cade in caduta libera e poi comunica l'energia che ha acquistato alla ruota con un urto elastico, o in cui invece agisce sulla ruota per l'intero dislivello comunicando l'energia alla ruota tramite la forza peso, queste due situazioni sono equivalenti.

Ci sono altri brani significativi, ma la ristrettezza del tempo non mi consente di dilungarmi oltre. Mi basta avere dato l'idea di come questo ingegnere, così impegnato con i problemi tecnici e produttivi chiave per lo sviluppo della società del suo tempo e della nuova classe sociale di cui egli fa parte, pur continuando a muoversi entro l'orizzonte del-

la scienza newtoniana (vedremo come Watt superi invece realmente i limiti del meccanismo newtoniano), ne sviluppi e completi in modo originale e con spirito nuovo gli strumenti. Vale la pena di rilevare ancora come Smeaton, in queste considerazioni, giunga a dare anche un'altra prescrizione pratica di cui vedremo l'importanza in seguito.

L'energia cinetica dell'acqua viene comunicata integralmente alla ruota se si suppone che l'acqua urti elasticamente sulle pale e quindi possa comunicare alle pale tutta l'energia che ha acquistato; questo però non succede in pratica: l'acqua è un corpo anelastico, si deforma quando urta le pale e parte dell'energia che ha acquistato va perduta nella deformazione. In pratica non si ha quindi la conservazione dell'energia. Smeaton può allora dare una prescrizione che è molto importante per aumentare il rendimento delle ruote idrauliche: nelle ruote azionate da sopra, le quali hanno il rendimento maggiore, bisogna che l'acqua arrivi sulle pale con una differenza di velocità minima rispetto alle pale in maniera che l'urto sia minimo; per avere il massimo di rendimento occorre cioè che la ruota giri con una velocità tale che la differenza di velocità fra l'acqua che arriva e le pale sia minima, in maniera da disperdere meno energia possibile nella deformazione dell'acqua, e che l'acqua abbandoni le pale con una differenza di velocità minima rispetto ad esse. Se riflettete un momento, converrete che questa prescrizione, che è a tuttoggi a fondamento dell'idraulica, riecheggia molto da vicino la prescrizione che quasi 70 anni dopo Sadi Carnot darà per la macchina

a vapore quando prescriverà che gli scambi di calore con le sorgenti di calore avvengano con differenze di temperatura minime, al limite nulle: per avere il massimo di rendimento, la sorgente e il fluido su cui lavora la macchina devono cioè essere alla medesima temperatura, non deve esserci calore disperso per differenza di temperatura. Bene, nel caso meccanico non deve esserci dispersione di energia per differenza di velocità. Naturalmente non è così meccanico il passaggio da Smeaton a Carnot, cioè a quell'ambiente francese che per ora appare così lontano da interessi tecnici: c'è in realtà di mezzo la rivoluzione della borghesia in Francia, come vedremo meglio nel seguito.

Ancora una cosa c'è da osservare a proposito delle ultime considerazioni che abbiamo fatto. Questa osservazione di Smeaton sulla perdita di energia cinetica negli urti inelastici è certo corretta, ma incompleta; e si tratta di una lacuna significativa. L'incapacità di Smeaton di comprendere la trasformazione dell'energia meccanica in calore mostra come questo tecnico, pur geniale e innovatore, sia incapace di uscire dai limiti del meccanicismo newtoniano, di compiere cioè quel salto che 20 o 30 anni dopo Watt compirà per la prima volta.

4.

