

Fondamenti epistemologici, psicopedagogici e didattici delle strategie di insegnamento
Proposte

di Antonio Testoni, DD-SCI

1. **Premessa**
2. **Le implicazioni pedagogiche del modello della scienza dei costruttivisti**
3. **Sistematicità della scienza e significato dei concetti**
4. **Il dogmatismo dell'insegnamento scientifico**
5. **Il problema delle due culture**
6. **Mondo macroscopico e mondo microscopico**
7. **L'insegnamento scientifico nella scuola di base**
8. **Il ruolo degli esperimenti**
9. **La fondamentale importanza della scelta dei contenuti**
10. **La discussione collettiva**
11. **Le rappresentazioni spontanee degli studenti**
12. **Una proposta metodologica per la scuola di base**
13. **Bibliografia**

*Questa proposta fa capo ad un progetto più generale che interessa l'insegnamento delle scienze, e che coinvolge diversi insegnanti di scuola elementare, media e superiore, coordinati dal prof. Carlo Fiorentini del Gruppo di Ricerca e Sperimentazione Didattica di Educazione Scientifica del CIDI di Firenze, di cui il sottoscritto fa parte. Per cui, questo lavoro, **che riguarda i fondamenti epistemologici, psicopedagogici e didattici delle strategie d'insegnamento proposte, riprende quanto è stato prodotto e pubblicato dal Gruppo di Ricerca di cui sopra, ed in particolare dal Fiorentini.***

1. Premessa

L'obiettivo di questo lavoro è quello di proporre una serie di interventi didattici su alcuni contenuti ritenuti essenziali, elaborati a partire da un insieme di riflessioni epistemologiche e psicologiche: le prime, relative alla natura del sapere scientifico, al suo statuto, ai suoi rapporti con la realtà; le seconde, relative ai complessi rapporti tra sviluppo ed apprendimento ed al ruolo del linguaggio nel promuovere quest'ultimo.

L'educazione delle scienze mira a sviluppare nei soggetti che apprendono modelli interpretativi della realtà più efficaci di quelli che vengono costruiti nell'ambito del sapere comune. Ogni soggetto che apprende dispone, prima di essere sottoposto all'insegnamento, di schemi mentali in base ai quali struttura i propri ragionamenti, prende decisioni, avanza previsioni e decodifica le informazioni che gli vengono fornite. Ci sembra fondamentale dunque, che *l'educazione alle scienze abbia come obiettivo primario quello di incidere su questi schemi concettuali di senso comune*, aiutando gli allievi ad avvicinarsi a quelli di tipo scientifico.

D'altro canto apprendere le scienze non significa solo appropriarsi di alcune conoscenze scientifiche. Significa anche acquisire *modi di pensare* e modi di operare propri degli scienziati ed avere un'idea dello statuto delle conoscenze scientifiche, ossia del loro *rapporto con la realtà e la verità*. La scienza è una interpretazione del mondo mediante gli strumenti interpretativi disponibili in una certa epoca ed in un certo contesto culturale. Il sapere scientifico è *storicamente determinato*, né vero, né falso, ma semplicemente più o meno in grado di interpretare la realtà. Gli scienziati elaborano congetture mediante le quali cercano di rendere conto di come va il mondo, ma *nessuno sa se tali interpretazioni sono verità assolute*.

Queste considerazioni epistemologiche hanno una valenza significativa nell'insegnamento, infatti è indispensabile, per contribuire efficacemente allo sviluppo cognitivo del ragazzo, non ispirarsi ad un'impostazione pedagogica che si basa su un'idea falsa della scienza, del metodo scientifico, del rapporto che intercorre tra i fenomeni, le ipotesi e le teorie. Un insegnamento scientifico che non riesca costantemente a far cogliere, nei concetti scientifici fondamentali *la dimensione dell'ipotesicità, il fatto cioè che i concetti rappresentano una soluzione di determinati problemi sperimentali e teorici, non permette la loro effettiva comprensione e veicola un'immagine falsa della scienza*. *La problematicità ed il significato dei concetti scientifici portanti possono essere compresi soltanto se si ricostruisce il contesto nel quale questi concetti sono nati* (i quadri teorici che hanno reso possibile l'enucleazione del problema), *antepoendo conseguentemente nell'insegnamento la qualità alla quantità*.

Le ricerche effettuate nel corso degli ultimi decenni, sia da psicologi che da esperti di didattica delle scienze sulle concezioni di tipo scientifico degli studenti, sono quindi un punto di riferimento necessario per chiunque si occupa di insegnamento delle discipline scientifiche. Queste ricerche - condotte a livello internazionale - hanno evidenziato che i risultati raggiunti nell'educazione delle scienze sono ben lungi dall'essere soddisfacenti. Di grande rilevanza, proprio in riferimento alla situazione dell'insegnamento scientifico in Italia, sono i risultati delle indagini presentate nel testo *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti* a cura di N.Grimellini Tomasini e G.Segrè. Tali risultati mettono in evidenza che, alla fine della scuola secondaria, *la maggior parte degli studenti fanno ancora ricorso a concezioni, ossia a modi di ragionare, basate sul senso comune*: l'educazione alle scienze non è dunque riuscita, nella maggior parte dei soggetti a scalfire gli schemi concettuali del sapere quotidiano e non ha prodotto strumenti scientificamente adeguati alla lettura del reale.

Le spiegazioni che generalmente vengono fornite dei risultati di queste ricerche sono le seguenti: *quando le conoscenze formali sono presentate in modo prematuro*, come

generalmente avviene, esse *non sono in grado di interagire con le conoscenze spontanee degli studenti* e non sono quindi capaci di modificarle né di contribuire all'evoluzione delle strutture cognitive. *Conoscenze scientifiche e conoscenze spontanee si strutturano in due mondi totalmente separati*: le prime finiscono così per essere necessarie soltanto durante le ore di scienze per andare bene a scuola, le seconde continuano invece ad essere gli unici strumenti utilizzati per interpretare la realtà. Conseguentemente sono state effettuate analisi epistemologiche molto interessanti di specifici concetti, o sono state prospettate significative proposte didattiche in riferimento a specifiche problematiche, "ma riteniamo che delle precedenti considerazioni epistemologiche non sia stato evidenziato il ruolo pedagogico-didattico fondante per un rinnovamento significativo dell'insegnamento scientifico. Noi pensiamo che uno degli obiettivi principali dell'insegnamento scientifico sia quello, di carattere trasversale alle specifiche discipline scientifiche, di *costruire un'immagine la più adeguata possibile della scienza*. E un aspetto importante di questa immagine aggiornata è indubbiamente costituita dal superamento della concezione dogmatica della conoscenza scientifica..." (C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curriculum di scienze*, La Chimica nella Scuola, 1999).

