

## STORIA DELLA FISICA E DIDATTICA

di Fabio Bevilacqua

### 1. Insegnamento conservativo e innovativo

Il sistema dell'istruzione pubblica, nel mondo, ha raggiunto dimensioni enormi ma è in crisi ovunque. Alcune cifre tratte da un recente rapporto al Club di Roma (*Imparare il futuro*) sono indicative: la spesa mondiale per l'istruzione pubblica è stata di circa 380 miliardi di dollari nel 1978, inferiore soltanto alle spese militari. «L'istruzione scolastica... è una delle imprese umane più vaste sul pianeta. Essa impegna direttamente una persona su sei nel mondo fra studenti, insegnanti e personale amministrativo». Più di trenta milioni di persone insegnano, ma nonostante queste dimensioni ciclopiche i risultati sono inquietanti. Già da una osservazione superficiale emergono squilibri nettissimi tra paesi sviluppati e non (Usa, Urss e Giappone spendono più di tutto il resto del mondo per l'istruzione superiore), cifre molto elevate riguardo l'analfabetismo (nel 1980 gli analfabeti sono stimati 820 milioni e 240 milioni di bambini tra i 5 e i 14 anni non andranno a scuola). Ma approfondendo l'analisi risulta che anche paesi sviluppati presentano grosse insufficienze nel campo dell'istruzione: negli Stati Uniti gli analfabeti sono l'1% della popolazione ma l'analfabetismo funzionale, cioè l'incapacità di leggere e scrivere ad un livello tale da permettere di trovare un'occupazione, colpisce ben il 10% della popolazione: 23 milioni di persone. Questo è ovviamente un indice dell'incapacità del sistema dell'istruzione di mantenere il passo con lo sviluppo sociale. Raffinando ancora l'analisi dei problemi si raggiungono conclusioni ancor peggiori: il rapporto evidenzia che di fronte alla sempre crescente complessità dei problemi da affrontare il contributo dato dalla istruzione pubblica è assolutamente insufficiente. La soluzione proposta dal Club di Roma ruota intorno ad una distinzione fondamentale: quella tra insegnamento conservativo ed innovativo. Per insegnamento conservativo si intende «l'acquisizione di modi di pensare, metodi e regole fissi con cui far fronte a situazioni note e ricorrenti. Esso promuove in noi la capacità di risolvere quel tipo di problemi a cui siamo posti abitualmente di fronte. È l'apprendimento adatto per conservare un sistema già esistente o un modo di vita già stabilizzato». Ma non si deve ritenere che l'apprendimento conservativo svolga un ruolo negativo: esso è infatti «indispensabile per il funzionamento e la stabilità di qualsiasi società». Tuttavia questo tipo di insegnamento non è sufficiente, soprattutto in periodi «di sconvolgimenti, trasformazioni, discontinuità». In questi tempi diviene necessario anche un «tipo di apprendimento capace di apportare trasformazioni, rinnovamenti, ristrutturazioni, riformulazione dei problemi». Un aspetto fondamentale di questo apprendimento innovativo è

l'attenzione che esso pone ai valori e alla ricerca del significato dei problemi. Secondo il rapporto «i processi cognitivi consistono soprattutto nel confronto dei nuovi apporti di informazione con appropriati schemi mentali che fan parte di un vasto numero di quadri di riferimento mentali creati dall'esperienza passata» e inoltre «l'apprendimento innovativo non può essere la mera digestione di un input, che produce a sua volta un output; nè può essere un semplice processo additivo in cui vengono connessi valori e cose». Da questo punto di vista ovviamente viene contestata l'idea che «la soluzione di problemi prefissati sia la forma più elevata di apprendimento (anche) per gli esseri umani». Il punto veramente importante che emerge dal rapporto è che «ogni tipo di apprendimento volto alla soluzione di problemi implica una serie di processi antecedenti e sottostanti, che consistono nella percezione, nella definizione e nella formulazione del problema stesso». L'aspetto della definizione del problema è tipico dell'insegnamento innovativo, mentre quello della soluzione di un problema dato è tipico dell'insegnamento conservativo.

## **2. L'insegnamento innovativo non trova spazio nei manuali scientifici. Ne risulta un'immagine parziale dell'impresa scientifica**

Passando a trattare problemi più direttamente connessi all'insegnamento scientifico notiamo che anche in questo settore a dimensioni ciclopiche di impegno non corrispondono risultati particolarmente brillanti dal punto di vista dell'insegnamento innovativo, di cui si avverte l'esigenza per far fronte ai complessi problemi contemporanei. Infatti nel mondo esistono 5.000 università, 40 milioni di studenti universitari, 35.000 riviste e giornali scientifici e tecnici, che pubblicano circa 2 milioni di articoli all'anno, scritti da qualcosa come 750 mila autori in circa 50 lingue diverse. Ma già venti anni fa Schwab lamentava la carenza dell'insegnamento scientifico volto alla definizione dei problemi nuovi, cioè all'insegnamento scientifico come ricerca. Il lavoro di Schwab, una relazione all'università di Harvard tenuta nel 1961, si inquadra nel clima di reazione allo shock prodotto negli Stati Uniti dalla notizia del primo volo dello Sputnik. Uno degli effetti di questo shock fu un'ampia autocritica delle strutture educative e il rapido avvio di ricerche nel campo della Science Education, ricerche che avrebbero prodotto gli ormai famosi programmi per l'insegnamento secondario: Pssc, Ppc, «New Math», Bscs e i Chem. Studies.

Al posto della dicotomia insegnamento conservativo/innovativo Schwab parla della analoga dicotomia, nell'ambito dell'insegnamento scientifico, tra insegnamento della scienza come dogma ed insegnamento della scienza come ricerca. La ricerca è infatti la parte fondamentale dell'impresa scientifica. Essa non consiste unicamente nell'indagine dei «fatti» naturali e nella descrizione delle osservazioni fatte. Le rivoluzioni scientifiche del 600 e dei primi anni del 900 hanno portato alla scomparsa della «datità autoevidente» (p. 35) ed hanno rivelato chiaramente il ruolo

fondamentale delle costruzioni concettuali e dei principi guida:

la conoscenza scientifica di una qualsiasi epoca si fonda non sui fatti ma sui fatti *selezionati*, e la selezione di questi si fonda sul principio concettuale che dirige la ricerca. Inoltre, il sapere conquistato attraverso l'indagine non è semplicemente conoscenza dei fatti ma di fatti interpretati. E questa interpretazione dipende ugualmente dal principio concettuale che dirige la ricerca (p 37).