Veniamo dunque a James Watt (1736-1819), a questa figura molto complessa, poliedrica, di cui però a noi interessa quasi soltanto il lavoro sulla macchina a vapore. Anche Watt è un tecnico: entra come riparatore di strumenti all'Uni-

versità di Glasgow, in quell'ambiente scozzese così sensibile, a differenza di quello delle università inglesi, ai fermenti innovatori del tempo. Qui stringe solidi legami col chimico Black e con altri accademici, tutti interessati ai nuovi problemi tecnici. Black è il primo a studiare in modo nuovo i fenomeni connessi col calore e, introducendo il calore specifico, distingue fra temperatura e calore, questi due concetti che sono stati fino allora così confusi. Watt porta contributi fondamentali anche in questa direzione, spartendo con Black il merito della scoperta dei calori latenti; merito che consiste naturalmente in questa capacità di affrontare in modo nuovo i fenomeni, di fronte alla quale il problema della priorità della scoperta diviene assolutamente irrilevante. Anche se Watt va famoso per il perfezionamento definitivo della macchina a vapore, è necessario sottolineare la rilevanza dei suoi contributi in molti campi: si occupa di canali navigabili, del candeggio dei tessuti, ecc. tutti problemi centrali per le nuove esigenze dello sviluppo industriale.

Il miglioramento portato da Watt alla macchina a vapore consiste in questo. Nelle macchine a vapore precedenti (vi dicevo che erano nate fino dalla fine del '600) l'espansione del vapore e la sua condensazione avvenivano in un medesimo cilindro, il quale quindi doveva essere scaldato per l'immissione del vapore che faceva alzare il pistone e raffreddato successivamente per condensare il vapore, permettendo così alla pressione atmosferica di abbassare il cilindro, il quale poteva azionare un peso dall'altra parte del bilanciere, per esempio una pompa per sollevare

acqua. Questo raffreddamento e riscaldamento alternato del cilindro, si traduceva chiaramente in una perdita di energia disastrosa. La geniale innovazione di Watt consiste nel fare avvenire la condensazione in una camera separata. Egli mette cioè il cilindro in comunicazione per mezzo di una valvola, con una camera separata, chiamata «condensatore», la quale viene mantenuta molto fredda; questa è chiusa quando viene immesso il vapore che provoca l'espansione nel cilindro, il quale può essere mantenuto sempre caldo; successivamente la valvola viene aperta, mettendo in comunicazione il cilindro col condensatore separato freddo, e il vapore condensa in questa camera, creando così nel cilindro la depressione che fa abbassare il pistone.

Sarebbe però molto errato pensare che la macchina di Watt si imponga e soppianti le altre macchine a vapore soltanto grazie alla sua enorme superiorità. Essa non soppianta in realtà neppure le ruote idrauliche, che rimangono per tutto il '700 uno dei fattori dominanti della rivoluzione industriale in Inghilterra; e non soppianta perciò neppure le altre macchine a vapore che pure hanno un rendimento molto inferiore. Ci sono molte ragioni per questo fatto. La macchina di Watt è uno strumento addirittura troppo perfezionato per l'epoca in cui viene introdotto. È uno strumento che veramente supera da tutti i punti di vista il meccanismo newtoniano, tutti gli schemi concettuali e pratici dell'epoca: a quel tempo nessuno ancora è consapevole di ciò che Sadi Carnot vedrà chiaramente nel 1824, che cioè la meccanica è sufficiente a studiare tutte le macchine, tranne la macchina a vapore. Tutto

Sulla rivoluzione industriale si possono consultare l'opera ormai classica di P. MANTOUX. *La Rivoluzione Industriale*, Roma, Editori Riuniti, 1971, oppure i due agili saggi, col medesimo titolo, di G. MORI, Milano, Mursia, 1972 e di V. CASTRONOVO, Firenze, Sansoni, 1973.

Sugli sviluppi della tecnica in molti campi si veda, per esempio, *Storia della tecnologia*, a cura di c. SINGER, vol. IV, Torino, Boringhieri 1965.

In relazione ai temi centrali del presente articolo, ulteriori dettagli si trovano in A. BARACCA e R. RIGATTI, *Aspetti dell'interazione fra scienza e tecnica durante la rivoluzione industriale del XVIII secolo in Inghilterra: 1) La nascita dei concetti di lavoro e di energia*, «Il Giornale di Fisica», XV (1974), p. 144; 2) *Sviluppi della macchina a vapore*, «Il Giornale di Fisica», XV (1974), p. 206; R. L. HILLS e A. J. PACEY, *The measurement of power in the early steam driven textile mills*, «Technology and Culture», vol. 13 (1972); R. L. HILLS; *Power in the industrial revolution*, Manchester, University Press, 1970.