Quindi se il problema fondamentale dell'insegnamento scientifico è l'accesso ai significati dei concetti scientifici disciplinari, riteniamo che questo sia possibile conferendo ad essi un'organizzazione adatta che non prescindere da considerazioni storico-epistemologiche.

Tutto ciò non significa sostituire l'insegnamento tradizionale delle scienze con la storia delle scienze, ma l'utilizzo di momenti e aspetti della storia delle scienze e dell'epistemologia particolarmente adatti per comprendere i concetti scientifici fondamentali. "L'approccio storico alle scienze, generalizzato ad oltranza, condurrebbe a vari inconvenienti e a difficoltà insormontabili. Bisogna realisticamente riconoscere che in molti casi il passato è veramente passato, che certi itinerari tortuosi non sono più necessari, che è *inutile battere strade dimostrate infegonde*. Tuttavia dobbiamo ritornare alla storia abbastanza spesso, quanto occorre per ricollocare problemi, ipotesi e soluzioni nella giusta cornice, in quanto non si può fare a meno di presentare un *concetto scientifico come un punto di arrivo e di partenza.*" (M. Laeng, *Processi Cognitivi*, Didattica delle Scienze)

2. Le implicazioni pedagogiche del modello della scienza dei costruttivisti

Cerchiamo a questo punto di connettere i molteplici piani di analisi che abbiamo individuato con l'obiettivo di arrivare a prospettare un'ipotesi pedagogica sulla didattica delle scienze. Riprendiamo innanzitutto alcune considerazioni epistemologiche per esplicitarne compiutamente le implicazioni pedagogiche.

In polemica con l'induttivismo e lo sperimentalismo ingenuo condividiamo la concezione costruttivista della scienza che si rifà nella sostanza al modello popperiano: essa afferma che le conoscenze scientifiche non derivano generalmente da una osservazione sistematica della realtà, ma che esse sono il frutto di ipotesi ardite, di congetture geniali che sono spesso risultate addirittura in contraddizione con i dati percettivi, con gli aspetti fenomenici dell'esperienza quotidiana. La scienza, dice Popper, rappresenta conseguentemente il tentativo di spiegare il noto per mezzo dell'ignoto.

Tutta la scienza moderna costituisce in generale la conferma di questa concezione. La scienza naturale, per esempio, si è sostanzialmente sviluppata nel corso degli ultimi quattro secoli in questo modo, la meccanica nel Seicento, la chimica alla fine del Settecento e successivamente le altre discipline. Inoltre a proposito di tutte le discipline scientifiche si è parlato di passaggio da una fase prescientifica ad una fase scientifica; per la chimica si sono addirittura utilizzati due termini diversi per designarle, alchimia ed appunto chimica.

Ma fino al Seicento per la meccanica o fino al Settecento per la chimica erano stati forse assenti studi sistematici, ricerche, sperimentazioni ?

Evidentemente no. E' stata infatti un'esigenza antica quella di spiegare i fenomeni naturali e fra questi, da una parte, il movimento dei corpi sulla terra, il movimento del sole, della luna e dei pianeti, e dall'altra, le trasformazioni chimiche delle sostanze quali il fenomeno della combustione, della riduzione dei minerali in metalli, ecc.

Particolarmente rilevanti sono state le teorie dei filosofi greci che hanno conferito sistematicità a miti e concezioni più antiche. La coerenza, la capacità esplicativa, la razionalità di queste teorie (quali l'aristotelismo) sono state talmente significative che esse sono rimaste il paradigma dominante per circa 2000 anni. La fisica di Aristotele aveva, per esempio, nettamente separato il mondo sub lunare dal mondo celeste, il mondo delle trasformazioni, della nascita e della morte il primo, il mondo della perfezione eterna il secondo. Il movimento nei due mondi era concepito come completamente diverso: mentre il movimento dei corpi celesti era eterno e perfetto, era cioè costituito da movimenti circolari, il movimento dei corpi terrestri era invece contingente, e necessitava quindi per esistere di una causa, di una forza. In particolare il movimento dei corpi leggeri (di salita verso l'alto) e dei corpi pesanti (di caduta verso il basso) era causato dal fatto che ogni corpo doveva ritornare nel suo luogo naturale.

Tutta la fisica aristotelica rappresentava una geniale sistematizzazione delle conoscenze umane accumulate nel corso dei millenni grazie ad una attenta osservazione dei fenomeni naturali. La fisica galileiano-newtoniana nasceva invece come contraddittoria con l'esperienza quotidiana e con l'osservazione sistematica della realtà; le sue basi teoriche erano nettamente antintuitive. Una delle concezioni centrali della nuova fisica, proprio l'ipotesi che permetteva di unificare i movimenti terrestri e i movimenti celesti, la forza di attrazione gravitazionale tra le masse, fu considerata nei primi decenni del Settecento da molti grandi scienziati e filosofi antimetafisici come il ritorno ad una visione della realtà di tipo medievale, in quanto in essa si parlava di affinità, di attrazioni.

Un altro concetto fondamentale della nuova fisica, il principio di inerzia, asseriva che un corpo in movimento avrebbe continuato a muoversi all'infinito di movimento rettilineo uniforme, senza l'intervento di nessuna forza: con questo principio il movimento assumeva finalmente lo stesso statuto ontologico della quiete. Ma vi è forse principio meno intuitivo di questo ?

Nella vita quotidiana vediamo infatti costantemente che il movimento c'è solo se qualcuno o un motore spingono, se una qualche forza agisce.

Considerazioni dello stesso tipo potrebbero essere effettuate per la chimica, per i suoi principi basilari, quali quello di gas, di pressione atmosferica, di elemento e composto, di ossigeno, ecc., principi che furono scoperti, durante il Seicento ed il Settecento, andando molto oltre l'apparenza percettiva.

Una prima riflessione pedagogica che riteniamo si debba ricavare da queste considerazioni è che **la maggior parte dei concetti scientifici sono molto oltre o in contraddizione con l'esperienza di senso comune**, e non soltanto gli aspetti più formalizzati o matematizzati della scienza, quali ad esempio le teorie fisiche, chimiche e biologiche sviluppatesi in questo secolo. Vi è cioè una **discontinuità totale** tra esperienza quotidiana, senso comune, da una parte, e la maggior parte dei concetti fondamentali della scienza, dall'altra.