Il ruolo della «definizione dei problemi» assume pertanto nell'analisi di Schwab ampio spazio, pari almeno a quello della «soluzione dei problemi». Da questo punto di vista ci sono strettissime analogie col rapporto al Club di Roma. Queste due modalità di indagine vengono definite «ricerca stabilizzata e ricerca fluida»:

Funzione della ricerca stabilizzata è quella di accumulare ciò che un'educazione dottrinale c'insegna a concepire come la totalità del sapere scientifico... Compito del ricercatore stabilizzato è, in breve, quello di costruire un edificio, non di discutere il progetto. Ogni ricerca stabilizzata è impegnata a colmare un particolare spazio vuoto in un corpo di sapere in sviluppo. La forma di questo spazio vuoto ed il modo di operare per colmarlo vengono definiti dai principi direttivi della ricerca, ma il ricercatore stabilizzato non ha commercio alcuno con quei principi come tali. Egli li riceve da altri e li considera realtà di fatto, che impiega come strumento di indagine e non come oggetti sui quali indagare (p 39)... Arriva però il momento in cui una data teoria non riesce più a definire dei reali problemi. La ricerca stabilizzata si fa esitante. I dati si presentano contraddittori... Ed è a questo punto che la ricerca fluida trova il suo ruolo. Il suo compito è studiare ed analizzare il fallimento delle indagini stabilizzate, allo scopo di scoprire che cosa sia venuto a mancare nei principi che le avevano guidate. La ricerca fluida procede quindi alla scoperta di nuove concezioni e alla loro verifica quanto all'adeguatezza ed efficacia. Sua meta immediata non è aggiungere conoscenza all'argomento trattato, ma sviluppare nuovi principi che lo definiranno nuovamente e che guideranno un nuovo corso di valide ricerche stabilizzate (pp. 40-41).

Di fronte ad una realtà dell'impresa scientifica in cui si alternano e si sovrappongono la ricerca fluida e quella stabilizzata, abbiamo un insegnamento scientifico che mira soltanto all'insegnamento della scienza stabilizzata e per di più in maniera dogmatica e arretrata: i risultati anche della scienza stabilizzata del 900 sono quasi completamente elusi.

L'effetto di questa crescente carenza di comunicazione tra la ricerca ed il testo scolastico raggiunge il suo acme più impressionante in una assenza di relazione, in una contraddizione tra la scienza come opera nel fatto (una ricerca fluida utilizzando concetti mutevoli, producendo una continua riorganizzazione e revisione delle sue cognizioni) e la scienza come la si insegna. Essa viene infatti insegnata quasi come una assoluta *retorica delle conclusioni*, nella quale le temporanee e provvisorie costruzioni del sapere scientifico sono rappresentate come verità di fatto, letteralmente irrevocabili (p. 50).

In particolare Schwab nota il peculiare uso che si fa nei libri di testo della triade ipotesi-teoria-fatto: «Una 'ipotesi' viene definita una promettente congettura. La 'teoria' è definita come la congettura sorretta da prove che soddisfano molti, ma non la maggior parte degli scienziati. Allorché le prove risoltesi con successo si fanno abbastanza numerose da soddisfare praticamente tutti gli scienziati, la teoria diventa un 'fatto' (o in qualche caso un 'principio'). Insomma la scienza viene rappresentata esclusivamente come un processo di verifica, e il venerato 'fatto' o

‘principio’ esprime ancora una volta l’idea che la verifica è finalmente completa e indiscutibile» (p. 54)...

Ma i dati incorporati nella teoria non comprendono tutti i dati possibili sull’argomento in esame, ma solo una parte estremamente limitata o un aspetto di quelli che sono possibili. Una più ampia indagine rivelerà maggiori e più vari dati e questi nuovi complessi di dati richiederanno nuove concezioni ampliate e rivedute per conferire loro ordine e organizzazione.

«In tal modo una teoria non si trasforma in un ‘fatto’, ma in un’altra teoria, che risulterà più completa, più coerente, più comprensiva» (p. 56).

La disparità tra questa immagine della scienza e quella presentata dai libri di testo è veramente notevole.

Idee molto simili a quelle di Schwab vennero presentate negli stessi anni da T. Kuhn nel suo famoso libro: «*La struttura delle rivoluzioni scientifiche*». Il libro ha avuto un successo enorme ed è stato tradotto in più di 15 lingue. I concetti kuhniani di «scienza normale» e «scienza straordinaria» hanno quasi il medesimo significato della «scienza stabile» e «ricerca fluida» di Schwab. Infatti la scienza normale è intesa come una ricerca stabilmente fondata su uno o più risultati raggiunti dalla scienza del passato, ai quali una particolare comunità scientifica, per un certo periodo di tempo, riconosce la capacità di costituire il fondamento della sua prassi ulteriore.

Invece:

Messi di fronte a una anomalia o a una crisi, gli scienziati assumono un atteggiamento differente nei confronti di paradigmi esistenti, e la natura della loro ricerca muta di conseguenza. La proliferazione di articolazioni in concorrenza le une con le altre, il desiderio di tentare qualcosa, l’espressione esplicita di disagio, il ricorso alla filosofia e alla discussione sui fondamenti sono tutti sintomi di un passaggio dalla ricerca normale a quella straordinaria (p. 118).