M. Daumas ha discusso l'introduzione di misure precise nella scienza e nella tecnica in un saggio nel libro: A. C. CROMBIE, *Scientific Change*, London, Heinemann, 1963, e M. DAUMAS, *Les Instruments scientifiques au XVII et XVIII siècle*, Paris, 1963.

Sui fermenti culturali in Inghilterra si veda il libro di A. E. MUSSON, E. ROBINSON, *Scienza e tecnica nella rivoluzione industriale*, Bologna, Il Mulino, 1974.

Sulla scienza accademica in Francia e in Inghilterra si vedano i seguenti studi di A. ROSSI. *Illuminismo e sperimentalismo nella fisica del '700*, «Sapere», ottobre 1971; *Le due strade della fisica*, «Scientia», 1973; *Le nuove tecnologie in Inghilterra tra 700 e '800*, «Sapere», agosto-settembre 1974; inoltre il suo contributo nella presente raccolta.

Sui mutamenti nella prassi e nell'organizzazione scientifica intervenuti con la rivoluzione francese si veda G. ISRAEL, P. NEGRINI, *La rivoluzione francese e la scienza*, «Scientia», 108, n. 67, 1973; A. BARACCA, A. ROSSI, *1789: prassi e organizzazione della scienza*, «Sapere», ottobre 1974; R. MOUSNIER, *Progrès scientifique et technique au XVIII siècle*, Paris, Plon, 1958; M. CAULLERY, *La science française depuis le XVII siècle*, Paris, 1933; J. FAYET, *La Revolution française et la science (1789-1815)*, Paris, Puf, 1960.

Sulla scienza del periodo napoleonico si veda M. CROSLAND, *The Society of Arcueil*, London, Heinemann, 1967.

## Sperimentalismo inglese e razionalismo francese nella fisica del '700

Il titolo di questa conversazione potrebbe essere frainteso. È bene perciò che ne chiarisca subito il senso. Se infatti i termini, che vi appaiono, «sperimentalismo» e «razionalismo» fossero considerati etichette di atteggiamenti e procedimenti invariabili nel tempo, ingredienti insostituibili di un «Metodo Scientifico» eterno e immutabile che occorrerebbe anteporre, per una migliore comprensione dello sviluppo reale della scienza, ai suoi aspetti storicamente datati, transitori, se ne sarebbe frainteso totalmente il senso. D'altra parte, l'interpretazione da me respinta non è priva di precedenti illustri: essa ispira tutta la riflessione storiografica sulla scienza del '700 fino a data recente, da Ernst Cassirer a Ernst Mach, da E. Duhem a T. S. Kuhn, nonostante le posizioni teoriche di alcuni di questi storici, in particolare Kuhn, non contemplino in generale una concezione del metodo scientifico come «astrazione indeterminata». Sembra quasi che,

di fronte alla scienza, alla fisica del '700, la tentazione di ritrovarvi le caratteristiche della scienza, della fisica attuale sia, o almeno sia stata fino a data recente, davvero irresistibile. Il fatto è facilmente spiegabile, se si pensa all'influsso che concezioni filosofiche e scientifico-epistemologiche come l'illuminismo, l'empirismo humiano, il kantismo, il materialismo deterministico, nate nel quadro della cultura filosofico-scientifica del '700, esercitano tuttora nelle prospettive della cultura contemporanea, anche se non nella prassi scientifica reale. L'ideologia dominante, anche in questo caso, come in quello dell'economia politica, analizzato dal punto di vista storico-materialistico che qui si assume, tende ad annullare, a pareggiare differenze reali, a linearizzare uno sviluppo storico articolato e complesso, allo scopo più o meno cosciente di ritrovare le proprie radici, la propria legittimazione, la propria continuità in un passato totalmente idealizzato in senso apologetico.