Immaginiamo che a questo punto possa sorgere immediatamente la seguente obiezione: nelle considerazioni precedenti vi è un salto logico ! Come si fa infatti a trasferire direttamente all'ontogenesi riflessioni ricavate dalla filogenesi ?

Le nostre affermazioni precedenti si basano non soltanto su considerazioni storico-epistemologiche ma anche sulle riflessioni psicologiche che abbiamo sviluppato nei capitoli precedenti; riteniamo infatti che in riferimento al nodo pedagogico fondamentale dell'esperienza quotidiana vi sia effettivamente un parallelismo tra filogenesi ed ontogenesi; e pensiamo che questa ipotesi abbia ricevuto negli ultimi decenni ulteriori conferme.

Fra le molteplici ricerche prendiamo come esempio quelle, riportate da Bozzi, di Benny Shanon, pubblicata nel 1976 e di Audrey B. Champagne e di altri tre esperti in didattica della fisica, del 1980. La prima ricerca aveva tra i vari quesiti il seguente: se una palla di 4 Kg arriva a terra in z secondi, quanto tempo impiega una palla di 2 Kg ?

Gli studenti potevano fornire le seguenti risposte: "1) $2z$ secondi; 2) z secondi; 3) più di z ma meno di $2z$ secondi". Più del 60 % degli studenti esaminati della Stanford University, non iscritti ad un corso di fisica, fornirono la prima risposta che è quella aristotelica.

Anche la seconda ricerca evidenziò risposte simili; in particolare risultò che circa i 4/5 degli studenti pensavano che gli oggetti più pesanti cadono più velocemente.

Dall'analisi dettagliata di queste ricerche Bozzi ricava le seguenti conclusioni: "Da questa rassegna di lavori sulla fisica ingenua, scelti tra i moltissimi che sono usciti sulle riviste di psicologia e di didattica della fisica dalla metà degli anni Settanta a oggi, emerge chiaro che una

fisica ingenua c'è, e che essa è imparentata (sia pure per schegge e frammenti) con i grandi sistemi di Aristotele e dei suoi commentatori medievali anche assai tardi. E' altrettanto chiaro che tra queste concezioni ingenuie, o paleoscientifiche, e il nostro modo di concepire il mondo esterno degli oggetti e degli eventi dev'esserci qualche relazione. La persistenza di tali modi di pensare, anche all'interno di una cultura così profondamente segnata dallo studio delle scienze a scuola e dalla diffusione amplissima della divulgazione scientifica, non può essere spiegata in termini di retaggio storico-culturale; tanto più che in contrasto con il crescere dell'informazione scientifica presso la gente c'è un netto diminuire della familiarità con i sistemi filosofici del passato e con letture che potrebbero fungere da veicoli di aristotelismo o di filosofia scolastica. Solo l'ipotesi che quei sistemi di conoscenze abbiano la loro radice biologica nel funzionamento dei nostri processi cognitivi - anzi: negli invarianti storici di tali processi - può in qualche modo giustificare la loro vitalità attraverso quattro secoli di aggressioni su tutti i piani lungo i quali scorre la critica scientifica moderna"(1).

Quali conclusioni è possibile trarne sul piano pedagogico? Innanzitutto, come indicato dai costruttivisti, che sia un'illusione pensare che i concetti fondamentali delle discipline possano essere riscoperti dagli studenti, e che un insegnamento di tipo sperimentale, come ipotizzato dagli attivisti, possa permettere di rispondere in modo adeguato a questa esigenza. Condividiamo quindi le critiche rivolte allo sperimentalismo dai costruttivisti, le critiche, cioè, a chi attribuisce all'attività sperimentale l'obiettivo di riscoprire e comprendere i concetti fondamentali della scienza.

Ma la conclusione pedagogica più rilevante è un'altra: è, secondo noi, dal punto di vista psicologico insostenibile l'insegnamento della maggior parte dei concetti scientifici prima che si sia realizzato un adeguato consolidamento delle strutture cognitive dello studente, finché, cioè, lo studente non abbia effettuato un lungo percorso educativo che l'abbia portato ad acquisire consapevolezza, riflessione e razionalità intorno a problematiche e fenomenologie connesse, o simili sul piano cognitivo, all'esperienza quotidiana. Non condividiamo quindi l'ipotesi prospettata da molti costruttivisti che sia possibile insegnare molti concetti scientifici fondamentali anche a studenti della scuola elementare e della scuola media a condizione di considerare come variabile centrale dell'apprendimento le conoscenze che lo studente ha già.

Ed in prima approssimazione come si fa a non essere d'accordo con quest'ultima affermazione? In realtà questo è un principio ineccepibile soltanto astrattamente, che tuttavia nella pratica educativa ha permesso di convalidare ipotesi pedagogiche opposte, tra le quali anche il peggiore nozionismo.

Noi viceversa riteniamo che vi siano dei limiti precisi nell'apprendimento dovuti all'età - saremmo quasi portati ad affermare che non vi dovrebbe essere insegnamento scientifico nella scuola di base se la scienza fosse completamente riducibile al procedimento ipotetico-deduttivo - e siamo arrivati a questa conclusione sulla base delle riflessioni che abbiamo sviluppato nei capitoli precedenti sia di tipo psicologico che epistemologico. In particolare in riferimento a queste ultime, l'adesione di molti costruttivisti ad una concezione della scienza di tipo antinduttivista appare essenzialmente strumentale ad una battaglia culturale nei confronti dello sperimentalismo e dell'attivismo; ci sembra infatti che non abbiano colto le implicazioni pedagogiche più rilevanti della concezione della scienza maggiormente condivisa dagli epistemologi contemporanei.

3. Sistematicità della scienza e significato dei concetti

Ci sembrano molto importanti le considerazioni che Pera sviluppa nei confronti dell'antinduttivismo radicale di Popper, posizione questa che ha condotto Popper alla negazione di un qualsiasi ruolo all'induzione. E' di grande rilevanza epistemologica la distinzione che Pera effettua tra teorie esistenti prima dell'inizio di una ricerca ed ipotesi specifiche come tentativi di soluzione di un problema: porta, infatti, ad attribuire un ruolo anche all'induzione a condizione di non intenderla come attività di ricerca che parta da una "tabula rasa". Popper ha ragione quando afferma che si parte sempre dalle conoscenze già accumulate, che un qualsiasi problema non nasce nel vuoto, ma ha torto quando nega che vi possa essere ricerca anche senza ipotesi specifiche, che non vi possa essere induzione, pur all'interno delle teorie consolidate.