Anche per Kuhn il libro di testo non è sufficiente a dare una immagine completa dell’impresa scientifica:

Fino ad oggi questa immagine è stata ricavata, anche dagli stessi scienziati, principalmente dallo studio dei risultati scientifici definitivi quali essi si trovano registrati nei classici della scienza e più recentemente nei manuali scientifici, dai quali ogni nuova generazione di scienziati impara la pratica del proprio mestiere. È però inevitabile che i libri di tal genere abbiano uno scopo persuasivo e pedagogico: una concezione della scienza ricavata da essi non è verosimilmente più adeguata a rappresentare l’attività che li ha prodotti di quanto non lo sia l’immagine della cultura di una nazione ricavata da un opuscolo turistico o da una grammatica della lingua (p. 19).

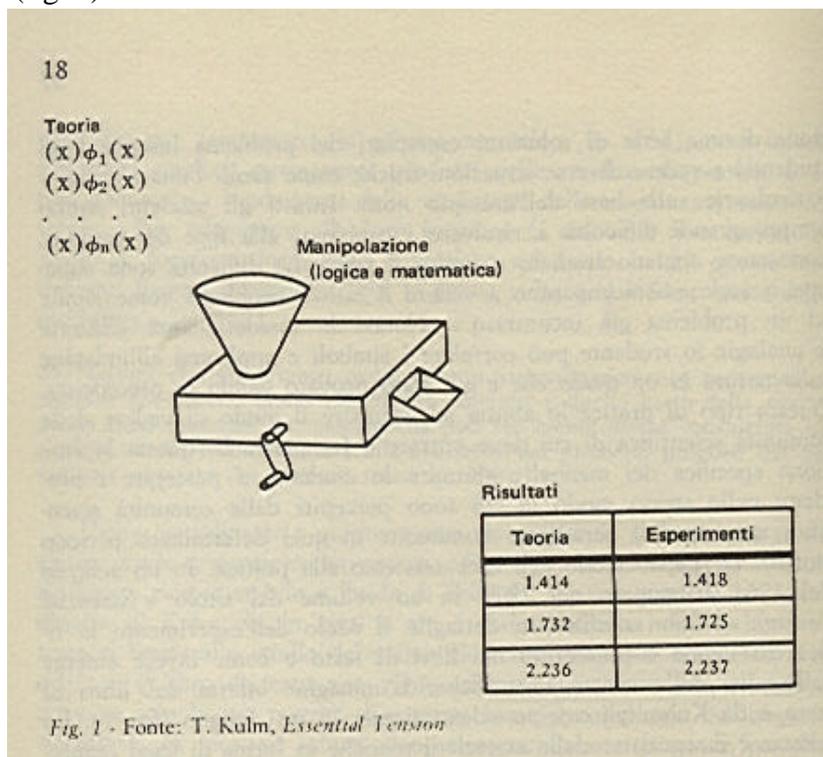
Il libro di testo serve esclusivamente come «strumento pedagogico costruito per trasmettere la scienza normale» (p. 167), esso infatti registra i risultati permanenti prodotti dalle rivoluzioni passate e fa così conoscere i fondamenti della tradizione della scienza normale corrente. «Per adempiere alla loro funzione (i manuali) non hanno bisogno di fornire informazioni autentiche sul

modo in cui questi fondamenti furono riconosciuti per la prima volta e quindi accettati dagli specialisti» (p. 167), e ancora:

Per ragioni che sono tanto ovvie quanto straordinariamente funzionali, i manuali scientifici... fanno riferimento soltanto a quella parte della ricerca svolta dagli scienziati del passato che può facilmente essere considerata un contributo alla formulazione e alla soluzione dei problemi proposti dal paradigma accettato dai manuali stessi (p. 168).

Vanno sottolineati a questo punto tre elementi: a. la stretta somiglianza tra le categorie conservazione e innovazione del rapporto al Club di Roma, ricerca stabile e fluida di Schwab, scienza normale e straordinaria di Kuhn; b. in tutti e tre i casi si afferma che il libro di testo si limita allo studio del primo elemento di queste coppie di concetti; c. il libro di testo non viene criticato in quanto tale ma viene criticata solo la sua pretesa di rappresentare il complesso dell'impresa scientifica. Al manuale infatti viene riconosciuta una funzione positiva in quanto consente di entrare in contatto con la scienza normale e la nascita dei manuali è considerata un indice della maturità di una scienza e uno strumento per il suo rapido accrescimento. La funzione del manuale è ripresa nel Poscritto alla seconda edizione del libro di Kuhn, pubblicato nel 1970. In particolare Kuhn specifica il significato di paradigma con due differenti termini: da una parte usa matrice disciplinare, per «'intera costellazione di credenze, valori, tecniche e così via condivise dai membri di una data comunità», il significato sociologico di paradigma; dall'altra usa «esemplare» per indicare la concreta soluzione di rompicapo che impiegata come modello o esempio, può rimpiazzare le regole esplicite come base per la soluzione dei rimanenti rompicapo di scienza normale (p. 175, second English Ed.). Più specificamente con questo termine Kuhn intende «le soluzioni concrete dei problemi (tipi di esempi standard di problemi risolti), in cui gli scienziati si imbattono per la prima volta da studenti nei laboratori, nei problemi posti alla fine dei capitoli dei manuali scientifici e durante gli esami» (v. *Critica e crescita della conoscenza*, p. 358). «Generalmente le soluzioni dei problemi di questo tipo vengono considerate come semplici applicazioni della teoria che si è già appresa». Ma per Kuhn c'è qualcosa di molto più importante. «La presentazione di una serie di soluzioni esemplari del problema insegna (agli studenti) a vedere diverse situazioni fisiche come simili l'una all'altra» e risolverle sulla base dell'esempio noto. Infatti gli studenti hanno sempre grandi difficoltà a risolvere i problemi alla fine dei capitoli, nonostante abbiano studiato e capito il testo. Le difficoltà sono superate quando essi «imparano a vedere il nuovo problema come simile ad un problema già incontrato». Notate le rassomiglianze, afferrate le analogie lo studente può correlare i simboli e applicarsi all'indagine sulla natura in un modo che è già stato provato valido in precedenza. Questo tipo di pratica lo abitua ad acquisire il modo di vedere della comunità scientifica di cui deve entrare a far parte. È questa la funzione specifica dei manuali: abituare lo studente a percepire i problemi nello stesso modo in cui sono

percepiti dalla comunità scientifica attraverso il paradigma dominante in quel determinato periodo storico. In questo modo egli sarà ammesso alla pratica. In un articolo del 1961 ristampato nel 1977 in un volume dal titolo «*Essential Tension*», Kuhn analizza in dettaglio il ruolo dell'esperimento in fisica così come è presentato nei libri di testo e come invece emerge dall'analisi delle riviste scientifiche. L'immagine offerta dal libro di testo è da Kuhn felicemente schematizzata in un disegno (fig. 1).



