

## 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. 1.000 (944)

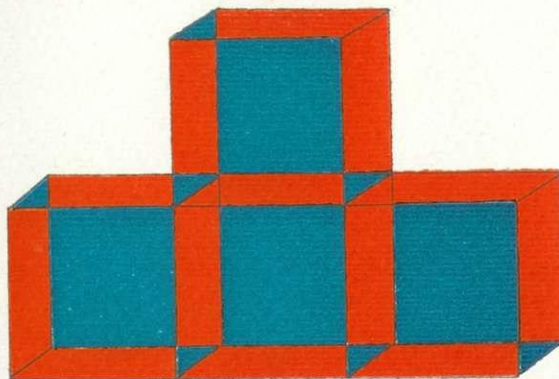
76-0210-3

70 Per una didattica di riforma

GUARALDI

Giovanni Ciccotti  
Giuliano Toraldo Di Francia

# LA NASCITA DELLA FISICA MODERNA



Per una didattica di riforma-5  
GUARALDI

Per una didattica di riforma

5

Giovanni Ciccotti  
Giuliano Toraldo Di Francia

PER UNA DIDATTICA DI RIFORMA

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

LA NASCITA  
DELLA FISICA MODERNA

Guaraldi Editore

GIULIANO TORALDO DI FRANCIA I fonda- menti della fisica nella interpretazione con- temporanea	7
GIOVANNI CICCOTTI Crisi della spiegazio- ne meccanica e nascita della fisica moder- na tra '800 e '900	25

GIULIANO TORALDO DI FRANCIA

I fondamenti della fisica  
nella interpretazione contemporanea

GLI AUTORI

Giuliano Toraldo di Francia è ordinario di Fisica Teorica presso l'Università di Firenze e direttore dell'Istituto Ricerche onde elettromagnetiche del CNR.

Fra le sue numerose pubblicazioni si ricordano *Onde elettromagnetiche* (Bologna, 1953), *La diffrazione della luce* (Torino, 1958), *L'indagine del mondo fisico* (Torino, 1976). Saggi suoi sono inoltre apparsi su riviste scientifiche italiane e straniere.

Giovanni Ciccotti è professore incaricato di Statistica Matematica all'Università di Camerino e di Statistica presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Roma. È autore di articoli di meccanica statistica e di fisica teorica dei liquidi. È già intervenuto nel dibattito sulla scienza con il libro, pubblicato con M. Cini, M. De Maria, G. Jona-Lasinio, *L'Ape e l'Architetto* (Milano 1976). Ha curato inoltre, insieme con G. Jona-Lasinio e C. Di Castro l'aggiornamento per la fisica della *Storia della Scienza* a cura di M. Dumas (Bari 1976).

I.

Il problema dei fondamenti della fisica nell'interpretazione contemporanea è, come è facile intuire, molto vasto, al punto da poter essere trattato da molteplici punti di vista. Sono molti infatti i concetti connessi con questo problema di cui si potrebbe parlare: da quello di «grandezza fisica» a quello di «legge fisica», da categorie venerande, come il principio di causalità, che pure sono ancora in discussione, al concetto di «particella elementare». Dovendo operare una scelta fra i molteplici approcci possibili al tema, converrà tentare di delineare quello che è lo sviluppo della fisica oggi e le interpretazioni che se ne danno dal punto di vista strettamente conoscitivo.

Le varie tendenze nell'interpretazione dello sviluppo della fisica e delle scienze in generale si possono raggruppare, per comodità di classifi-

cazione, in due «scuole»: quella *internalista* e quella *esternalista*. Gli *internalisti* sono coloro che spiegano il processo di sviluppo della scienza con elementi «interni» alla scienza stessa; in altre parole, secondo questo punto di vista, è la scienza che trova dentro di sé gli elementi del suo sviluppo e che con essi si costruisce. Gli *esternalisti* pensano invece che la scienza venga fortemente o totalmente influenzata da elementi esterni alla scienza (fattori storico-politici, economici, ecc.).

Gli internalisti possiamo tentare di distinguerli in quattro gruppi: induttivisti, deduttivisti, strumentalisti, psicologisti. Si tratta ovviamente di una classificazione di comodo che non ha alcun significato dogmatico.

Fra quelli che abbiamo chiamato induttivisti, si potrebbero distinguere molti indirizzi; è sufficiente soffermarci qui su quello che ha in un certo modo segnato la nascita della scienza moderna, che potremmo denominare «induttivismo ingenuo». Molti vi hanno creduto, da Francesco Bacone a Newton. Con «ingenuo» qui non si intende ovviamente esprimere un giudizio di merito su questi pensatori. Si vuol semplicemente affermare che dal nostro punto di vista, oggi, sarebbe da considerarsi «ingenuo» chi volesse riprodurre le tesi di quel tipo d'induttivismo. Come procede la scienza secondo questo indirizzo? Si afferma in primo luogo, in polemica con i razionalisti, che a volte negavano la necessità del ricorso all'esperienza, che ai concetti scientifici si arriva partendo dall'esperienza sensibile e dai particolari, innalzandosi gradualmente fino agli assiomi più generali. Possiamo definire

«ingenuo» questo induttivismo perché, in realtà, i fisici non usano il tipo di induzione, che consiste nella raccolta dei dati scientifici e successivamente nella costruzione di assiomi generali. Un esempio di questo procedimento induttivo, che spesso viene utilizzato malaccortamente nella didattica: si vedono tanti casi di un dato fenomeno, si nota che in tutti i casi si trova una certa proprietà, e allora si *induce* che l'oggetto della nostra indagine possiede sempre quella proprietà. Il fisico oggi sa che un ragionamento del genere può condurre a sbagliare, per questo non si serve più di questo tipo di induzione.

Lo sviluppo più recente e raffinato della teoria dell'induzione possiamo chiamarlo il *neo-induttivismo*. Si basa sulla *logica induttiva*, una scienza inaugurata poco più di venti anni fa da Rudolf Carnap. La logica induttiva si presenta come l'analisi razionale di «come si induce». Per comprendere il significato della posizione di Carnap conviene rifarsi brevemente alla critica di Hume, secondo la quale l'induzione non è un procedimento che possa portarci a verità dimostrate, apodittiche. È noto l'esempio banale: l'aver visto sorgere il sole cento, mille volte non ci autorizza ad affermare che esso sorgerà domani; non esiste nessuna prova, nessuna deduzione logica che ci assicuri che ciò avvenga *necessariamente*. La risposta di Carnap a questa critica, riconosciuta come legittima, consiste nello spostamento del discorso dal piano di una logica «bivalente» a quello di una logica «polivalente» secondo la quale non ci si domanda più se un'affermazione è «vera» o «falsa», ma piuttosto «quanto è vera» e «quanto è falsa»: o

meglio, ci si basa su una concezione *probabilistica* del discorso scientifico. Il problema di come sia calcolabile la probabilità viene affrontato con una chiara derivazione dai modelli neopositivistici. Non possiamo addentrarci in dettagli tecnici: grosso modo si tratta di considerare i *mondi possibili*, descrivendoli ciascuno mediante un insieme di proposizioni non contraddittorie. Le descrizioni dei mondi possibili, sono formulate *a priori* senza l'intervento dell'esperienza. L'esperienza dovrà dirci quali di questi mondi sono più o meno probabili, quali si devono escludere e così via. Da questa combinazione di casi, da questa tecnica probabilistica la logica induttiva crede di poter ricavare *quanto* è probabile una data proposizione generale riguardante il mondo, alla luce di altre proporzioni verificate dall'esperienza.

Si può fare una critica di fondo anche a questo tipo di ragionamento: neanche esso rispecchia il modo di procedere reale della fisica, quello che si è realizzato storicamente. In realtà l'induttivismo di qualsiasi tipo, secondo molti, non supera in alcun modo la critica di Hume: contare i casi possibili, favorevoli, ecc., non ci dà alcuna garanzia su ciò che accadrà. C'è anche un altro problema di fondo: la logica induttiva non è stata applicata alla fisica e non è applicabile a tutt'oggi, per ragioni tecniche, anche se c'è chi ritiene possibile che ciò possa accadere in futuro.