Ma, c'è da chiedersi, non sarebbe preferibile abbandonare realisticamente e razionalmente la pretesa di fare della fisica, della scienza in generale, l'espressione di una presunta ragione assoluta, sovrastorica, rivelatasi finalmente quando, nel '700, secondo le parole di Kant, l'umanità è uscita dal suo stato di «colpevole minorità»? Con ciò ovviamente non si intende disconoscere l'apporto che, sia pure in un contesto storico-materiale e ideologico tutto diverso, la scienza del '700 ha dato alla formazione della scienza contemporanea, ma si intende piuttosto escludere, per precisi motivi strutturali, l'ipotesi della semplice continuità e uniformità di atteggiamenti

e procedimenti fra quella scienza e questa. In questa prospettiva diviene finalmente possibile comprendere le parole del titolo: lo sperimentalismo e il razionalismo della scienza del '700 cui esso allude non possono essere affatto identificati con gli aspetti rispettivamente fenomenologici e formalistici della scienza contemporanea. Eppure questo fa Cassirer nei capitoli della sua *Storia della filosofia moderna* dedicati alla riflessione metodologica illuministica e questo fa Mach parlando della meccanica del '700 nel suo *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*.

Per essi dunque nel '700 si sarebbe realizzata la liberazione completa della scienza dalla «scorie» metafisiche come ipotesi su sostanze o «qualità occulte» che ancora «inquinavano» la scienza di Galileo, Keplero, Cartesio e Newton. In realtà invece neppure uno dei caratteri della scienza contemporanea secondo Kuhn, cioè ad esempio la sua tecnicizzazione spinta, con la rinuncia, in nome di essa, a rimettere in discussione i fondamenti del lavoro scientifico, si è affermato nel '700 nel quadro dell'accettazione dei «paradigmi» forniti dall'opera di Newton, la sintesi scientifica che concludeva la «rivoluzione scientifica» seicentesca. Quanto poi alla caratterizzazione nazionale dei due termini in discussione, è un fatto che lo «sperimentalismo» e il «razionalismo», oltre ad essere qualcosa di diverso dal fenomenismo e dal formalismo contemporanei, non esprimono neppure caratteristiche almeno comuni a *tutta* la fisica del '700. Essi esprimono invece, semmai, caratteri di scuole e tradizioni scientifiche nazionali storicamente datati che concretamente le distinguevano l'una dal-

l'altra nel '700. In particolare, non esprimono comunque caratteri invariabili, sovrastorici, dello spirito nazionale rispettivamente inglese e francese, «forte» e razionale questo, «debole» e intuitivo quello, come vorrebbe Duhem, allo scopo, piuttosto sciovinista, di affermare la maggiore potenza scientifico-epistemologica del primo, riducendo così un problema storico preciso di divergenti sviluppi scientifici ad uno di astratta classificazione psicologica, storicamente indeterminata, degli atteggiamenti metodologici corrispondenti. Di essi invece, del loro essere storicamente determinati, inconfondibili con quelli dei fisici contemporanei, come del perché siano legati a situazioni nazionali specifiche, i motivi vanno ancora una volta ricostruiti storicamente a partire dal mondo della produzione, dai rapporti sociali e dalla cultura che in essi materialmente si inquadra. Occorre ora perciò che, dalla definizione negativa da cui siamo partiti - cosa la fisica del '700 non sia - necessaria preliminarmente, per sgomberare il campo da equivoci anche profondamente radicati, passiamo a tratteggiare in positivo, nel suo concreto peso e sviluppo storico-materiale, la fisica settecentesca, nelle sue premesse, nei suoi conflitti, nei suoi esiti determinati.

All'inizio, troviamo la polemica, intercorsa fra i maggiori antesignani della fisica rispettivamente inglese e continentale del '700, Newton e Leibniz, sull'invenzione del calcolo infinitesimale. La sua importanza ai fini della comprensione dello sviluppo della fisica del '700 non sarà mai troppo sottolineata. Non solo nel senso che la nuova fisica è ormai inquadrata in un oriz-

zonte di matematizzazione effettivo o almeno potenziale, di cui il calcolo diviene sempre più elemento portante, ma anche nel senso, meno ovvio, che in quella polemica si individuano già in modo estremamente significativo le divergenti tendenze delle due grandi tradizioni scientifiche del '700, l'inglese e la continentale, purché non si resti al livello «strumentale» del calcolo, della notazione formale e della sua efficacia nel risolvere problemi fisici, perché a tale livello non è difficile dimostrare l'equivalenza della notazione leibniziana e di quella newtoniana (anche se quest'ultima appare meno sintetica e maneggevole dell'altra). Lo scontro è in realtà ben più che di natura tecnica e coinvolge, con l'interpretazione diversa che le due parti in causa davano del calcolo, strategie e finalità di ricerca, basi filosofico-ideologiche e rapporti con la realtà sociale diversi, anzi opposti.