Lo schema è il seguente: delle asserzioni teoriche in forma di leggi rappresentano la teoria descritta; la parte centrale del disegno rappresenta l'apparato logico-matematico utilizzato per manipolare la teoria. Le leggi più le condizioni iniziali sono introdotte nella macchinetta manipolatrice, da cui emergono predizioni numeriche. Queste predizioni sono riportate sulla colonna sinistra della tabella, il cui lato destro è occupato da risultati effettivi delle misure. La funzione delle tabelle è particolarmente importante: di solito, nota Kuhn, essa è ritenuta un test della teoria: se c'è accordo tra le due colonne di numeri la teoria è ritenuta accettabile, altrimenti no. Kuhn è d'accordo che questo confronto costituisca la tipica pratica della ricerca scientifica ma nega che sia questo il motivo per cui le tabelle sono riprodotte sui manuali. Nessuno ha mai visto infatti un manuale che citasse dati per invalidare la teoria appena descritta. Non c'è dunque sui manuali una «problematica» della verifica. Del pari non è valida la funzione spesso attribuita ai dati di essere dei punti di partenza per delle generalizzazioni, come se la macchinetta potesse funzionare all'indietro e produrre delle leggi attraverso la manipolazione logico matematica di dati empirici. Infatti non esiste una logica induttiva della scoperta scientifica. Qual'è allora il vero

ruolo della tabella? Kuhn afferma che la vera ragione per cui si fa il confronto tra le due tabelle di dati è quella di *definire* un ragionevole accordo «tra risultati teorici e sperimentali». Ovvero di dare gli specifici limiti di approssimazione entro cui i risultati sono ritenuti validi. Ma tutto ciò non deve stupire; i libri di testo sono scritti con funzione pedagogica molto tempo dopo l'acquisizione (scoperta) della conoscenza e l'accettazione (conferma) da parte della comunità scientifica. Nè è necessario esaminare questi eventi se si ha l'obiettivo di insegnare determinati risultati specifici e definiti. I libri di testo, sostiene Kuhn, servono per poter leggere la letteratura scientifica, non per crearla o giudicarla. Pur tuttavia quella offerta dai manuali è spesso l'immagine che si ha di tutta l'impresa scientifica, è l'unica immagine che viene trasmessa agli studenti: si tace completamente sulla grave omissione della problematica della scoperta e della problematica della conferma. La «tensione essenziale» dell'impresa scientifica tra tradizione e innovazione viene completamente persa a livello didattico: la scienza viene insegnata in maniera fondamentalmente dogmatica. Non c'è nessuna «tensione» didattica verso l'innovazione, cioè la «definizione» di nuovi problemi. È da notare che questa non è una caratteristica dei soli metodi deduttivi: anche i più recenti metodi induttivi, chiamati in Francia i metodi della riscoperta, sono altrettanto dogmatici. Essi infatti si propongono di utilizzare le esperienze illustrative della lezione come punti di partenza per riscoprire le leggi scientifiche. È come far girare all'indietro la macchinetta dello schema kuhniano. Ciò è ben lontano dalla effettiva pratica della ricerca scientifica: l'esperienza illustrativa di una lezione non ha altro scopo, come le soluzioni esemplari di problemi, che abituare lo studente a «vedere» i fenomeni attraverso una particolare correlazione degli eventi e ad acquisire una certa pratica strumentale. Inoltre l'esperienza illustrativa non è che una rielaborazione moderna di una esperienza storica eseguita spesso in maniera diversa ed inserita sempre in un contesto culturale molto differente da quello odierno.

Entrambi i metodi, sia quelli semplicemente deduttivi sia quelli semplicemente induttivi, rimangono nell'ambito della preparazione alla scienza normale e non sono in grado di dare un'immagine completa dell'impresa scientifica.

### **3. Relazioni tra scienza, filosofia della scienza e didattica. La «moderna» didattica discende da una filosofia della scienza neopositivista**

Ci sono dunque delle profonde discordanze tra l'effettiva pratica scientifica e la didattica della scienza. Ma ogni didattica della scienza parte da una precisa immagine della scienza. Qual è l'idea di scienza e in particolare, della scienza fisica, che è nascosta dietro l'attuale tipo di didattica? C'è un'immagine della scienza più aderente all'effettiva pratica scientifica? Quali contributi questa nuova immagine della scienza può offrire alla didattica?