Consideriamo ora il secondo gruppo, quello dei deduttivisti: anche costoro si possono raggruppare in due categorie: *confermazionisti* e *falsificazionisti*. Secondo i primi il modo di procedere della fisica è grosso modo il seguente: si

elabora una teoria, se ne deducono conseguenze osservabili; se l'esperienza convalida queste deduzioni la teoria è confermata. Se invece l'esperienza dà dei risultati negativi, la teoria va scartata. Questo metodo è *ipotesico-deduttivo*, in quanto inizialmente la teoria non ha alcuna pretesa di rispecchiare la verità: è, al contrario, soltanto un'ipotesi.

Possiamo affermare che effettivamente la fisica moderna ha proceduto con questo metodo, anche se non sempre è stato rispettato l'ordine cronologico fra ipotesi e verifica empirica.

Una teoria complementare a quella confermazionista è il *falsificazionismo*, il cui rappresentante più noto è Karl Popper. Essa si basa su questo ragionamento: il fatto che l'esperienza convalidi una certa teoria non dice che questa teoria è giusta, perché possono esistere molte altre teorie che si accordano con quella determinata esperienza. È un errore logico affermare che se da A consegue B, e io constato B, allora deduco A. In sostanza la teoria falsificazionista afferma che la critica di Hume non è superabile dal punto di vista confermazionista: le teorie non si possono mai *confermare*, si può solo *falsificarle*. Il falsificazionismo dunque, corrisponderebbe al metodo scientifico nel senso che ne intende il procedere concreto che consiste nell'elaborare una teoria, nel dedurne delle conseguenze e nel sottoporre queste conseguenze all'esperienza. Se la esperienza non convalida la teoria questa è *falsificata*. Ma l'esperienza non può, per converso, confermare la teoria.

Popper, che è indubbiamente uno dei pensatori più interessanti fra quanti non si situano nel

filone ortodosso della fisica, ha elaborato un sistema ingegnoso dello sviluppo della scienza. Una teoria, secondo Popper, non può essere *confermata*, può però essere *corroborata* dalla esperienza. Questo accade quando la teoria potrebbe essere contraddetta da un numero molto grande di esperienze facili e di fatto risulta che non lo è. Questo non significa che la teoria sia *vera*, ma semplicemente che *non è falsificata*, pur essendo inizialmente esposta a gravi pericoli di falsificazione. Fra due teorie non falsificate si dovrà scegliere, secondo Popper, quella più facilmente falsificabile, quella che ha un maggior numero di nemici, perché è quella che ci dà più informazioni riguardo al mondo reale.

Ovviamente il discorso di Popper meriterebbe una più attenta riflessione, tuttavia, a mio avviso, è da ritenersi che sia il confermazionismo, sia il falsificazionismo più che risolvere il problema posto da Hume lo aggirino. Il falsificazionismo suppone in ultima istanza che l'esperienza che falsifica *oggi* una teoria sia ripetibile anche *domani*, e la falsifichi anche domani: è facile constatare che i termini della classica obiezione di Hume non sono superati, ma semplicemente spostati.

Proseguendo nello schema proposto più sopra, troviamo gli *strumentalisti* che a loro volta possiamo per comodità dividere in *pragmatisti* e *convenzionalisti*. Hans Reichenbach, uno dei maggiori esponenti del Circolo di Berlino, che operava negli stessi anni del Circolo di Vienna e che era con esso collegato, può essere considerato il più rappresentativo dei *pragmatisti*.

Secondo il pragmatista bisogna ragionare così:

se il mondo è ordinato, osservando certi fenomeni se ne possono dedurre altri che non sono stati osservati; in tal caso esiste un certo tipo di induzione valida. Se, al contrario, il mondo è privo di ordine non esiste alcuna teoria che possa sostituire l'induzione. Quindi, se il mondo è ordinato l'induzione ha valore, se è disordinato non ha valore; ma in quest'ultimo caso rimane inefficace qualsiasi altro modo di conoscere il mondo. In altri termini, se il mondo è disordinato, è anche inconoscibile. In base a questo presupposto applicando l'induttivismo non si perde nulla, mentre non applicandolo si rischia di perdere tutto. Si tratta di una scelta puramente *pragmatica* che in un certo senso «scommette» sull'ordine del mondo.

Il *convenzionalismo* può essere rappresentato da vari nomi, fra i quali viene annoverato a volte il francese Henri Poincaré. Il presupposto del convenzionalismo è, come dice il nome, che la scienza è una convenzione. Secondo questa corrente di pensiero (una corrente che a volte è stata chiamata la «teoria del casellario») la scienza ha la modesta funzione di creare un inquadramento, una classificazione del materiale empirico, che non ha un significato teorico essenziale, ma che ciascun scienziato può fare in modo diverso, *convenzionale* appunto. La scienza dunque è una convenzione utile, *strumentale* per il lavoro di ricerca, in cui non è riposto alcun significato metafisico o gnoseologico. Il convenzionalismo esprime un atteggiamento di radicale empirismo.

L'ultimo gruppo fra le teorie internaliste è rappresentato dagli *psicologisti*. Essi cercano nella

psicologia il fondamento per spiegare come si produce la scienza. Storicamente sono stati criticati a fondo e una delle critiche più importanti resta quella di Kant. Infatti si deve distinguere nel processo della conoscenza la *quaestio facti* e la *quaestio juris*, cioè il modo in cui si acquistano le conoscenze (psicologia) e la validità di queste conoscenze (gnoseologia). Eppure nonostante le critiche lo psicologismo è sopravvissuto e si è preso anche delle rivincite. Oggi molti credono che in questa teoria si trovi la chiave per spiegare lo sviluppo della conoscenza del mondo fisico. Tra questi potremmo annoverare Jean Piaget e la sua scuola di «psicologia dello sviluppo». Secondo questa teoria esistono strutture, nelle quali noi inquadrriamo l'esperienza sensibile, che appaiono gradualmente nell'uomo, a partire dal neonato fino all'età adulta, a determinate età. Strutture che è inutile cercare al di sotto di una certa età e che si acquisiscono via via nella crescita. È ovvio che questo punto di vista riecheggia la posizione kantiana, ma c'è intanto una novità: queste strutture non sono né necessarie né immutabili, non hanno il carattere dell'*a priori* kantiano, e in secondo luogo reagiscono con l'esperienza dei sensi. Nel momento in cui l'esperienza viene assimilata retroagisce e determina in qualche modo quelle strutture. C'è quindi un rapporto reciproco che la psicologia dello sviluppo documenta sperimentalmente: si tratta infatti di una psicologia mentalistica, sì, ma sperimentale, fondata su dei fatti. Secondo alcuni lo sviluppo delle strutture continua anche dopo che il neonato e poi l'adolescente sono divenuti adulti, attraverso il progredire della cul-

tura. Si sviluppano nuove strutture: lo scienziato è un uomo che via via elabora nuove strutture a contatto con l'esperienza.

C'è poi un altro tipo di psicologia completamente diverso, la psicologia del profondo: per quanto possa sembrare singolare, alcuni hanno tentato di spiegare la scienza, e in particolare lo sviluppo della fisica, in termini psicoanalitici. Uno dei rappresentanti di questo indirizzo, E. H. Hutten, ha recentemente pubblicato un libro su questo argomento.

## II.

La seconda tendenza generale nella spiegazione dello sviluppo scientifico l'avevamo chiamata *esternalista*: potremmo anche chiamarla, con un termine non troppo gradevole, *condizionamentista*. All'interno di questo indirizzo di pensiero c'è naturalmente chi privilegia i fattori economici, i rapporti di produzione. Altri, estendendo questo punto di vista sottolineano anche, come fattori di sviluppo scientifico, i fenomeni politici, quelli religiosi ecc. I primi sostengono che la scienza si modella secondo gli interessi delle classi economicamente dominanti; i secondi insistono sui valori tramandati dai pregiudizi, dai sistemi metafisici, dalla religione.

Diversa è la posizione dei *rivoluzionisti*. Uno dei loro principali rappresentanti, T. S. Kuhn, sostiene che in un dato momento storico la scienza si fissa su un certo paradigma e vi inquadra un certo bagaglio di conoscenze. Quando questo paradigma comincia ad invecchiare, compaiono

fatti sperimentali che non si inquadrano fino in fondo in esso; la scienza da prima fa resistenza, ma alla fine nasce un paradigma completamente nuovo che rivoluziona totalmente il campo delle conoscenze. Si tratta della trasposizione sul piano della scienza del modello valido per le rivoluzioni politiche..