Le implicazioni pedagogiche che si possono ricavare da questa distinzione effettuata da Pera ci sembrano essenzialmente due. Iniziamo ad affrontare la prima.

Lo sviluppo scientifico si realizza essenzialmente per mezzo del procedimento ipotetico-deduttivo, ma anche l'induzione ha un suo ruolo. In ambedue i casi, tuttavia, le nuove ipotesi, le nuove conoscenze, i nuovi concetti e teorie vengono inventati, scoperti o elaborati sempre all'interno o in contraddizione con le teorie precedenti. Qui nasce una dicotomia tra piano sintattico e piano semantico che ha rilevanti implicazioni pedagogiche. Sul piano sintattico infatti i nuovi concetti possono trovare una giustificazione, una loro definizione, la loro esistenza anche soltanto all'interno della nuova teoria. Sul piano semantico, invece, - che è quello pedagogicamente più rilevante, a meno di ritenere che la finalità dell'educazione scientifica sia soltanto quella dell'acquisizione di automatismi e di algoritmi - un'ipotesi o un concetto hanno senso soltanto a partire dai quadri teorici che hanno reso possibile l'enucleazione del problema. Ciò porta ad una visione dei concetti e delle teorie scientifiche come di un insieme gerarchico o comunque come una struttura articolata e complessa, come un sistema.

I concetti scientifici sono tra loro stratificati; anche i concetti apparentemente più elementari non sono sullo stesso livello. E' quindi sul piano pedagogico fondamentale l'individuazione di gerarchie e di connessioni tra concetti: per avere accesso ai significati e non alle mere formulazioni verbali è fondamentale la ricostruzione della trama, delle relazioni tra i concetti. Tutto ciò non è stato affrontato dagli sperimentalisti, ma, a nostro parere, in modo serio neppure da molti esperti di didattica che si ispirano al costruttivismo, per non parlare poi della maggior parte dei sussidiari della scuola elementare che giustappongono le varie unità didattiche senza nessuna attenzione alla stratificazione teorica dei concetti e quindi allo loro diversa complessità.

Il nostro richiamo alla sistematicità dei concetti potrebbe suscitare la seguente considerazione: che grande scoperta! E sufficiente sfogliare un qualsiasi manuale scientifico per rendersi conto che ogni disciplina scientifica è una struttura complessa, articolata e gerarchica. E' inoltre facile constatare che ogni concetto ha un senso non di per sé, ma solo all'interno della struttura sistematica della disciplina.

Queste affermazioni sono ineccepibili, ma non hanno nulla a che vedere con l'esigenza di sistematicità da noi richiamata in riferimento all'insegnamento scientifico. Pensiamo infatti che i manuali scientifici della scuola secondaria superiore (quelli della scuola media non sono altro che una brutta copia di questi ottenuta per riduzione) possano essere o non essere, a seconda dei casi, delle buone piccole enciclopedie delle conoscenze scientifiche oggi accreditate, ma che essi siano totalmente inadeguati sul piano pedagogico, in riferimento all'accesso ai significati, in quanto la loro sistematicità è soltanto di tipo sintattico, poiché, cioè, il sistema costituisce il punto di partenza del processo educativo.

Prendiamo come esempio un manuale di chimica: in conseguenza del movimento di riforma dell'insegnamento scientifico che si sviluppò negli USA a partire dal libro di Bruner *Dopo Dewey, il processo di apprendimento nelle due culture*, anche in Italia negli ultimi decenni i manuali di chimica hanno subito delle trasformazioni radicali: mentre prima erano in gran parte un'elencazione nozionistica delle caratteristiche degli elementi e delle sostanze sulla base dell'organizzazione sistematica dei gruppi, oggi essi sono invece meno enciclopedici in riferimento alle nozioni specifiche delle principali sostanze, in quanto si prefiggono lo scopo di spiegare i principi teorici più importanti, i concetti fondamentali della disciplina.

La loro organizzazione sistematica si basa essenzialmente su concetti, teorie, modelli di tipo microscopico che sono stati elaborati durante i primi cinquant'anni di questo secolo. Tuttavia la scienza chimica nell'arco circa di un secolo e mezzo aveva già raggiunto alla fine dell'Ottocento un grandioso sviluppo: grazie ai concetti basilari di elemento e sostanza, al principio di conservazione del peso, alle leggi di Proust e di Avogadro, ecc. era stato possibile durante l'Ottocento costruire l'edificio della chimica atomistica. Esso aveva permesso il passaggio dall'analisi alla sintesi: sistematicamente, razionalmente diventò possibile creare innumerevoli nuove sostanze sulla base di modelli strutturali delle molecole, benché non si conoscesse nulla della struttura atomica. Quando finalmente queste conoscenze furono acquisite nei primi decenni di questo secolo si concluse in un certo senso un ciclo storico: finalmente diventava possibile dare una spiegazione della maggior parte dei fenomeni chimici, delle leggi, delle teorie, dei modelli elaborati precedentemente. Sulla base di alcuni principi di carattere microscopico diventava possibile conferire alla chimica un'organizzazione di tipo deduttivo; finalmente anche la

chimica, alla luce dei canoni indicati dal modello epistemologico riduzionista, allora totalmente imperante, poteva assurgere al rango di vera scienza.

Ora se probabilmente è vero che sia funzionale per gli specialisti un'organizzazione manualistica che si basi sulla struttura della materia, è invece completamente da dimostrare che essa lo sia per uno studente della scuola secondaria. Anzi noi riteniamo che questa operazione sia totalmente assurda sia dal punto di vista epistemologico che psicopedagogico. Riteniamo infatti che il significato di un concetto o di una teoria, sia nella filogenesi che nell'ontogenesi, dipenda essenzialmente dal contesto teorico e sperimentale nel quale si è sviluppato il problema che ha poi portato alla nuova acquisizione concettuale.

Qui occorre fare subito una precisazione, onde evitare possibili fraintendimenti: la soluzione non sta evidentemente nel sostituire la chimica con la storia della chimica, - ed in generale le altre discipline scientifiche con la loro storia - nel sostituire, cioè, un'impostazione specialistica con un altro specialismo. La soluzione risiede invece: 1) nell'individuare i concetti più importanti della chimica sia in relazione alla sua organizzazione specialistica attuale che alle strutture cognitive dello studente ed alle sue conoscenze di senso comune; 2) nel conferire a questi concetti un'organizzazione conforme alle considerazioni sviluppate in questo paragrafo, utilizzando come risorsa imprescindibile anche la riflessione storico-epistemologica.