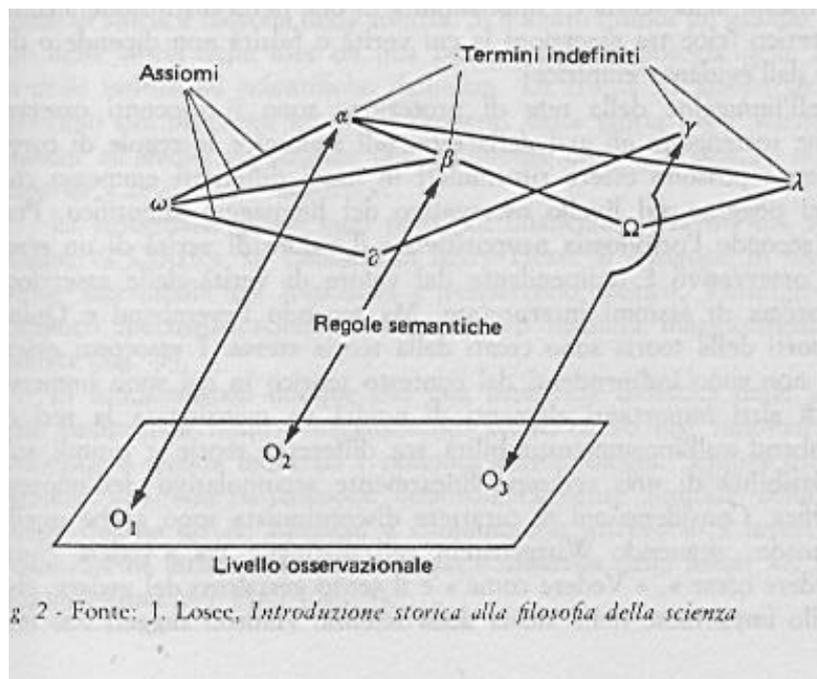
In effetti le relazioni tra scienza, filosofia della scienza e didattica sono molto strette. Già dieci anni fa Y. Elkana aveva affrontato con chiarezza questi problemi: le relazioni tra scienza e filosofia della scienza sono sempre state esplicite; nella antichità non v'era distinzione netta tra le due discipline ma da Galileo e Cartesio a oggi quasi tutti i grandi scienziati hanno dato contributi all'epistemologia. L'interpretazione del newtonianesimo come sistema ipotetico-deduttivo emerse dal lungo dibattito tra la filosofia induttiva baconiana e l'apriorismo cartesiano. Una versione dell'induttivismo baconiano modificata sotto l'influenza di Boyle e degli altri fondatori della Royal Society divenne la filosofia della scienza ufficiale dei paesi anglosassoni. Un altro esempio di dibattito epistemologico tra scienziati è quello all'interno dell'elettromagnetismo classico tra la metafisica dell'azione e distanza sostenuta dalla scuola tedesca di Weber e quella di Faraday dell'azione a contatto sostenuta della scuola inglese di Maxwell. La rilevanza dell'aspetto metafisico del dibattito è notevole perché v'era equivalenza di risultati sperimentali e di formulazione matematica tra le due teorie. Un terzo esempio di dibattito epistemologico tra scienziati è quello famoso del nostro secolo tra positivisti come Born, Heisenberg e talvolta Bohr e i realisti come Planck, Einstein, Schroedinger. Questo dibattito ebbe come origine la rivoluzione scientifica di questo secolo, la teoria della relatività e la meccanica quantistica, ed ebbe come risultato negli anni trenta l'affermarsi di una filosofia della scienza neopositivista. La filosofia della scienza infatti, ferma fino al 1870 ad un induttivismo realista ancora legato all'interpretazione baconiana del meccanicismo newtoniano, era passata alla fine dell'800 e ai primi del '900 attraverso le critiche positiviste di Mach, energetiste di Ostwald, convenzionaliste di Poincaré, operativiste di Bridgman per approdare al paradigma neopositivista. Le relazioni tra scienza e filosofia della scienza sono sempre state strettissime, anche se è oggetto di dibattito il peso della reciproca influenza. Ma che rapporti ci sono stati tra filosofia della scienza e didattica della scienza? Si può certamente dire che fino al lancio del primo Sputnik l'immagine della scienza trasferita a livello didattico era quella pre 1870: un'induttivismo realista, in cui i fatti venivano presentati come «oggettivi», le leggi di natura come stabilmente «provate». Le leggi si supponevano ricavate per generalizzazioni induttive e successivamente «dimostrate» teoricamente. Nelle scuole più avanzate esistevano dei laboratori dove poteva essere fatta una «verifica» sperimentale. Abbiamo detto che lo Sputnik ebbe in America l'effetto di stimolare la ricerca sulla didattica delle scienze. Il risultato fu che in quasi tutti i nuovi progetti (con la notevole eccezione del Ppc) l'aggiornamento ebbe luogo col passare dall'epistemologia realista del 1870 a quella neopositivista del 1930. La componente induttivista rimase, da cui il nome di metodi della riscoperta.

Questo aggiornamento dei metodi didattici avvenuto venti anni fa non è tuttavia sufficiente. Abbiamo visto che si mantiene nell'ambito dell'apprendimento conservativo, della scienza normale, della ricerca stabile. L'immagine della scienza alla quale si ispira, quella neopositivista

degli anni '30, è un'immagine della scienza parziale, perché è ricavata dalle sole analisi dei libri di testo e non da quella della letteratura scientifica nel suo complesso. Questa immagine della scienza si è venuta a modificare profondamente negli ultimi 40 anni, soprattutto sotto l'impulso di ricerche di storia della scienza. È utile quindi schematizzare che tipo di epistemologia è quella neopositivista, le sue connessioni con la struttura dei libri di testo, le critiche cui è stata sottoposta in base alle recenti ricerche storiche. Ma soprattutto rispondere alla domanda: l'immagine contemporanea della scienza che contributo può dare ad una didattica della fisica veramente moderna?

#### 4. L'epistemologia neopositivista e le critiche del «relativismo storico»

Un utile schema dell'approccio neopositivista è quello della «rete di sicurezza» di Hempel (fig. 2).



Esso si inquadra nell'ambito di una concezione che è empirista, antimetafisica, che dà molto peso alla logica matematica, che accetta l'esperimento cruciale come fattore di scelta tra due teorie, la separazione netta tra contesto della scoperta (non analizzato) e contesto della giustificazione (oggetto d'indagine) tra linguaggio osservativo e linguaggio teorico, ed infine adotta un concetto di spiegazione che riconduce il problema «Perché avviene il fenomeno?» al problema: «in accordo a quali leggi generali e in verità di quali condizioni antecedenti avviene il fenomeno?». In particolare una teoria fisica viene presentata nello schema allegato come un

sistema interpretato, consistente di uno specifico calcolo (sistema di assiomi) e di un sistema di regole semantiche per la sua interpretazione. Il sistema di assiomi è una rete mantenuta dal basso da aste ancorate al livello osservativo del linguaggio scientifico. Non è necessario che ogni termine teorico abbia un corrispondente osservativo (come richiedeva Bridgman) in analogia al fatto che in una rete di sicurezza non tutti i nodi sono sorretti dalle aste poggiate al suolo. Un altro elemento caratteristico di questo approccio è l'interpretazione della storia della scienza come sviluppo lineare, per successive incorporazioni in teorie più estensive attraverso un principio di corrispondenza. Questo modello è stato definito a scatole cinesi.