Altri, affini in un certo modo alla veduta internalista, pensano la scienza in termini dialettici: le rivoluzioni scientifiche avvengono per un processo di opposizione (tesi-antitesi), ma anche di integrazione e conservazione delle precedenti teorie in una teoria superiore (sintesi). Un altro modello interpretativo è quello dei cosiddetti *programmisti*. Questo modello è stato portato avanti da un ungherese che lavora in Inghilterra, Imre Lakatos. Secondo Lakatos, nella scienza ci sono sempre un certo numero di programmi diversi, che vengono sviluppati parallelamente e in concorrenza. L'originalità di questo punto di vista consiste nell'affermazione che in realtà è difficile che un programma scientifico venga sconfessato dall'esperienza: se infatti si vuole rimanere fedeli a un certo programma è sempre possibile creare delle ipotesi *ad hoc*. Ne fanno fede i numerosi tentativi di salvare la meccanica classica, ancor oggi, con teorie confezionate appositamente. Secondo Lakatos i programmi possono essere progressivi o regressivi: i primi sono quei programmi, in fase di avanzamento, che prevedono delle cose nuove; i secondi sono programmi che non fanno nuove previsioni ma che cercano solo di contrastare le novità che via via vengono fuori. Quando la bilancia si sposta a favore di uno dei due programmi in conflitto, l'altro viene

abbandonato, senza però che si possa dire con sicurezza che non potrà risorgere in futuro.

### III.

Al termine di questa brevissima panoramica, che serve solo per fissare le idee e la terminologia, è utile soffermarsi ulteriormente su quel modello che *di fatto* è stato seguito dalla fisica moderna. Si tratta di quel metodo che sopra abbiamo definito metodo *ipotetico-deduttivo* o *confermazionista*. Come abbiamo già osservato né in questa teoria, né, per altro verso, nel falsificazionismo, viene di fatto superata l'obiezione di Hume. Molti, e Hume in prima persona, hanno osservato che quella critica si supera solo se si accetta un postulato: quello *dell'uniformità della natura*. Si tratta di un principio che sul piano psicologico tutti noi riteniamo valido: la natura non cambia il suo modo di essere e di agire nel tempo e nello spazio. Ma ovviamente se si va ad analizzare questo concetto ci si rende conto che è impreciso, sfuggente, che è più che altro una intuizione. Kant come è noto aveva tentato di superare la critica di Hume riconoscendo un tipo di giudizio detto sintetito *a priori*. Kant pensava di aver così tolto di mezzo il dubbio scettico sulla scienza e di averla fondata su strutture *a priori* della mente umana.

Non è il caso qui di discutere questo argomento dal punto di vista filosofico: ci limiteremo a fare alcune considerazioni su ciò che avviene concretamente nella prassi della fisica moderna. I fisici, come ho già osservato, sanno benissimo

che l'induzione, che il senso comune ritiene valida, non è di fatto applicabile con sicurezza ed ha un grosso margine di errore. Esiste tuttavia una forma «ristretta» di induzione alla quale i fisici attribuiscono quasi la validità di un postulato. Possiamo denominare questo tipo di induzione *spazio-temporale*. Si tratta in sostanza del principio per cui se si verifica un fenomeno in determinate condizioni in una certa regione dello spazio, domani, altrove, in una regione analoga, alle stesse condizioni, dovrà avvenire lo stesso fenomeno. Naturalmente è evidente che le condizioni fisiche dovranno essere esattamente le stesse e quindi determinabili con esattezza. Il valore di postulato di questo principio è evidente se ricordiamo quanto affermava Piaget sullo sviluppo mentale del bambino: questo postulato infatti entra a far parte subito delle strutture mentali del bambino, per il semplice fatto che è una condizione necessaria per vivere. Se il mondo infatti cambiasse da un momento all'altro, in maniera arbitraria, non potremmo nemmeno vivere.

Naturalmente questo postulato riguarda a rigore solo una porzione dello spazio-tempo intorno a noi, ma la scienza da Galileo in poi l'estende a tutto l'universo.

Esiste un altro fatto di cui non sempre chi ha riflettuto sui fondamenti della scienza si è reso abbastanza conto, ed è la *limitatezza* della validità delle teorie: oggi i fisici sono coscienti che nessuna teoria è valida in senso assoluto. Quando un fisico enuncia una teoria deve contemporaneamente enunciare anche i limiti entro i quali la teoria è valida, ed è questa l'unica

possibilità seria di fare della teoria in fisica. Se consideriamo anche la teoria più classica, ci accorgiamo che essa non vale in assoluto. Ad esempio: due corpi in presenza l'uno dell'altro si attraggono con una forza che è inversamente proporzionale al quadrato della distanza; ebbene oggi i fisici sanno che è possibile misurare quella distanza fino ad una certa precisione, poniamo fino al *micron*. Ne consegue che quella legge è valida fino al *micron*: si farebbe un'estrapolazione del tutto gratuita se si applicasse quella legge al di là, per esempio a distanze misurabili in *millesimi di micron*. Questa consapevolezza è fondamentale per la fisica moderna. Ciò non significa che non siano ammesse estrapolazioni in senso assoluto, ma esse hanno un valore puramente ipotetico. Si può affermare solo ciò che si sa, altrimenti il rischio di errori esiste. È uno dei punti in cui chi non ha pratica di laboratorio, chi non sa cos'è la scienza militante, rischia di commettere il maggior numero di errori.

Se si procede senza questa cautela si può arrivare all'assurdo, come accadde al primo Carnap; Carnap era giunto a dedurre che la probabilità che una teoria generale qualsiasi fosse vera era = 0. Il che in fondo è vero: esistono scarsiissime probabilità che una teoria sia vera *in assoluto*. Carnap ha poi cambiato notevolmente la sua logica induttiva proprio perché non portasse a questa singolare conclusione. Probabilmente non è la logica induttiva che va cambiata, quanto il significato stesso che si attribuisce al termine «teoria». Enunciare una teoria, come abbiamo visto, significa che noi sappia-

mo che entro certi limiti le cose vanno in un certo modo. L'extrapolazione va fatta, ma solo con valore euristico.

Ritorniamo all'induzione *spazio-temporale*: è stato un postulato che ha funzionato egregiamente, divenendo un cardine, una idea regolatrice, permettendo in ultima istanza la elaborazione della fisica classica. Quando però si è giunti a sperimentare sugli atomi, quando si è giunti alla microfisica, ci si è accorti che quel postulato non era più valido. È noto infatti che nel mondo microscopico non si è sicuri di poter ripetere l'esperimento, alle stesse condizioni, e di ottenere lo stesso risultato. Quando questo principio è stato scoperto, per la fisica è sembrato come se venisse a mancare il terreno sotto i piedi. Il principio di *indeterminazione* si basa infatti sui rilevamenti fatti su particelle subatomiche che si comportano in maniera diversa, e imprevedibile, pur nelle medesime condizioni.

Il principio di indeterminazione è stato affrontato ricorrendo alla probabilità. Se ad esempio in determinate condizioni gli elettroni prendono direzioni diverse, si ripete l'esperimento più volte e si calcola la frequenza con cui alcuni elettroni prendono una certa direzione, altri un'altra direzione. Il postulato dell'induzione spazio-temporale si sposta ora su questa frequenza, sul calcolo delle probabilità. La probabilità viene conservata e si ritorna quindi ad un postulato d'invarianza spazio-temporale che non vale più per il singolo esperimento, ma per una serie di esperimenti uguali. La meccanica quantistica consente oggi di calcolare questa probabilità.