Per chiarire ulteriormente la nostra proposta, può essere utile un esempio. Il principio di conservazione del peso (oggi si dice della massa) è evidentemente un principio fondamentale della chimica. Esso asserisce che durante le trasformazioni chimiche il peso totale non cambia, che, cioè, la somma del peso dei reagenti è uguale alla somma del peso dei prodotti di reazione. Apparentemente esso è un principio banale, autoevidente; noi invece riteniamo che dato in modo assiomatico, aproblematico, definitorio, come fanno generalmente i manuali, esso sia senza significato.

Questo principio si trova addirittura ridotto a pura banalità in alcuni sussidiari della scuola elementare. Non vi è qui evidentemente nessuna conoscenza non solo di tipo epistemologico ma anche di carattere psicologico; tutte le ricerche di Piaget sulla conservazione sembrerebbero non essere mai state effettuate. Questo principio ed i principi di conservazione in relazione a semplici trasformazioni di forma sembrerebbero psicologicamente allo stesso livello. Noi pensiamo invece che esso sia un principio tutt'altro che ovvio e che la sua comprensione presupponga una lunga attività riflessiva intorno a fenomenologie di tipo chimico-fisico. Riteniamo quindi che essa possa avvenire soltanto nella scuola secondaria, dopo che nella scuola di base siano stati costruiti i principi di conservazione piagetiani.

Tuttavia immaginiamo che anche esperti di didattica delle scienze, dissentendo dalle nostre considerazioni, continueranno a ribadire che il principio di conservazione della massa (sicuramente lo chiameranno in questo modo perché è questa la formulazione oggi condivisa) è banale ed intuitivo. Noi pensiamo che in questa eventualità si continui a confondere comprensione con acquisizione cieca di nozioni.

Per lo studente è ovvio che il peso si conservi, perché le cose dovrebbero stare diversamente? Di per sé, al di fuori del contesto problematico, esso è un principio stupido. Vi è comprensione effettiva del principio quando si riflette sulle apparenze ingannevoli dell'esperienza quotidiana e si capisce che le cose avrebbero potuto essere diversamente.

Per quanto riguarda il principio di conservazione del peso, anche le conoscenze matematiche dello studente agiscono sicuramente a renderlo una conoscenza insignificante; è una conoscenza matematica indiscutibile infatti che $2 + 2 = 4$.

Ma una cosa è la matematica ed un'altra cosa sono la realtà e le scienze sperimentali. Soltanto, come dice Popper, "nella misura in cui le condizioni fisiche si conformano all'operazione di addizione puramente logica o aritmetica, ovviamente, l'aritmetica resta applicabile"(2). Gli esempi che fa Popper dei conigli e delle gocce di acqua potrebbero sembrare poco significativi per la realtà di cui si occupano la chimica e la fisica; ma è sufficiente prendere in considerazione miscele di liquidi per potere constatare che in generale quando si mescolano liquidi diversi, il volume totale non si conserva: per esempio, da un litro di acqua ed un litro di alcol non si ottengono 2 litri di soluzione. Se invece l'attenzione è sulla variabile peso, è facile anche in questo caso constatare che il peso si conserva.

E nelle trasformazioni chimiche che cosa succede ? Che il volume molte volte cambia, e può cambiare in modo consistente, quasi magico, come quando da 2 litri di idrogeno ed un litro di ossigeno si ottiene qualche millesimo di litro di acqua.

E il peso come si comporta? Apparentemente, sulla base dell'esperienza quotidiana, vi sono delle trasformazioni in cui il peso cambia, in certi casi aumenta, in altri diminuisce. Per millenni, fino alla seconda metà del Settecento, l'umanità ha pensato che nelle trasformazioni chimiche il peso generalmente non si conservasse, e ciò era ritenuto ovvio perché innanzitutto era conforme all'esperienza.- E le ricerche sulle rappresentazioni mentali degli studenti confermano che anche oggi le cose stanno in questi termini - Ed inoltre perché la non conservazione del peso dovrebbe costituire un problema, se si pensa che le reazioni sono quelle trasformazioni della materia in cui da alcune sostanze se ne ottengono delle nuove che non hanno nessuna proprietà in comune con quelle iniziali ?

La chimica diventò scienza quando in un contesto problematico specifico Lavoisier fu in grado di scoprire alcuni principi fondamentali, tra i quali quello che afferma che nelle trasformazioni chimiche tutto cambia tranne il peso totale, quando, cioè, fu in grado di stabilire che la verità matematica " $2 + 2 = 4$ " è vera anche per le trasformazioni chimiche in riferimento al peso. Pochi anni dopo, Lavoisier fornì una seconda formulazione del principio, che ne costituiva anche una prima spiegazione: nelle trasformazioni chimiche si conserva il peso di ciascun elemento.

Per ciò che riguarda l'insegnamento della biologia, condividiamo in generale le riflessioni che Ausubel ha effettuato in relazione alle modifiche intervenute nell'insegnamento della biologia a partire dal movimento di riforma promosso dal libro di Bruner di cui abbiamo già parlato in riferimento alla chimica. La sua analisi si concentra in particolare sul più significativo progetto attivato, il BSCS, di cui vennero approntate più versioni. Le critiche maggiori sono rivolte alla versione blu, che è stata l'unica tradotta in italiano. Ciò è evidentemente emblematico dell'arretratezza epistemologica e psicologica dell'insegnamento scientifico in Italia.