Nel confronto occorre pertanto evitare di vedere una semplice questione di priorità scientifica, di rivalità fra due scienziati prestigiosi, o addirittura, come pure è parso, una questione di orgoglio nazionale (forse che Leibniz rappresentava sic et simpliciter la Germania e Newton l'Inghilterra? A questo proposito non si può trascurare che Leibniz offrì i suoi servigi al re d'Inghilterra, ex elettore di Hannover, e che il suo atteggiamento, come del resto quello di Newton, era tutt'altro che nazionalistico). In realtà, occorre ribadire, i concetti, le interpretazioni del calcolo erano due, non uno, e come tali erano parti di due diverse strategie e finalità scientifiche complessive. Newton, anzitutto, ispira la sua opera fisico-matematica alla prospettiva di

unificare fisica terrestre e fisica celeste che perseguirono già prima di lui Galileo, Keplero e Cartesio. Ma - e qui sta il carattere peculiare del suo modo di perseguirla - egli intendeva questa unificazione non come deduzione di rapporti — geometrici o meccanici - ma come organizzazione e descrizione quantitativa il più possibile unificante dell'esperienza, da lui ritenuta comunque irriducibile a ipotesi razionalistiche a priori. Di questo tipo - da non «fingere», come Newton dice nello *Scolio* (= commento) *Generale* dei suoi *Principia Mathematica* - erano le ipotesi di Cartesio. Esse stabilivano infatti, a prescindere da precisi controlli sperimentali, quali fossero le spiegazioni a priori giuste e perseguibili in base al semplice concetto di razionalità della creazione e di chiarezza e distinzione dei suoi meccanismi di funzionamento. Su questa base, appariva a Cartesio più comprensibile, chiara e distinta l'azione di contatto in tutti i fenomeni a preferenza dell'azione a distanza, al punto che introdusse *ad hoc* mezzi materiali fittizi, per principio inosservabili, mossi da moti particolari, come i vortici di etere cosmico, per spiegare, a tutti i costi, in termini di contatto, ad esempio quei fenomeni gravitazionali che erano invece almeno apparentemente fenomeni di azione a distanza. In quel quadro cartesiano la matematica - o piuttosto la geometria analitica - appariva il modo naturale, ovvio di esprimere quantitativamente e formalmente tali idee razionalistiche a priori della continuità e contiguità del reale. Non vi era distinzione in esso fra fisica e geometria, essendo quella identificata *tout court* con la scienza dello spazio continuo, infinito, che igno-

ra il vuoto e principi attivi di forza, ma tutto riduce a contiguità e trasformazione continua per aggregazione e disgregazione delle parti di tale spazio pieno, e alle loro misure quantitative secondo sistemi di coordinate prefissati. Ebbene, proprio per realizzare meglio la rappresentazione analitica, Newton concepisce diversamente lo strumento matematico e diversamente il rapporto fisica-matematica, dando vita al calcolo infinitesimale nel quadro di un diverso concetto di esperienza e teoria. Anzitutto, non è più scontata per lui l'adeguazione fra idee di ragione e realtà empirica. L'analisi quantitativa puntuale delle conseguenze delle ipotesi di Cartesio, quale quella condotta da Newton nel secondo libro dei *Principia* a proposito dei moti vorticosi, ne smentisce le pretese conoscitive. Occorre perciò riconoscere l'indeducibilità dell'esperienza da idee suggerite immediatamente dalla ragione.