Se consideriamo induzioni che non siano di

carattere spazio-temporale ci troveremo di fronte al cosiddetto *paradosso della conferma* elaborato dal filosofo della scienza C. G. Hempel. Secondo questo paradosso, si prenda una qualunque proposizione generale, ad esempio «tutti i corvi sono neri» e si verifichi come viene confermata dall'esperienza. È evidente che se vedessimo un corvo bianco la legge verrebbe immediatamente falsificata. Tutte le volte invece che osserviamo un corvo nero la legge viene confermata; e tanto più viene confermata, quante più volte osserviamo corvi neri. Ebbene la proposizione generale «tutti i corvi sono neri» equivale anche a dire che «se osservo una cosa non nera essa non è un corvo». «Tutte le cose non nere non sono corvi» viene confermata continuamente dall'osservazione empirica: ma poiché questa proposizione equivale alla prima, ecco il paradosso della conferma: l'osservazione di qualunque cosa non nera che vedo non essere un corvo mi conferma la proposizione «tutti i corvi sono neri».

Sono state tentate molte strade per superare logicamente lo scoglio rappresentato da questo paradosso. In realtà i fisici sanno che è l'induzione che è sbagliata. Il fisico sa che pur osservando sempre che i corvi sono neri, non si può escludere affatto l'eventualità di trovarne uno bianco. Questo è esattamente ciò che avviene nella fisica delle particelle elementari, dove ci si può basare esclusivamente sul calcolo delle probabilità.

Riassumendo: il fisico, oggi, si comporta applicando alle teorie il postulato dell'invarianza spazio-temporale e tenendo conto dei *limiti* della

teoria. Se questo è vero entra in crisi il modello di chi vede nella scienza una serie di rivoluzioni: la meccanica classica, ad esempio, è ancora valida, oggi come quando è stata elaborata, e lo sarà ancora nel futuro, entro i limiti per i quali è stata stabilita. Chi costruisce un'automobile oggi non applica la teoria della relatività, perché per i limiti connessi all'automobile è ancora valida la meccanica newtoniana.

Il problema è che noi desideriamo superare i limiti entro cui è valida una teoria e così facendo sperimentiamo dei fenomeni che non sono spiegabili entro un determinato quadro teorico. Una teoria nuova è quella che è in grado di spiegare sia i fenomeni nuovi, anomali, rispetto alla vecchia, sia l'ordine dei fenomeni più limitati entro cui la vecchia aveva valore. È quello che è successo con la teoria della relatività rispetto alla meccanica newtoniana. In questo senso non è esatto dire che la teoria di Einstein falsifica quella di Newton, ma piuttosto che la teoria di Einstein ha dei limiti di validità più ampi che non quella di Newton, e che quindi quest'ultima diventa, per così dire, un caso particolare della prima. Per accettare questo punto di vista occorre senz'altro superare un pregiudizio metafisico, che considera la verità come qualcosa di esistente, a cui ci si approssima sempre di più. La fisica non si accorda con un concetto ontologico della verità. Le proteste contro l'*antimetafisicismo* dei fisici, considerato come una forma di *agnosticismo* non sono quindi giustificate: la posizione *antimetafisica* del fisico significa solo che il metodo della fisica è valido solo per risolvere un certo ordine di problemi e

che non si può trattare la metafisica col metodo della fisica. Questa rinuncia equivale ad affermare che quando riteniamo che si possa arrivare a «verità» di ordine diverso con altri metodi (filosofico, politico, religioso ecc.) che non siano quelli propri della scienza fisica, ci comportiamo in un modo la cui legittimità non riguarda affatto la fisica. La fisica non nega tutto ciò, per il semplice fatto che *non può negarlo*, che non possiede il metodo per negarlo. La fisica non può falsificare proposizioni non fisiche; ma ha l'ambizione di arrivare a risultati sicuri nell'ambito delle cose sperimentabili di cui si occupa.

- R. CARNAP, *I fondamenti filosofici della fisica*, Milano, Il Saggiatore, 1971.
- L. GEYMONAT, *Filosofia e filosofia della scienza*, Milano, Feltrinelli, 1960.
- C. G. HEMPEL, *La formazione dei concetti e delle teorie nella scienza empirica*, Milano, Feltrinelli, 1970.
- E. H. HUTTEN, *Le origini storiche e psicologiche della scienza*, Roma, Armando, 1972.
- K. POPPER, *Logica della scoperta scientifica*, Torino, Einaudi, 1970.  
— *Conoscenza oggettiva*, Roma, Armando, 1975.
- H. REICHENBACH, *La nascita della filosofia scientifica*, Bologna, Il Mulino, 1971.
- G. TORALDO DI FRANZIA, *L'indagine del mondo fisico*, Torino, Einaudi, 1976.

Crisi della spiegazione meccanica e nascita della fisica moderna tra '800 e '900

I.

Alla domanda «che cos'è la storia?» lo storico E. Carr risponde, in un suo libro molto conosciuto (E. CARR, *Sei Lezioni sulla Storia*, Torino, 1966, p. 35), che «essa è un continuo processo di interazione tra lo storico ed i fatti storici, un dialogo senza fine tra il presente ed il passato». Spiega infatti Carr che «il passato è comprensibile per noi soltanto alla luce del presente e possiamo comprendere *pienamente* [corsivo mio] il presente unicamente alla luce del passato» (p. 61). Ne segue facilmente che la storia ha una funzione duplice: «Far sì che l'uomo possa comprendere la società del passato e accrescere il proprio dominio sulla società presente».

Non ho sufficiente competenza per giudicare quanto sia difficile perseguire questi obiettivi nel lavoro dello storico, per quanto riguarda la sto-

ria in generale. È certo tuttavia che perseguirli nell'analizzare l'attività scientifica e (quindi) la sua storia presenta notevoli difficoltà. Qui infatti la scissione tutta ideologica che si è prodotta fra la scienza (mi riferisco soprattutto alle scienze della natura) come attività al presente e la sua storia come pura ricerca sul passato ha fatto perdere di vista l'importanza che ha per gli scienziati la dimensione storica nel valutare lo stato di salute della loro disciplina e per gli storici la problematica scientifica attuale per costruire una storia sensata del passato.

Intendiamoci bene. Non che i manuali scientifici manchino di riferimenti storici o non ci sia fra gli scienziati il vezzo della storia, anzi. Ma appunto di vezzo si tratta e per di più con un carattere smaccatamente apologetico. L'idea è sempre quella di convincere - se occorre con qualche distorsione - che il pensiero scientifico di oggi è lo sviluppo *necessario* per continuità o per contrapposizione delle teorie che lo hanno preceduto. Valgano come esempi per tutti il famoso «Già Democrito di Abdera...» che introduce alla teoria atomica del '900 o l'altrettanto famoso «Si conosce il risultato negativo di questo esperimento [quello di Michelson-Morley (1877), G.C.]. Dopo alcuni tentativi di spiegazioni *più o meno artificiali*, questo apparente paradosso sarà *definitivamente* [corsivo mio] spiegato da Einstein nel 1905...». Il risultato evidente è che si scrive «della propaganda... servendosi dei fatti del passato unicamente per infiorare un lavoro che non ha niente a che fare con la storia» (CARR, *op. cit.*, p. 34).

D'altra parte non è neanche vero che gli sto-

rici della scienza non facciano ogni sforzo per informarsi e tenersi aggiornati sui risultati scientifici ma *l'autorità* della scienza è tale che ben difficilmente uno storico tirerà tutte le logiche conseguenze del suo lavoro e si permetterà di estrapolare al presente la dinamica storica che pure ha visto operante nel passato e che è ben diversa da quella che gli scienziati presentano come vera per l'oggi.

Ma tentiamo di essere più precisi esaminando un caso storico concreto. Otterremo più chiarezza e potremo vedere più da vicino i guasti prodotti da tale dicotomia.

## II.

Nell'analisi delle trasformazioni subite dalla fisica all'inizio di questo secolo si presenta nel modo più esplicito la situazione che siamo venuti descrivendo. Ci riferiamo in particolare all'introduzione nella fisica teorica della teoria della relatività per trattare i fenomeni elettrodinamici e della teoria dei quanti per quelli alla scala atomica e subatomica. I fisici sostengono - nelle loro ricostruzioni storiche di dubbia validità - che la fine del secolo scorso sarebbe caratterizzata dall'insorgere entro la fisica teorica classica di contraddizioni sempre più numerose che avrebbero *imposto* l'abbandono del meccanicismo e sarebbero state *definitivamente* risolte con l'introduzione dei metodi relativistici e quantistici. Essi riconducono infatti semplicemente il programma classico al meccanicismo. Così, per esempio, rappresenta la situazione A.