Vediamo alcune considerazioni di Ausubel: "La versione blu, invece, presenta un materiale di biologia di difficoltà e di sofisticazione a livello universitario a studenti che non hanno le basi necessarie in chimica, fisica e biologia elementare, per poterle apprendere in modo significativo (...) I particolari estremamente sofisticati non solo sono inutili e non appropriati per un corso introduttivo, ma impacciano anche l'apprendimento e ingenerano delle valenze negative verso la materia". La versione verde ha un'impostazione epistemologica molto più adeguata della gialla e della blu: essa fa infatti comprendere che la conoscenza biologica, che non viene presentata come una verità assoluta, "cambia con la scoperta di nuovi fatti e nuove tecniche e quando vengono avanzate nuove teorie. Infine la versione verde suggerisce più esplicitamente che i concetti e le classificazioni della biologia sono dei tentativi che l'uomo fa per interpretare, organizzare e semplificare quello che comprendiamo dei fenomeni naturali; e che tali concetti e categorie né coincidono con i dati da cui sono ricavate, né rappresentano l'unico modo di concettualizzare e categorizzare quei dati". Far comprendere la distinzione tra fatti e concezioni teoriche è di grande rilevanza sul piano didattico: nell'insegnamento scientifico l'accesso al significato, e non soltanto la mera memorizzazione, è infatti strettamente connesso alla comprensione della distinzione e delle relazioni che esistono tra fatti e teorie. "Uno dei caratteri distintivi del movimento per la riforma degli studi è la correzione eccessiva del livello inutilmente basso di sofisticazione con cui si insegnavano, e in gran parte si insegnano ancora, molte materie nelle scuole superiori. In scienze tale tendenza è sottolineata da un virtuale rifiuto dell'approccio descrittivo, naturalistico e applicato e da una enfaticizzazione degli aspetti analitici, sperimentali e quantitativi della scienza. In un corso introduttivo di biologia per le scuole superiori, per esempio, il nuovo contenuto consiste in gran parte di argomenti biochimici altamente sofisticati, che presuppongono un'avanzata conoscenza della chimica, da parte di studenti che non hanno alcuna preparazione nella materia". Ausubel ricorda che queste proposte didattiche si basano sulla concezione pedagogica di Bruner, a cui si è fatto più volte riferimento, seconda la quale sarebbe possibile insegnare qualsiasi concetto a qualsiasi età. Ausubel continua, invece, a ritenere, in opposizione a questo "movimento riformatore", che l'insegnamento della biologia nella scuola secondaria superiore debba mantenere un approccio naturalistico e descrittivo. "Ciò non implica un'enfasi dell'informazione descrittiva o di fatti non connessi tra loro e non collegati alla teoria, bensì su concetti esplicativi formulati in un linguaggio relativamente semplice e descrittivo, e non nella terminologia più tecnica, quantitativa, e sofisticata della

biochimica e della biofisica. Per dirla in breve, la biologia per le scuole superiori dovrebbe concentrarsi su quei concetti biologici generali che costituiscono una parte dell'istruzione generale (fisiologia, evoluzione, sviluppo, eredità, uniformità e diversità di vita, ecologia, posto dell'uomo nella natura), piuttosto che sull'analisi particolareggiata e tecnica delle basi fisiche e chimiche dei fenomeni biologici o della morfologia e della funzione delle microstrutture intracellulari"(3).

4. Il dogmatismo dell'insegnamento scientifico manualistico

Nelle pagine precedenti abbiamo cercato di mostrare come l'impostazione usuale dei manuali sia totalmente inadeguata in riferimento alla possibilità per lo studente di accedere ai significati dei concetti e delle teorie fondamentali della scienza, mentre finora non ci siamo pronunciati sulla sua efficacia in relazione alla formazione degli specialisti, non abbiamo detto nulla sulla totale assenza di riferimenti storico-epistemologici nella formazione universitaria.

Occorre evidentemente discutere che cosa si intenda per efficacia e per specialisti. Ora se per specialismo si intende soltanto la capacità di "risolvere rompicapo all'interno della tradizione definita dai manuali" (Kuhn) o conoscenze tecniche che possono "essere applicate senza chiedersene il perché" (Popper), allora la formazione universitaria è probabilmente efficace.

Noi non neghiamo che tra le attività degli specialisti vi debbano essere anche queste, perché, come riconosce lo stesso Kuhn, esse "permettono di realizzare approfondimenti altrimenti impensabili". Siamo invece molto perplessi della riduzione soltanto a queste attività dello specialismo. Vediamo infatti in questa concezione dello specialismo, ripetendo le parole di Popper, "un grande pericolo, ... un pericolo per la scienza e, in verità, anche per la nostra civiltà". Questa formazione universitaria "rigida e limitata, forse più rigida e limitata di ogni altro tipo di educazione, fatta eccezione per la teologia ortodossa" è stata in Italia negli ultimi decenni ancora più assurda in quanto la maggior parte dei laureati hanno avuto come sbocco l'insegnamento nella scuola secondaria di primo e secondo grado senza nessun altro tipo di formazione iniziale. E' un insegnamento basato sulla retorica della conclusione. "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. La retorica delle conclusioni che impone questa falsa idea di verità testuale e irrevocabile si avvale di mezzi molteplici. Per quanto riguarda la fase iniziale della ricerca, la scoperta dei principi direttivi, l'espedito più comune è l'assoluto silenzio"(4).

I manuali non sono altro che piccole enciclopedie delle conoscenze attualmente accreditate con un'organizzazione che aspira ad emulare il modello assiomatico della geometria euclidea (5). La loro logica è definitoria e dogmatica; la comprensione richiesta agli studenti consiste sostanzialmente nella capacità di risolvere esercizi sulla base dei principi indicati. In fisica e in chimica è generalmente ritenuto studente intelligente quello che non si limita a memorizzare ma quello che capisce, che, cioè, sa applicare agli esercizi i concetti, le leggi, le teorie studiate. I risultati di questo modo di intendere l'insegnamento scientifico sono nefasti anche su un piano formativo generale: "Si pensi ad uno studente che sia stato convinto che la scienza consiste di verità immutabili. Cinque o dieci anni dopo aver conseguito la laurea, scopre che molte nozioni che gli furono insegnate come vere non lo sono più, né vengono più accettate come sapere, perché sono state superate e rimpiazzate da altre formule. Impreparato a questi cambiamenti, inconsapevole delle operazioni di ricerca che li producono, l'ex studente, ora cittadino elettore, non può fare altro che dubitare della attendibilità del suo libro di testo e del suo insegnante. In un gran numero di casi, il dubbio, che ha colpito il libro di testo e l'insegnante, viene ad investire la stessa scienza e la stessa competenza professionale in generale. L'ex studente non ha altra via che abbandonarsi ad un relativismo e a un cinismo pericolosi"(6).

Questo modo di intendere la scienza poteva avere una giustificazione culturale durante l'Ottocento, finché fu generalmente condivisa una visione della scienza di tipo dogmatico. Da molto tempo ormai il clima culturale è diverso; da alcuni decenni il confronto avviene tra posizioni simili a quelle, da una parte di Popper e di Geymonat, e dall'altra di Kuhn e di Rorty. Sono concezioni molto diverse, ma hanno tuttavia in comune la visione della scienza come un

sistema in continua trasformazione, dove è fondamentale comprendere la relatività dei concetti scientifici, la loro genesi e la loro evoluzione, dove è fondamentale il confronto tra teorie diverse. Infine, la metodologia prevalente dell'insegnamento scientifico può avere un'altra motivazione, di matrice idealistica: cioè, la visione della scienza non come cultura, ma come armamentario utile per la società, e tanto più utile quanto più aggiornato è. Non importa che ciò che si studia abbia significato per lo studente; ciò che interessa è soltanto l'utilizzo strumentale delle nozioni studiate.