Indubbiamente l'epoca neopositivista ha portato notevoli risultati nell'opera di chiarificazione della struttura delle teorie scientifiche, ma negli anni '60 e '70 questa impostazione è stata oggetto di nettissime critiche. Già Popper aveva proposto una soluzione convenzionale e non naturalistica al problema della demarcazione scienza/metafisica adottando come criterio la falsificazione invece della verifica, ma gli attacchi più radicali al neopositivismo, la vecchia visione «ortodossa», sono stati quelli del primo Kuhn, di Feyerabend, di Goodman, di Toulmin. Le critiche hanno messo in discussione gli elementi centrali del neopositivismo: la distinzione linguaggio osservativo - linguaggio teorico, il modello di spiegazione deduttivo alla Hempel, l'immagine delle teorie come reti di sicurezza, le teorie della conferma, il modello storico linearmente cumulativo. La tesi di Duhem-Quine, asserisce l'impossibilità di falsificare una specifica asserzione teorica isolata dal contesto della teoria e l'impossibilità di una netta distinzione analitico-sintetico (cioè tra asserzioni la cui verità o falsità non dipende o dipende dall'evidenza empirica).

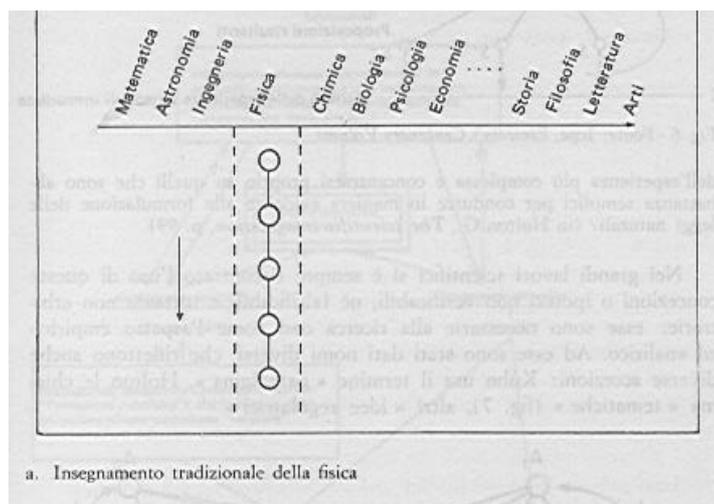
Nell'immagine della rete di protezione sono i resoconti osservativi che sostengono gli assi della rete. Gli assiomi e le regole di corrispondenza possono essere riformulati in modi differenti ammesso che gli assi poggino sul livello osservativo del linguaggio scientifico. Pertanto secondo l'ortodossia neopositivista il valore di verità di un resoconto osservativo è indipendente dal valore di verità delle asserzioni del sistema di assiomi interpretato. Ma secondo Feyerabend e Quine i supporti della teoria sono creati dalla teoria stessa. I resoconti osservativi non sono indipendenti dal contesto teorico in cui sono immersi. Tra gli altri importanti elementi di novità va menzionata la tesi di Feyerabend sull'incommensurabilità tra differenti teorie e quindi sull'impossibilità di uno sviluppo linearmente accumulativo dell'impresa scientifica. Considerazioni di carattere discontinuista sono anche quelle di Hanson: seguendo Wittgenstein egli distingue tra «vedere che» e «vedere come». «Vedere come» è il senso gestaltico del vedere, che è quello importante nella storia della scienza. Hanson suggerì che una rivoluzione concettuale nella scienza è analoga ad uno slittamento gestaltico in cui i fatti rilevanti vengono ad essere visti in un nuovo modo. A livello figurativo è famoso l'esempio «anatra o coniglio?» (fig. 3).

Da questi approcci è scaturito un enorme interesse per la storia della scienza, in particolare

della fisica, che ha portato a contributi di straordinaria importanza. Si è accentuato però per alcuni anni in maniera eccessiva il peso della metafisica rispetto a quello della componente più specificamente scientifica. La metafisica dall'essere completamente esclusa dai neopositivisti ha preso per un certo periodo il sopravvento negli studi di storia e filosofia della scienza. Si è avuto quindi un grande sviluppo della storia delle idee da una parte e della sociologia della scienza e delle istituzioni scientifiche dall'altra. Di fronte all'analisi del duro nocciolo dei problemi interni e duraturi della storia della scienza si è passati all'analisi del mutare delle influenze esterne e così ad un certo tipo di «relativismo storico».

La situazione appare oggi però più bilanciata: i lavori del secondo Kuhn, di Lakatos, di Laudan, di Mary Hesse si pongono in una posizione intermedia tra logicismo e relativismo storico; l'intergioco dei rapporti metafisica/scienza è descritto in maniera maggiormente sofisticata (fig. 4).

È fondamentale dunque che una rinnovata didattica delle scienze, che comprenda tanto l'insegnamento conservativo che innovativo, sia collegata a questa moderna e raffinata epistemologia. Sembra utile presentare una schematizzazione straordinariamente limpida della situazione dovuta ad A. Einstein e commentarla attraverso i lavori di un fisico che ha fatto molto per la storia e didattica della fisica: G. Holton (coordinatore del Ppc) (fig. 5).



## 5. Uno schema einsteniano ed una sua interpretazione didattica

É interessante prendere lo spunto da uno scritto di Einstein recentemente pubblicato: la lettera a M. Salovine del 7 maggio 1952. In essa si individua in un sistema scientifico una struttura a tre livelli (fig. 6).