Messiah nel suo bel manuale di Meccanica Quantistica (p. 3): «Secondo la dottrina classica - generalmente adottata dai fisici fino all'inizio del XX secolo - si associa ai sistemi fisici di cui si vuole descrivere l'evoluzione un certo numero di grandezze o variabili dinamiche [...] si ammette inoltre che l'evoluzione del sistema fisico nel corso del tempo è interamente determinata quando si conosce il suo stato ad un istante iniziale dato [...] Il programma della Fisica Teorica Classica consiste dunque a enumerare le variabili dinamiche del sistema studiato poi a scoprire le equazioni del moto che ne predicono l'evoluzione in accordo con le osservazioni sperimentali.

Dopo la formulazione da parte di Newton della Meccanica Razionale fino alla fine del XIX secolo, l'esecuzione di questo programma è continuata con un successo considerevole [...]. Durante tutto questo periodo nessun fatto sperimentale, nessuna scoperta ha permesso di mettere in dubbio la fondatezza del programma stesso [...] In seguito [...] la Teoria Classica si scontra con difficoltà e contraddizioni sempre più numerose...».

Gli storici della scienza, d'altra parte, almeno quelli bravi, si rendono benissimo conto che una ricostruzione di tal fatta è semplicemente falsa, ma, invece di essere spinti da ciò a verificare la fondatezza delle affermazioni che seguono, le accettano per buone. In particolare ammettono le due ipotesi fondamentali della falsa ricostruzione e cioè: (1) la *necessità* del cambiamento per troppe «contraddizioni», (2) la *definitività* della soluzione che la trasformazione comporta.

Ad esempio M. J. Klein in un articolo estremamente interessante sulla *Spiegazione meccanica alla fine del XIX secolo* dopo una ricostruzione assai fine dei vari programmi scientifici, spesso molto promettenti, che caratterizzano la ricerca in fisica alla fine del secolo, termina il suo lavoro rimettendosi ad Einstein per dare una valutazione finale del modo in cui il meccanicismo fu *superato* dalla fisica teorica e si riferisce a Bohr per garantirci che l'insieme dei problemi da risolvere fu risolto dalla meccanica quantistica che è «una generalizzazione razionale della fisica classica» (Bohr).

Come si vede siamo in un vicolo cieco. Il risultato dell'atteggiamento scienziato prevalente entro la comunità scientifica è che gli scienziati minimizzano il significato delle contrapposizioni e delle tensioni in essa presenti e gli storici si limitano a darne una più ampia registrazione. Quale sia e se vi sia una dinamica non banale dello sviluppo scientifico è molto difficile evincere da questo balletto. In un caso tuttavia abbiamo delle indicazioni interessanti: l'analisi della dinamica che condusse alla rivoluzione copernicana ha mostrato, al di là di ogni ragionevole dubbio, con buona pace degli scienziati, che una trasformazione scientifica non è mai semplice sostituzione del più vero al meno vero ma è anche e soprattutto costruzione di un nuovo progetto razionale capace di incorporare più adeguatamente finalità sociali emergenti.

Questo lo dobbiamo agli storici.

Tentiamo allora di vedere se qualcosa del genere sia accaduto anche alla fine del secolo scorso almeno nell'ambito della fisica.

III.

Un termine come meccanicismo è stato usato per denotare situazioni talmente diverse che esso si presta inevitabilmente a molteplici equivoci. Credo che il programma di ricerca caratterizzabile come meccanicismo nel corso dell'800 sia stato definito in modo soddisfacente da Helmholtz nell'*Introduzione* al suo famoso articolo *Sulla conservazione della forza* nel quale si stabilisce la connessione tra conservazione dell'energia e teoria cinetica della materia. Dice dunque Helmholtz: «Il problema della fisica è quello di ricondurre i fenomeni naturali a forze invariabili di attrazione e di espulsione la cui intensità dipende solamente dalla distanza. La possibilità di risolvere questo problema è la condizione della completa comprensibilità della natura [...] La fisica deve perciò, se non vuole contentarsi di mezze spiegazioni delle cose, portare le sue nozioni in armonia con le condizioni poste sulla natura delle forze semplici e con le conseguenze che ne seguono. Avrà condotto a termine il suo compito quando avrà completato la riduzione dei fenomeni naturali alle forze semplici e avrà dimostrato che questa è la sola riduzione di cui i fenomeni sono capaci». (Cfr. *Kinetic Theory*, a cura di Brush, Vol. I, London 1965, p. 92-93). Accettiamo questa definizione come soddisfacente. Essa contiene tutti gli elementi di cui abbiamo bisogno: una concezione abbastanza ampia della fisica, una nozione univoca di riduzione alla meccanica, una limitazione precisa del tipo di forze ammissibili per questa riduzione.

Non presenterebbe ora nessuna difficoltà mostrare che, nel senso or ora definito, alla fine dell'800 nessun fisico attivo persegue più un programma di tal fatta. Lo stesso Helmholtz alla fine degli anni '80 preferiva cercare piuttosto *analogie* meccaniche per, che non *spiegazioni* meccaniche della termodinamica.

Alla fine del secolo, la situazione è ancora più in movimento. Energetisti, fenomenologici, elettromagnetici, tutti cercano vie alternative per definire il programma di ricerca della fisica teorica. È ben vero che analizzate retrospettivamente queste tendenze risultano piuttosto «mode filosofiche», tipico prodotto di una crisi di crescita della fisica, che non metodologie durature capaci di influenzare significativamente il processo di sviluppo della fisica teorica. Ma il panorama delle diverse posizioni non si esaurisce qui. Esiste un gruppo di scienziati ben altrimenti impegnato sul terreno concreto della fisica che vuole integrare in un edificio unitario e coerente i nuovi «fatti scientifici» che si vanno individuando, e che presentano caratteri decisamente anormali: esperimento di Michelson-Morley, calori specifici dei gas biatomici, radiazione del corpo nero. Questo gruppo di scienziati piuttosto omogeneo, malgrado i diversi interessi particolari di ricerca, ritiene essenziale per lo sviluppo della fisica *il punto di partenza* offerto dalla meccanica e vuole pertanto svilupparne le potenzialità in più direzioni. Si tratti di Boltzmann e dei problemi connessi alla meccanica statistica o di Lorentz (e Poincaré) o di quelli nati dalla teoria dell'elettrone la questione è sempre: come è possibile inserire i nuovi feno-

meni nel quadro unitario fornito dalla meccanica dei sistemi discreti e continui (teoria dei campi)?

Lo strumento metodologico da loro messo a punto potrebbe essere caratterizzato come il metodo delle *analogie meccanico-matematiche*. Si tratta di illustrare le leggi di una classe di fenomeni mediante quelle di un'altra classe più nota cosicché quest'ultima ne divenga un modello. Per dirla con Poincaré non si tratta di trovare una spiegazione meccanica ma «di mostrare che potremmo trovarne una se lo volessimo». Ciò è sempre riuscito, commenta Poincaré, in ciò che concerne i fenomeni reversibili direttamente, ma anche, utilizzando la legge dei grandi numeri, per quelli irreversibili.

In questo quadro unitario avrebbero dovuto trovare la loro spiegazione naturale e quindi essere classificati tutti i fenomeni di vecchia e nuova scoperta, non tutti facilmente incorporabili in un siffatto contesto teorico. Tuttavia, nota ancora Poincaré, molti fenomeni hanno trovato il loro posto, altri ancora no, «ma non credo che essi distruggeranno l'unità generale. Credo piuttosto che la completeranno» (*La Science et l'Hypothèse*, Paris, 1968, p. 188).

«I quadri non si sono rotti; i rapporti che abbiamo riconosciuto tra oggetti che credevamo semplici sussistono ancora tra questi oggetti quando ne conosciamo la complessità, ed è questo solo che importa. Le nostre equazioni diventano sempre più complicate [...], ma niente è cambiato per quanto riguarda le relazioni che permettono di dedurre queste equazioni le une

dalle altre [...] La forma delle equazioni ha resistito». (*Id.*, p. 189).