5. Il problema delle due culture

Costantemente viene riproposto il problema delle due culture; ripetutamente viene denunciata una mancanza di cultura scientifica nel cittadino medio, anche di formazione universitaria, con l'eccezione ovvia degli specialisti di discipline scientifiche. In realtà, quasi nulla è cambiato da quando nel 1963 uscì il libro di Snow "Le due culture". Il problema è infatti molto più antico; in Italia, nel secondo dopoguerra, era stato già posto come nodo centrale della cultura italiana da alcuni grandi intellettuali, quali Vittorini - con il Politecnico -, Banfi e Preti.

Ma cultura scientifica che cosa significa, ed in particolare cultura scientifica del cittadino medio non specialista ?

Una riflessione secolare (fra i tanti J. Dewey) ha evidenziato la profonda differenza che esiste tra cultura da una parte ed erudizione e specialismo dall'altra. Finché si penserà che lo specialismo, ridotto, adattato, a volte banalizzato - come avviene generalmente nella scuola secondaria - possa produrre cultura nello studente, non ci si può stupire del livello della cultura scientifica del cittadino medio !

Finché si riterrà che la cultura scientifica consista nell'aver ricevuto quante più informazioni possibile sulle teorie e le conoscenze scientifiche più recenti e nessuna consapevolezza di tipo metateorico, non ci si può stupire del livello di cultura scientifica del cittadino medio !

Finché le conoscenze scientifiche verranno presentate in modo assiomatico, definitorio, dimostrativo, cioè come verità assolute - come fanno i manuali, che generalmente hanno come primo argomento un capitolo sul metodo scientifico che non ha però nessuna relazione con il resto - e finché le teorie scientifiche non verranno all'opposto presentate come conclusione di un processo che prende le mosse da problemi, da ipotesi, e da tentativi di conferma, non ci si può stupire della cultura del cittadino medio !

In conclusione, finché l'insegnamento scientifico si occuperà soltanto di trasmettere tecniche e nozioni specialistiche, e non avrà un'impostazione culturale, non ci si può stupire che non produca cultura scientifica nel cittadino medio !

Ma l'assenza o la presenza di cultura scientifica nel cittadino medio non è senza implicazioni con la sua culturale generale e con la sua partecipazione responsabile alla vita delle società democratiche.

Riteniamo anche noi che uno dei problemi più importanti della scienza non sia oggi "la cura del cancro, la scoperta di una nuova fonte di energia o qualche altra conquista specifica, bensì in che modo la scienza possa conservare la sua libertà e (...) contribuire a preservare una civiltà pacifica e efficiente". Ma "la prova più convincente del potere della mente umana di progredire, individualmente e collettivamente, dall'ignoranza e dal disordine a una concezione del mondo assennata, condivisibile e dimostrabile - quel trionfo del potenziale razionale dell'uomo di cui la scienza è una testimonianza eloquente - è stata in pratica sabotata dal modo in cui viene presentata, che denuncia la nostra riluttanza a onorare gli imperativi della vera ragione; così gli stessi fatti della scienza che abbiamo dovuto memorizzare sembrano opera di qualche divinità che li fissa nella mente della sua vittima passiva, così come Zeus infonde in Agamennone il *thumos*. Neppure una volta ci è stata proposta l'idea liberatrice che le scoperte e i metodi stessi della scienza sono il risultato di un processo storico mediante cui dei semplici esseri umani cercano il senso e smascherano il nonsenso, e che il potenziale per portare avanti tale processo è in ciascuno di noi" (7).

6. Mondo macroscopico e mondo microscopico

Kohler ha scritto prima della seconda guerra mondiale delle pagine magistrali sulla tendenza dei "profani" ad imitare gli specialisti nell'attribuire importanza soltanto al mondo microscopico; da allora le cose sono peggiorate perché quella tendenza si è generalizzata anche alle altre discipline scientifiche, ed in particolare alla chimica ed alla biologia.

"L'aspetto <macroscopico> o di <massa> del mondo fisico, tuttavia è considerato a volte un'illusione. Le moderne scienze naturali sono atomistiche. Oggi troviamo che la maggior parte della fisica sperimentale e matematica riguarda entità quali le molecole, gli ioni, gli atomi, gli elettroni, i protoni, i neutroni, e così via. La conoscenza di queste particelle e del loro comportamento appare come l'unico obiettivo della scienza. Le particelle stesse tendono di conseguenza ad apparire come l'unico contenuto <reale> della natura. Poiché in condizioni normali la percezione non ci offre la più piccola indicazione della loro esistenza, almeno da questo punto di vista la differenza tra il mondo fenomenico e la natura è tale da colpire chiunque"(8). Gli oggetti del mondo fisico ci appaiono continui, mentre sarebbero costituiti di particelle separate ed in continuo movimento nello spazio vuoto. Se la natura e le sue leggi sembrerebbero avere una costituzione microscopica, si dovrebbe quindi concludere che il termine "macroscopico" si riferisca soltanto ad impressioni soggettive. La risposta di Kohler è categorica: molte conoscenze precedenti l'avvento dell'"era atomica" continuano ad essere "vere", e queste conoscenze erano fatti macroscopici e leggi macroscopiche.

"Se l'attuale interesse per la fisica microscopica ci facesse trascurare l'esistenza di contesti macroscopici di particelle, un aspetto essenziale della natura verrebbe ignorato. Questi contesti non sono un'illusione, la loro delimitazione non è scelta arbitrariamente e soggettivamente: essi sono dei dati del mondo fisico. Così non esiste un problema di scelta tra l'aspetto macroscopico e l'aspetto microscopico della natura. Ambedue gli aspetti del mondo fisico sono fondati su fatti oggettivi. Essi costituiscono *differenti livelli di organizzazione fisica*".