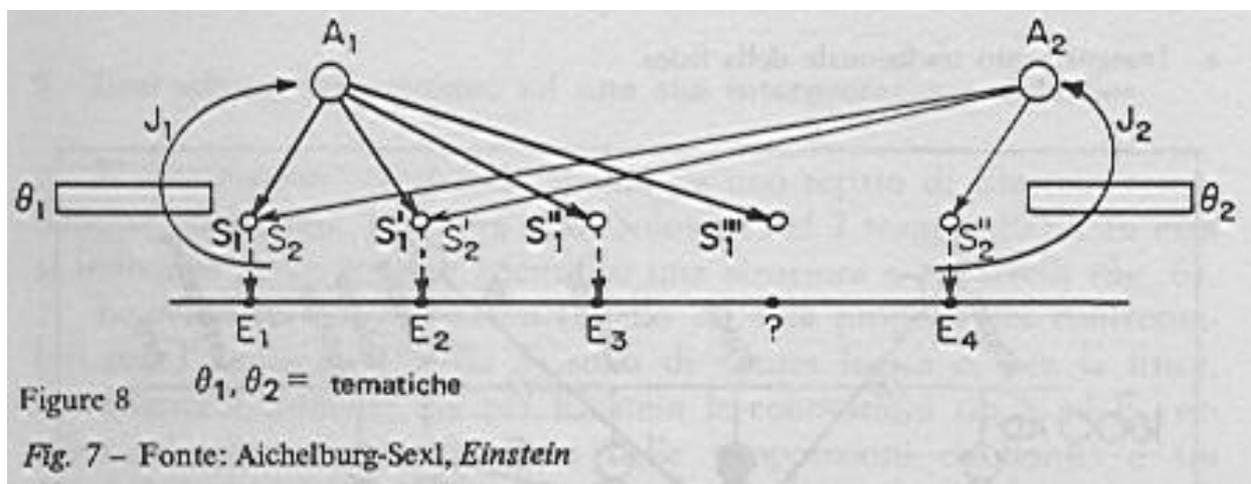


Fig. 6 - Fonte: Icpe, *Einstein's Centenary Volume*

Le relazioni tra gli assiomi (livello A) e le proposizioni confrontabili con l'esperienza (livello S) sono di natura logica e, per la fisica, matematica e formale; ma per Einstein le connessioni tra S ed E (verifica ed eventuale falsificazione delle proposizioni risultanti) e tra E ed A (costruzione degli assiomi in base all'esperienza) non sono di natura logica. Egli rifiuta decisamente la classica concezione ispirata al modello positivista, secondo cui le proposizioni e, indirettamente, anche gli assiomi di base, sono costruite, dimostrate e verificate in base agli esperimenti. Secondo Einstein il processo scientifico avviene in maniera totalmente diversa.

La concezione più semplice che ci si possa immaginare di una scienza naturale è quella del metodo induttivo... Ma un rapido sguardo all'effettivo sviluppo ci insegna che i grandi passi in avanti nella conoscenza scientifica hanno avuto luogo in questa maniera solo raramente. Infatti, se lo scienziato procedesse nel suo lavoro senza un'opinione preconcepita, come potrebbe essere capace di selezionare i fatti rilevanti nell'immensa abbondanza dell'esperienza più comolesta e concentrarsi proprio su quelli che sono abbastanza semplici per condurre in maniera evidente alla formulazione delle leggi naturali? (in Holton G., *The scientific imagination*, p. 99).

Nei grandi lavori scientifici si è sempre riscontrato l'uso di queste concezioni o ipotesi non verificabili nè falsificabili e tuttavia non arbitrarie: esse sono necessarie alla ricerca così come l'aspetto empirico ed analitico. Ad esse sono stati dati nomi diversi, che riflettono anche diverse accezioni: Kuhn usa il termine «paradigma», Holton le chiama «tematiche» (fig. 7), altri «idee regolatrici».



Ciò permette di operare una separazione ovviamente convenzionale, tra gli aspetti dinamici e quelli statici dell'impresa scientifica. seguendo la schematizzazione di G. Holton in un immaginario spazio x, y, z la scienza «pubblica», quella dei manuali, si trova nel piano x, y i cui assi rappresentano le componenti analitico concettuali ed empiriche. L'asse z rappresenta, invece, le «tematiche» ovvero le metafisiche di fondo che guidano lo scienziato nel suo sforzo creativo quando la sua scienza non ha ancora raggiunto una sufficiente intersoggettività e quindi è ancora

«privata».

É evidente la somiglianza tra queste definizioni e quelle kuhniane di scienza straordinaria e scienza normale. Un'articolazione in senso più epistemologico del punto di vista espresso da Holton (prevalentemente orientato verso la storia della scienza e la didattica) si ricava dall'approccio neokantiano di G. Buchdahl. Questi considera componenti interconnesse e solo convenzionalmente separabili dell'impresa scientifica quella sistemica (idee regolative, tipo di spiegazione, cintura protettiva) quella ontologica (metafisica di fondo, nucleo centrale del programma di ricerca) e quella fenomenologica (v. fig. 8).

É a questo tipo di approccio che si può far riferimento considerando di volta in volta le specifiche interconnessioni tra i vari elementi dell'impresa scientifica. In ogni periodo storico uno degli elementi avrà peso maggiore degli altri ma pensiamo che sia interessante considerare il gioco del procedere scientifico il più apertamente possibile. Da una parte infatti non possono essere considerati i «fatti» come indipendenti dalle teorie, dall'altra però il rifiuto dell'«experimentum crucis» non va visto come completa svalutazione dell'elemento empirico delle teorie. Quest'ultimo infatti ne rimane una delle componenti di fondo.

Particolarmente rilevanti le metafisiche di fondo degli scienziati, le loro presupposizioni e gli elementi concettuali alla base delle rispettive teorie. La capacità di interpretare lo stesso esperimento in differenti contesti teorici dà a questa componente un peso particolare e quindi al dibattito sulle metafisiche un rilevante peso anche nei confronti dello stesso procedere scientifico. L'abbandono di una metafisica a favore di un'altra non è tanto la riduzione di una teoria ad un'altra più precisa ed articolata che la contenga come caso limite, ma è piuttosto un generale riordinamento concettuale che permette di vedere le cose in maniera fondamentalmente diversa. Il passaggio dalla teoria corpuscolare a quella ondulatoria è, ad es., uno di questi «shifts gestaltici». Ma ciò non implica un'incommensurabilità completa tra le due teorie. Esiste pur sempre una zona d'intersezione che permette, ad es., un confronto empirico (anche se non cruciale) ed un confronto teorico (ad es. verso i principi regolativi).