Conveniamo di chiamare, seguendo una felice definizione di Einstein, questo programma di ricerca un programma di *fisica costruttiva*. Le ragioni di questa denominazione mi sembrano trasparenti. In un contesto sperimentale vivacissimo che continuamente mette alla prova le teorie preesistenti, il problema non è di abbandonare i vecchi principi per introdurne di nuovi ma di metterne alla prova la fecondità, di adattarli alle nuove situazioni. Ovviamente ciò potrebbe essere molto difficile ma tutto il gruppo di «fisici costruttivi» ritiene che sia possibile perseguire questo scopo e che vada fatto in questa direzione ogni sforzo.

Non è questa la sede per dimostrare che Boltzmann, Lorentz, e Poincaré non solo proponevano a livello epistemologico un programma di questo tipo ma lo seguivano anche nel concreto lavoro di ricerca. Basta seguire l'*iter* che Lorentz e Poincaré hanno percorso per introdurre il principio di relatività o la discussione di Boltzmann del calore specifico delle molecole biatomiche per rendersi conto che le cose stanno proprio così.

Negli anni che vanno dal 1900 al 1907 escono una serie di contributi che rendono nel giro di pochi anni obsolete le prospettive di lavoro che stiamo discutendo. Si tratta dei lavori di Planck sulla radiazione del corpo nero che introducono la ben nota ipotesi dei quanti, dell'introduzione del punto di vista di Gibbs in meccanica statistica nel suo libro *Elementare principles in Statistical Mechanics* (1902) dei lavori di Einstein

sull'elettrodinamica, sui quanti di luce (effetto fotoelettrico), sul calore specifico dei solidi (1907). È inoltre importante ricordare che il punto di vista di Gibbs era stato introdotto indipendentemente da Einstein in alcuni lavori non molto conosciuti del 1902-1903 e da lui applicato nelle successive ricerche, ben altrimenti famose, sul moto browniano (1905-1908).

Al di là dei contenuti specifici ciò che accomuna questi lavori è ciò che Einstein ha caratterizzato come *teorie dei principi*. Esse pongono a fondamento della teoria alcuni principi che derivano dalla generalizzazione di proprietà dei fenomeni osservate empiricamente. La loro matematizzazione aprirà una nuova branca della fisica teorica. Così, ad esempio, il risultato negativo dell'esperimento di Michelson e Morley non ha alcun bisogno di essere spiegato, esso mostra semplicemente che il concetto di etere stazionario - ed il suo correlato, lo spazio assoluto - è ingiustificato e quindi va abbandonato, al suo posto subentrano il principio di relatività particolare e quello della costanza della velocità della luce; la teoria matematica che ne consegue è la teoria della relatività. Non vi è più ora lo sforzo di costruire la teoria in modo unitario, anzi. Una *euristica fenomenologica* estremamente disinvolta si accoppia con il metodo delle *analogie formali*: una qualunque struttura matematica può servire come modello di teoria in quanto ciò permetta di formulare in modo unificato e coerente un insieme di fenomeni fisici potenzialmente omogenei. Questa è tipicamente la via seguita dal fisico americano Gibbs per fondare una teoria statistica della materia completamente

svincolata da ipotesi particolari sui sistemi ai quali si applica.

Il punto che ora ci preme sottolineare è il seguente. Questa fisica dei principi ottenne senza dubbio, fin dal suo nascere, un buon numero di successi esplicativi. Tuttavia quella che abbiamo convenuto di chiamare teoria costruttiva non era da meno. Sia che si guardi ai successi ottenuti allora dalla teoria degli elettroni di Lorentz o da quelli ottenuti dalla meccanica statistica classica di Boltzmann, sia che si consideri la loro indubbia permanenza - in quanto teoria, non in quanto risultati - nel corso del '900 o addirittura la ripresa della loro tematica negli ultimi anni, si ha l'impressione che si trattasse di un programma di ricerca in fase per nulla degenerativa. Eppure nel corso di non più di 10 anni il nuovo atteggiamento si impose largamente soprattutto in Germania e negli Stati Uniti. I settori o i problemi nei quali non poteva imporsi furono considerati poco importanti per lo sviluppo della fisica e lasciati da parte. Per alcuni decenni le nuove «scoperte» costituitesi in Fisica Moderna e propagandate come una nuova «filosofia» delle scienze naturali hanno imposto un nuovo stile al lavoro di ricerca senza fornire di questa trasformazione radicale alcuna giustificazione soddisfacente: tutto seguiva dalle improbabili «contraddizioni» della «teoria classica».

I successi ottenuti nel loro ambito specifico dalla teoria della relatività e dalla meccanica quantistica (formulazione della vecchia teoria quantistica insieme di principi euristici, entro lo schema matematico della teoria degli operatori

lineari negli spazi di Hilbert) sono tutt'altro che trascurabili. Essi includono settori considerevoli della microfisica, della fisica degli stati aggregati e dell'astrofisica. Non possiamo dimenticare tuttavia che nell'insieme della fisica, a settant'anni dalla sua nascita, la nuova metodologia non ha fornito un'alternativa valida al metodo classico. Questo infatti in settori quali la meccanica statistica - della quale N. Wiener ha detto «da più di un secolo sta davvero invadendo ogni campo della scienza» -, la teoria dell'informazione e dei controlli, la meteorologia, la geofisica, la oceanografia ha mostrato una vitalità che è ancora tutta da sfruttare.

Rimane allora da spiegare, sul piano storico, perché l'atteggiamento che è alla base della nuova fisica si sia imposto, almeno in Occidente, con tanta rapidità.

Crediamo che quanto siamo venuti argomentando indichi chiaramente che ragioni puramente interne al contesto scientifico non siano sufficienti. Occorre individuare ragioni storiche più generali. Si tratta di un lavoro ancora largamente da fare. Tuttavia vi sono sufficienti indicazioni per avanzare qualche ipotesi.

Ciò che caratterizza l'atteggiamento che ha portato alla fisica dei principi rispetto a quello tipico della fisica costruttiva è la sua molto maggiore duttilità che permette di costruire molto più rapidamente, in ambiti ben delimitati, spiegazioni teoriche soddisfacenti. È evidente tuttavia che ciò comporta una parcellizzazione molto spinta del sapere con una correlata diminuzione del livello di controllabilità individuale e

sociale del processo globale di crescita della conoscenza scientifica.

Si viene in tal modo a recepire ed a introdurre nel lavoro scientifico, anche se in modo piuttosto meccanico, l'istanza sociale della divisione del lavoro. Di qui a collegare le ragioni dell'affermazione di questo nuovo atteggiamento in fisica a quel particolare tipo di progressiva integrazione della scienza con l'attività produttiva che è stato tipico del capitalismo il passo è breve. Questo processo di integrazione, d'altra parte, si origina appunto negli ultimi decenni del XIX secolo. Un suo correlato, sia detto per inciso, è la trasformazione della tecnica in tecnologia. Il grosso problema che rimane da affrontare non è tanto quello di dimostrare che un collegamento di tal fatta esiste - troppe sono, nella storia, le coincidenze per dubitarne - quanto di vedere *come* esso si sia realizzato. Si tratta, in altre parole, del tipico problema delle mediazioni.

Non è certo questa la sede per affrontarlo compiutamente, né abbiamo ancora tutta la documentazione che sarebbe desiderabile. È chiaro, in ogni caso, che il potere economico e politico che ha gestito in questi anni lo sviluppo produttivo ha potuto realizzare il processo di integrazione della scienza in vari modi:

- 1) trasformando le istituzioni scientifiche esistenti o creandone di nuove più funzionali ai suoi scopi;
- 2) creando grandi laboratori di ricerca, teorica e sperimentale, altamente specializzata con un'organizzazione non molto diversa dalla grande industria;

3) immettendo nella comunità scientifica i migliori quadri che provenivano dalle nuove attività e alterandone, di conseguenza, il centro di interessi.

Questo fu fatto allora in modo funzionale alle esigenze di un capitalismo come quello tedesco e americano in rigoglioso sviluppo. La trasformazione scientifica che abbiamo descritto ne è stata una filiazione intelligente.