L'unità del mondo che Newton, come Cartesio, vuole scoprire, può essere realizzata di fatto solo sulla base della esperienza, solo accettando la volontà di Dio i cui disegni l'esperienza ci rivela, senza pretendere di inquadrarli a tutti i costi entro schemi razionalistici. A queste forti propensioni empiristiche che, con le loro giustificazioni religiose, sono un riflesso dell'affermazione sociale e politica dei nuovi ceti produttivi nell'Inghilterra del '600 attraverso la Riforma e la rivoluzione puritana, si unisce tuttavia in Newton l'esigenza di immettere nella conoscenza scientifica istanze di fondo della fisica matematica continentale. È questo un segno del carattere composito della nuova realtà sociale inglese, di quelle sue complesse finalità che segnano anche la nasci-

ta e lo sviluppo, nella seconda metà del '600, di nuove accademie scientifiche, come soprattutto la Royal Society. In queste infatti l'accentuato empirismo della scienza inglese anteriore si temprava e si fa più asettico in corrispondenza alla stabilizzazione di una società borghese che, eliminando le sue punte più rivoluzionarie, convive con componenti di diverso genere, come la nobiltà e il clero, per lo più conquistati d'altro canto alla causa del liberalismo politico e del liberismo economico. In particolare, si impone la prospettiva di unificare la varietà dei fenomeni naturali mediante lo strumento matematico e alcune idee speculative come il corpuscolarismo, sull'esempio della scienza speculativa cartesiana, espressione di distacco aristocratico dall'immediatezza empirica.

Resta ferma tuttavia rispetto al cartesianismo, ad esempio in Newton, che di tale realtà è l'espressione scientifica più completa, l'irriducibilità empirica di ingredienti fondamentali di tale quadro unitario e matematizzabile, mentre si pone l'esigenza che lo strumento matematico sia più flessibile ed efficiente, dal punto di vista fisico, di quanto fosse l'analitica cartesiana. Come il corpuscolarismo, secondo cui tutti i fenomeni fisici sono riducibili a parti di materia estesa interagenti, deve ammettere per Newton la presenza accanto alla materia di principi attivi di forza e del vuoto attraverso il quale i primi opererebbero secondo quelli che erano per lui suggerimenti dell'esperienza, contro il cartesianismo, così il calcolo stesso è per lui strumento di soluzione di problemi fisici, i cui stessi concetti fondamentali hanno il significato intuitivo di descrizioni formali, il più possibile fedeli, di fenomeni fisici.

Come infatti il concetto di forza è colto intuitivamente da lui nella sua molteplice caratterizzazione empirica, d'urto, di pressione, d'attrazione, etc, come causa fisica dei fenomeni dinamici di accelerazione osservabili, ed è quindi solo parzialmente matematizzato, ridotto a misura e relazione quantitativa (l'enunciazione del secondo principio della dinamica, la sua definizione in termini matematici rigorosi, non è di Newton ma di Eulero), così i concetti base del calcolo, la flussione e la fluente, non sono assolutamente comprensibili al di fuori della loro caratterizzazione fisica. La flussione o derivata di Newton è la velocità relativa del punto mobile che descrive una curva rispetto agli incrementi della distanza dall'origine dell'asse delle ascisse, mentre la fluente è il risultato specifico di quel movimento, cioè la curva, risultato dell'integrazione dei successivi spostamenti del punto. Abbiamo così dei fenomeni fisici, dinamici, seguiti fedelmente, seppure come se fossero per così dire «congelati» in formule e rapporti matematici, nella loro dinamica osservabile.

Comunque, proprio il riferimento ai fenomeni osservabili, l'interpretazione fisica del calcolo di Newton, spiega il tipo di critiche che esso ricevette in Inghilterra da parte di un empirista radicale e critico interessato, per precisi motivi apologetici, delle pretese conoscitive della scienza matematica della natura, il vescovo G. Berkeley. Si trattava infatti di critiche tese a cogliere una contraddizione fra la definizione empirica dei concetti dell'analisi e alcuni suoi sviluppi calcolatori che giungevano a considerare trascurabili grandezze come l'infinitesimo di secondo grado,