La componente architettonica dei principi regolativi rappresenta in un certo senso un elemento di continuità nel procedere delle teorie scientifiche. I principi variazionali, largamente usati in ottica, rappresentano un esempio: essi sono stati usati nell'ambito di metafisiche completamente differenti. Nella loro forma più astratta rappresentano dunque un elemento di intersezione tra le varie teorie, così come gli apparati sperimentali nella direzione opposta (asserzioni di basso contenuto teorico).

Un altro elemento di continuità è l'apparato logico-matematico. Anch'esso spesso sopravvive alla caduta di una particolare metafisica. Ciononostante, ad un maggior livello di approssimazione anche la componente logico matematica non è così «neutrale» rispetto alla metafisica della particolare teoria scientifica, ma questo discorso esula dai nostri limiti.

Il sottolineare l'intreccio di queste componenti in ogni singola teoria e nel passaggio da una teoria ad un'altra permette di superare agevolmente l'idea dello sviluppo linearmente accumulativo per successive approssimazioni. La complessità dello sviluppo storico che ne risulta, infatti, non può essere facilmente linearizzata e se di sviluppo si può ancora parlare esso è relativo alla maggiore articolazione delle teorie successive rispetto alle precedenti, al numero di problemi che riescono a risolvere, alla maggior capacità di astrazione teorica e di precisione sperimentale. Sono teorie più potenti, ma non «migliori» o «più vere». Non c'è comunque linearità verso una meta, né accumulazione progressiva perché molte sono anche le strade che si chiudono oltre quelle che si aprono.

## **6. Una proposta: affiancare al manuale e al laboratorio le memorie originali e il laboratorio storico**

Questo corso pertanto presuppone una visione dell'impresa scientifica più articolata di quella offerta dai manuali, ma non rifiuta il manuale. Le memorie e le ricostruzioni sperimentali si pongono in maniera complementare rispetto al manuale stesso ed al laboratorio, esse sottolineano l'aspetto della scienza straordinaria più di quello della scienza normale.

L'aspetto dinamico della scienza straordinaria da utilizzare nella didattica non può certo essere quello riferentesi alla scienza contemporanea, ma può benissimo essere quello pertinente alla storia della scienza non linearmente accumulativa. Con una presentazione delle memorie storiche inserite nel loro contesto culturale e con una riproposizione degli esperimenti storici anch'essi inseriti nel loro contesto (usando quindi un laboratorio storicizzato) lo studente può entrare nel vivo della ricerca dell'epoca, può capire la dinamica non univoca tra teoria ed esperimento e può rilevare le varie componenti che hanno contribuito a configurare una teoria scientifica così come si è configurata storicamente.

Con una tale presentazione dell'impresa scientifica, in cui al manuale viene mantenuto il suo ruolo tecnico-professionale, il valore culturale dell'insegnamento è enormemente accresciuto e diviene spontaneamente transdisciplinare. È facile infatti a questo punto rilevare i collegamenti intrinseci tra le metafisiche degli scienziati e la filosofia dell'epoca e quindi per noi tra storia della scienza e storia della filosofia, tra i loro apparati sperimentali e le tecnologie dell'epoca, e così tra storia della scienza e storia della tecnica, e così via per la politica, la religione, l'arte, ecc.

In definitiva questo corso non vuole essere più che una introduzione ad una visione più completa dell'impresa scientifica, che colga i successivi processi di riduzione e realizzazione in un complesso gioco i cui risultati faticosamente e solo temporaneamente raggiunti non sono affatto scissi da un'estrema bellezza creativa, indice di un profondo rapporto con quella natura stessa che

viene concettualizzata ed analizzata.

## **Bibliografia**

Aichelburg P.C., Sexl R.U. (eds), Albert Einstein. His Influence on Physics Philosophy and Politics, Wieweg, 1979.

Aa.Vv., Imparare il futuro, Mondadori, 1979.

Aa.Vv., Critica e crescita della conoscenza, Feltrinelli, 1976.

Aa.Vv., Quelle education scientifique pour quelle société?, Puf, 1978.

Brown H., Perception, Theory and Commitment, Chicago U.P., 1977.

Buchdahl G., Metaphysics and Philosophy of Science, Basil Blackwell, 1969.

Easlea B., Liberation and the Aims of Science, Sussex U.P.

Elkana Y., Science, Philosophy of Science and Science Teaching; Educ. Phil. and Theory, vol. 2, Pergamon Press, 1970.

Holton G., Thematic Origins of Scientific Thought, Harvard U.P., 1973.

Holton G., The Scientific Imagination, Cambridge U.P.

Holton G., Brush S., Introduction to Concepts and Theories in Physical Science, 2nd ed., Addison Westley, 1973.

Icpe, Einstein's Centenary Volume, Heinemann, 1979.

Kuhn T., La struttura delle rivoluzioni scientifiche, Einaudi 1969.

Kuhn T., The Structure of Scientific Revolutions, 2nd ed., Chicago U.P., 1970.

Kuhn T. The Essential Tension, Chicago U.P., 1977.

Losee J. A Historical Introduction to the Philosophy of Science, Oxford U.P., 2end ed ., 1980 .

Nagel E., La struttura della scienza, Feltrinelli, 1968.

Ravetz J.R., Scientific Knowledge and Its Social Problems, Penguin U.B., 1971

Russel C. (ed.), Science and Religious Belief, Open U.P., 1973.

Schwab J., L'insegnamento della scienza come ricerca, Armando, 1976.

Wechsler J. (ed.), On Aesthetics in .Science, Mit. Press, 1978.