Vari fatti concorrono a sostenere la nostra ipotesi. Il ritardo con cui venne abbandonato il concetto di etere o accettata l'ipotesi quantistica della comunità scientifica in Inghilterra, dove il processo di integrazione tecnica-scienza procedeva a rilento, ne è un primo esempio evidente. Ma, forse, è anche possibile, in questo quadro, interpretare in termini meno aneddotici e più «strutturali» il fatto che Einstein, questo incredibile «inventore» di teorie dei principi, avesse lavorato per alcuni anni in un ufficio di brevetti svizzero. Ad un livello molto più interessante - anche se la cosa meriterebbe ben altro approfondimento - si può osservare che in Unione Sovietica lo sviluppo scientifico ha seguito vie piuttosto diverse. Qui, infatti, alle istanze di controllo che sono parte essenziale di ogni tentativo di pianificazione globale ha fatto riscontro un uso molto più ampio dei metodi costruttivi. Lo si è visto in due direzioni fra loro complementari: nella applicazione estensiva della fisica classica a tutti i settori di recente matematizzazione (geo-fisica, bio-fisica etc), nel rafforzamento dei legami fra fisica e matematica. E sottolineiamo che negli anni '20 questa scelta fu esplicitamente e consapevolmente teo-

rizzata non tanto come propagandistica scelta di scienza proletaria - come fu negli anni di Stalin - quanto come scelta più funzionale ad un progetto di pianificazione scientifica.

IV.

Possiamo ora tornare alla questione dalla quale eravamo partiti. Crediamo di poter affermare, sulla base dei fatti discussi, che *la trasformazione scientifica dell'inizio del nostro secolo è dentro la stessa dinamica storica che ha caratterizzato l'emergere e l'affermarsi della rivoluzione copernicana*. Tuttavia il progetto particolare che in essa si esprime merita un più attento esame.

Se infatti il senso profondo della rivoluzione copernicana fu quello di esplicitare la fraudolenta limitazione del potere degli uomini che era implicita nella concezione aristotelica della tecnica come «imitatio naturae» e di sostituire alla scienza aristotelica (che di quella concezione era espressione) una fisica più adeguata a questa consapevolezza del potere dell'uomo, non è certo questo il senso della trasformazione scientifica dell'inizio del nostro secolo. In essa infatti si esprime un processo di adeguamento subalterno della ricerca scientifica ad un nuovo ruolo sociale caratterizzato dall'integrazione sempre più stretta fra la scienza e la produzione sociale anarchica tipica del capitalismo. Il *modo* in cui in essa questo senso si esprime lo siamo venuti discutendo in queste pagine; il risultato sono le grosse difficoltà che incontra ogni progetto, al-

ternativo al capitalismo, di riappropriazione della scienza. La realizzabilità di un tale progetto dipende infatti in modo critico da due condizioni:

1) la creazione di una cultura scientifica di massa, intesa come capacità d'uso dei risultati scientifici in contesti tecnologici e non come informazione aggiornata ma di carattere essenzialmente contemplativo sui progressi delle scienze;

2) la pianificazione globale della ricerca scientifica.

Ma queste sono appunto condizioni difficili da realizzare in una situazione di parcellizzazione del sapere. (\*)

(\*) Anche in questa occasione desidero ricordare che, da molti anni, la mia maturazione su questi temi è legata ad una continua collaborazione con Gianni Jona-Lasinio.

## Bibliografia

Premettiamo un elenco delle opere citate nel testo.

- E. CARR, *Sei Lezioni sulla storia*, Torino, Einaudi, 1966.
- A. MESSIAH, *Mécanique Quantique*, Paris, Dunod, 1962.
- M. J. KLEIN, *Mechanical Explanation at the End of the Nineteenth Century Historical Studies in Physical Sciences*, Princeton University Press, Vol. IV, 1972.
- S. G. BRUSH, *Kinetic Theory*, Vol. I, London, Pergamon Press, 1965.
- H. POINCARÉ, *La Science et l'Hypothèse*, Paris, Flammarion, 1968.
- A. EINSTEIN, *Pensieri degli anni difficili*, Torino, Boringhieri, 1965.
- J. W. GIBBS, *Elementary Principles in Statistical Mechanics*, New York, Dover.

Per la ricostruzione storica, oltre alle opere citate, sono molto utili, per quanto riguarda gli sviluppi della fisica:

H. POINCARÉ, *Dernières Pensées*, Paris, Flammarion, 1963.

H. POINCARÉ, *The principles of Mathematical Physics*, «The Monist», Vol. XV, 1905, p. 1-24.

I. BOLTZMANN, *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, Holland, Reidei, 1974.

A. Einstein, *scienziato e filosofo*, autobiografia di Einstein e saggi di vari autori a cura di P. A. Schilpp, Torino, Boringhieri.

P. & T. EHRENFEST, *The conceptual foundations of statistical approach in Mechanics*, New York, Cornell Univ. Press, 1959.

Alcune ricerche utili di storia della fisica sono:

A. HERMANN, *The genesis of Quantum Theory (1899-1913)*, Cambridge, MIT Press, 1971.

D. TER HAAR, *The Old Quantum Theory*, London, Pergamon Press, 1967.

M. DAUMAS, *Storia della Scienza*, (a cura di) Vol. III, *Le Scienze fisiche*, Bari, Laterza, 1976.

Per quanto riguarda lo sviluppo della tecnologia:

C. SINGER et al., *Storia della tecnologia*, Torino, Boringhieri.

F. KLEMM, *Storia della Tecnica*, Milano, Feltrinelli, 1966.

Sul carattere progettuale della scienza e per i giudizi sull'Unione Sovietica si vedano:

N. BUKARIN et al., *Scienza al bivio*, Bari, De Donato, 1977.

V. L. GINZBURG, *Key Problems of Physics and Astrophysics*, Moscow, MIR, 1976.

L. R. GRAHAM, *Science and Philosophy in the Soviet Union*, New York, Vintage Books, 1974.

## Per una didattica di riforma

### *volumi già usciti:*

1. E. GARIN, L. LOMBARDO RADICE, *Specializzazione scientifica e unità della cultura*
2. A. BARACCA, A. ROSSI, *Scienza e produzione nel '700*
3. G. MORI, P. ROSSI, *Dall'universo-macchina alla rivoluzione industriale*
4. E. CASARI, G. ISRAEL, F. MARCHETTI, *I fondamenti della matematica dall'800 a oggi*
5. G. CICCOTTI, G. TORALDO DI FRANCIA, *La nascita della fisica moderna*

### *volumi in preparazione:*

6. L. PAGGI, A. ZANARDO, *Cultura e società nel pensiero socialista dell'800*
7. M. BUIATTI, S. CALIFANO, A. DOLARA, *Chimica e biologia nel secolo XX*
8. G. LUTI, *Avanguardie e critica letteraria nel '900*
9. T. DE MAURO, A. SANTONI RUGIU, *Linguaggio, scuola e società*
10. S. AIELLO, A. CARBONARO, R. QUERZOLI, *L'organizzazione della ricerca scientifica*

Finito di stampare  
dalla coop. officine grafiche firenze  
nel mese di marzo 1978

## Le frontiere dell'educazione

1. AA. VV., *Educazione come prassi politica*, a cura del Collettivo Rosso per l'educazione proletaria, Berlino Ovest, introduzione di V. Baldacci, pp. 208.
2. AA. VV., *Le comuni infantili*. L'esperienza berlinese dei primi «Kinderladen», primavera 1968, a cura di K. Sadun, V. Schmidt, E. Schultz, pp. 152.
3. G. LAPASSADE, *Il mito dell'adulto*. Saggio sull'incompiutezza dell'uomo, presentazione di L. Pagliarani, pp. 280.
4. S. BERNFELD, *Sisifo ovvero i limiti dell'educazione*, pp. 164.
5. L. BOLTANSKI, *Puericoltura e morale di classe*, pp. 192.
6. B. BIASUTTI, *Guida all'educazione non repressiva*. La civiltà contro il bambino?, pp. 176.
7. J. R. SCHMID, *Compagno maestro*. Esperienze di pedagogia libertaria, prefazione di V. Baldacci, pp. 208.
8. AA. VV., *Un mondo differenziale*, a cura del Gruppo Borghetto Prenestino, pp. 184.
9. F. PASSATORE, S. DESTEFANIS, A. FONTANA, F. DE LUCIS, *Io ero l'albero (tu il cavallo)*, pp. 224.
10. A. FREUD, *Psicoanalisi per educatori*, pp. 136.
11. G. BARTOLUCCI (a cura di), *Il teatro dei ragazzi*, con scritti di G. Scabia, F. Passatore, S. Rostagno e altri, pp. 229.
12. A. HAIM, *I suicidi degli adolescenti*, pp. XXIV-272.
13. TSIEN TCHE HAO, *L'insegnamento scientifico in Cina*, pp. 136.
14. B. DEL RIESGO, *La pedagogia di Fidel*. Consigli ai genitori cubani, introduzione di L. Aguzzi, pp. 112.
15. M. VALERI, G. GENOVESI, *Comico creatività educazione*, pp. 192.
16. G. CALABRIA, *La scuola in tribunale*, pp. 248.
17. A. CANEVARO, F. TONUCCI, P. SACCHETTO, *Il gioco dell'oca dell'assistenza*, pp. 160, con una tavola a colori per «giocare» al Gioco dell'oca.
18. E. PELI, *La strada stretta*. Scuola del sottosviluppo mentale, pp. 136.
19. E. MONTORBIO, M. P. PROFUMO, *Gruppo e ricerca scuola*, pp. 128.

20. S. MERCIAI, A. FIORETTI, G. CONTINI, *Verso una psicopedagogia di libera espressione*. Uso alternativo delle scienze umane e prevenzione della malattia mentale, con contributi di F. Alfieri, e A. Fontana, pp. 168.
21. G. LIPPI (a cura di), *San Giuseppe imbalsamato*. Ricerche di una scuola elementare, presentazione di C. Venturi, pp. 208.
22. M. A. GUILHOT, J. GUILHOT, J. JOST, E. LECOURT, *La musicoterapia associata ad altre tecniche terapeutiche*, pp. 176.
23. R. BEDOSTI, p. G. TROTTO, *Il 99° modo di insegnare l'inglese*, pp. 136.
24. E. VINCELLI, *Il cinema capovolto*. Il cinema di ricerca nella scuola dell'obbligo, introduzione di L. Lombardo Radice, pp. 120.
25. L. MAZZETTI, *Il teatro dell'Io: l'onirodramma*. I bambini drammatizzano a scuola i loro sogni, pp. 240.
26. C. CRISTIANI VOLPI, *La classe degli asini*. Selezione scolastica, personalità e cultura, pp. 176.
27. M. VIOLA, G. VECCHI, *Il ruolo dello psicologo*. Lo psicologo le scienze umane e il cambiamento istituzionale, pp. 216.
- 27b. M. BONAZZI, U. ECO, *I pampini bugiardi*. Indagine sui libri di testo delle scuole elementari, introduzione di L. Del Cornò, pp. 158.
28. *Guida alla formazione di una biblioteca per ragazzi*, a cura del Gruppo di Coordinamen-  
to delle Biblioteche di Quartiere del Comune di Modena, testi introduttivi di N. Vicini Marri, pp. 184.
29. G. MAROCCO, *La democrazia a scuola*. Decreti delegati: una verifica nella prassi, pp. 152.
30. G. AMMON (a cura di), *Pedagogia e psicoanalisi*, pp. 280.
31. T. SAVI, *Scuola e fabbrica*. Lineamenti di una didattica operaia per la scuola, pp. 192.
32. F. PASSATORE, *Animazione dopo*. Le esperienze di animazione dal teatro alla scuola, dalla scuola al sociale, introduzione di G. Bartolucci, pp. 338.
33. P. ANANIA, *L'educazione progettata*. Una teoria e una prassi del fare scuola oggi, pp. 224.
34. JACOB L. MORENO, *Il teatro della spontaneità*, a cura di A. Santoni Rugiu, con una nota di G. Bartolucci, pp. 270.
35. E. CAVAZZONI, *Guida alla lettura del quotidiano*. Lo studio dell'italiano in un corso 150 ore, pp. 136.
36. G. L. ZUCCHINI (a cura di), *Animazione musicale e disadattamento*. La musica come terapia educativa, pp. 152.
37. C. CALLIGARIS (a cura di), *Asili nido: che fare?* Impostazione educativa, arredi, tipologie edilizie, pp. 192.

38. P. BOURDIEU, J. C. PASSERON, *Gli studenti e la cultura*. I delfini, presentazione di G. Gurrieri, pp. 144.
39. M. BACIGALUPI, P. FOSSATI, *Bambino o scolaro? L'esperienza infantile in un quartiere operaio*, introduzione di G. Bini, pp. 184.
40. *Sperimentazione e 150 ore per la riforma della scuola*. Atti 4° convegno scuola Pro civitate Christiana, Assisi, 2-6 gennaio 1976, a cura di N. Giostra, pp. 148.
41. M. CORRADINI, L. ZORAT, *Il laboratorio creativo*. Esperienze di ricerca nella scuola media, pp. 136.
42. G. CALMY GUYOT, *Pedagogia della mano*. Una ricerca sull'uso della mano nel rapporto educativo, pp. 280.
43. D. DEMETRIO (a cura di), *150 ore e diritto d'alfabeto*. Alfabetizzazione degli adulti e realtà operaia, pp. 176.
44. P. ANANIA, *Comunicazione, linguaggi, gruppo*, pp. 248.
45. F. GIRARDET, *Il convitto liberante*. La ventennale esperienza del Convitto Valdese di Torre Pellice, presentazione di T. Vinay, introduzione di A. Canevaro, pp. 224.
46. ECAP-CGIL, *La lingua degli emigrati*, a cura di L. Zanier, pp. 160.
47. R. BARALDI, C. BARBARELLA, *Formazione professionale e occupazione*. Strumenti di lavoro per una strategia delle Regioni, prefazione di R. Scheda, pp. 224.
48. R. PACE, *Il circolo chiuso*. Una sperimentazione didattica: dalla scuola dell'obbligo all'incontro con i lavoratori delle 150 ore, pp. 144.
49. B. INCATASCIATO, M. P. TANCREDI, *Manuale del tempo pieno*, pp. 232.
50. D. DEMETRIO, *Le scuole dell'alfabeto*. Trent'anni di «lotte all'analfabetismo» (1947-1977), pp. 232.
51. L. SCIOLLA, *La partecipazione assente*. Gli organi collegiali della scuola dall'utopia alla crisi, prefazione di E. Menduni, pp. 180.
52. F. MELLO, N. ORENGO, F. PROVERA, E. TRONCONI, *La scatola dei giochi*, pp. 128.
53. *Le funzioni del distretto*. Dal dibattito politico alle indicazioni di lavoro, a cura di C. Mauceri e F. Quercioli, prefazione di B. Roscani, pp. 300.

1. G. STEFANI, *Insegnare la musica*. Proposte di animazione e didattica, pp. 160.
2. G. L. ZUCCHINI, *Dalla scuola al territorio*. Per nuovi itinerari interdisciplinari: museo musica, pittura, cultura urbana e contadina, pp. 160.

1. M. PLANA, *La Spagna franchista*, pp. 144.
2. G. BETTETINI, M. DE MARINIS, *Teatro e comunicazione*, pp.160.
3. N. ADDARIO, E. BALDI, A. LONGO, *Europa/USA: le contraddizioni interimperialistiche*, pp. 160.
4. F. COLOMBO, S. GRANDI, N. RIZZA, *Radio e televisione*, pp. 176.
5. F. susi, S. MEGHNAGI, *L'educazione permanente*, pp. 160.
6. G. FEDERICI, G. GAMBARDELLA, R. LEVRERO, *Le multinazionali dell'energia e dell'elettronica*, pp. 160.
7. M. WOLF, *Gli apparati delle comunicazioni di massa*, pp. 160.
8. T. GASPARRI, *La Resistenza in Italia*, pp. 220, L. 2.500.
9. P. L. CERVELLATA M. MILIARI, *I centri storici*, pp. 120.

10. O. CALABRESE, *Arti figurative e linguaggio*, pp. 160.
11. A. FERRERO, G. GRIGNAFFINI, L. QUARESIMA, *Il cinema italiano degli anni '60*, pp. 176.
12. F. PRAUSSELLO, *Le vicende monetarie internazionali*, pp. 160.