La sottovalutazione del mondo macroscopico, ci fa capire Kohler, è connessa innanzitutto all'incomprensione di un nodo epistemologico: l'esistenza di differenti livelli di organizzazione, che sono tra loro in relazione, ma non sono riducibili l'uno all'altro. Kohler prende l'esempio degli atomi che, da una parte sono costituiti da entità più piccole, elettroni, protoni e neutroni, ma che dall'altra sono caratterizzati da strutture complesse, non riducibili alle caratteristiche delle particelle costituenti. Sempre a livello microscopico, le molecole costituiscono un ulteriore livello di organizzazione fisica: esse sono costituite da più atomi, ma hanno a loro volta delle proprietà irriducibili a quelle degli atomi costituenti. "Nessun fisico verrà a dirci che dobbiamo decidere se vogliamo riconoscere come reali o gli atomi o la molecola (...) Similmente un oggetto *macroscopico* rappresenta semplicemente un prodotto dell'organizzazione ad un livello ancora più alto. Esso contiene particelle, molecole, ioni e altri elementi. Tuttavia queste particelle hanno perduto gran parte della loro indipendenza. E come un atomo nella molecola non è senza dubbio la stessa cosa che se si trovasse in stato di completa libertà, così dentro un oggetto macroscopico il *comportamento* di una molecola è fortemente determinato da questo più ampio contesto. Certamente la nostra conoscenza degli oggetti macroscopici è migliore oggi che si conosce la loro struttura atomica e molecolare. Attualmente, infatti, siamo in grado di capire molto meglio che nel passato ciò che riguarda la coesione, la delimitazione individuale e il comportamento macroscopico di un oggetto di vaste dimensioni. Ovviamente un progresso in questa direzione non può significare che la teoria atomistica degli oggetti macroscopici nega la loro esistenza come entità specifiche"(9).

L'insegnamento scientifico prematuro di teorie complesse a carattere specialistico è tutto intessuto di semplificazioni che conducono a banalizzare e a falsificare il loro potere conoscitivo - Ciò si verifica spesso, nella scuola secondaria, nell'insegnamento sia della chimica che della biologia che è basato sulla struttura della materia senza che lo studente abbia già conoscenze elementari dell'elettromagnetismo e della fisica quantistica. - Kohler fa un esempio di queste semplificazioni che è tutt'altro che un'eccezione nell'insegnamento scientifico usuale: "Il fisico ama dare un tocco inquietante all'impressione che tale differenza suscita. < Il selciato sul quale voi camminate per la strada>, egli ci dice, < è per la maggior parte spazio vuoto. In questo vuoto delle minuscole cariche elettriche corrono qua e là, e sono soltanto gli impulsi continui di tali cariche che tengono i vostri piedi e il resto del corpo "sopra il suolo" (...) Sebbene l'esistenza di oggetti macroscopici sia una caratteristica comune alla percezione e alla natura, perlomeno

l'apparente *continuità* dei percetti-cose sembra illusoria quando la si confronti con la struttura atomica dei corrispondenti oggetti fisici. Io tuttavia esito ad ammettere persino questo fatto. Quando sentiamo dire che il selciato della strada, il nostro tavolo o il nostro organismo sono più che altro spazio vuoto, il concetto che sta chiaramente alla base di questo discorso è che le particelle sono piccolissime porzioni di < materia >, che dove c'è questa materia c'è realmente qualcosa, mentre tra una particella e l'altra non c'è niente di cui valga la pena parlare. Non vedo perché nella divulgazione delle nozioni della fisica si debba continuare a dare di queste descrizioni. Intese a mettere in guardia il profano da una concezione antropomorfa degli oggetti fisici, esse stesse in effetti sono sorprendentemente antropomorfe. Dove troviamo, nella fisica attuale, una prova convincente dell'ipotesi secondo la quale le < particelle > sono quel che il vecchio termine indicava, cioè delle particelle estremamente piccole di qualcosa chiamata < materia >, aventi un diametro misurabile e una netta delimitazione? Democrito poteva avere un siffatto concetto quando considerava gli atomi come minuscoli prodotti di oggetti macroscopici. Ma, a parte la fisica dei quanti e la sua severa critica di siffatte concezioni, il fisico dei nostri tempi difficilmente può condividere questo punto di vista. Il < campo > di un elettrone è forse un'entità fisica meno concreta dell' < elettrone stesso >? E che cosa in realtà significa il fatto che, almeno a parole, distinguiamo ancora l'elettrone e il suo campo? Non conosco alcun dato empirico che avvalorasse questa distinzione. Tutto ciò appare piuttosto come un residuo delle vecchie concezioni materialistiche: queste concezioni portarono alla < particella di materia > e più tardi, dopo Faraday e Maxwell, la particella divenne circondata da un campo. Ma noi ancora oggi confidiamo nelle particelle più che nel loro campo come se, nel caso del selciato, potessimo camminare con sicurezza sulle particelle ma dovessimo ben guardarci dai semplici < campi >. In effetti, nella misura in cui sappiamo che le particelle sono campi e strutture di campo, esse riempiono il volume dell'oggetto macroscopico completamente e in questa misura l'oggetto è un continuo"(10).

7. L'insegnamento scientifico nella scuola di base

Ci proponiamo ora di sviluppare la seconda implicazione pedagogica che deriva dalle osservazioni critiche di Pera all'antinduttivismo radicale di Popper, riportate precedentemente. In consonanza con la maggioranza degli epistemologi contemporanei continuiamo a ritenere il procedimento fondamentale della scienza quello ipotetico-deduttivo, ma ciò non comporta, come hanno evidenziato, tra i tanti, Paolo Rossi e Marcello Pera, negare un ruolo importante anche all'induzione, cioè ad attività scientifiche di osservazione e sperimentazione condotte senza ipotesi specifiche.

Vogliamo inoltre sottolineare un altro aspetto: lo sviluppo scientifico della fisica, della chimica, della biologia, ecc., si è realizzato soltanto negli ultimi quattro secoli, ma ciò non significa che nei secoli o millenni precedenti non fosse stato elaborato nulla di significativo. Riprendendo l'esempio della chimica, la sua fondazione scientifica si realizzò soltanto nella seconda metà del Settecento grazie alle geniali intuizioni lavoisieriane, ma essa fu possibile anche grazie alle conoscenze accumulate nel corso dei secoli: queste di per sé non erano state sufficienti per ricavare induttivamente i principi basilari della chimica, quali quello di elemento e di composto (11), ma avevano permesso di individuare, descrivere e definire specifici ambiti fenomenologici. In particolare, durante il Seicento ed il Settecento, per mezzo di attività, sostanzialmente di tipo induttivo, di artigiani e scienziati, era stato possibile acquisire quella che Lavoisier considererà poi "la parte più certa e più completa della chimica"(12), e cioè la conoscenza fenomenologica che i sali si ottengono dalla combinazione di acidi e sostanze basiche.

Che differenza abissale tra il significato attribuito alla parola "teoria" da Lavoisier e dai manuali contemporanei di chimica! Mentre per questi ultimi soltanto spiegazioni in termini di modelli microscopici possono aspirare ad essere considerati "teoria", per Lavoisier erano "teoria" importanti *generalizzazioni fenomenologiche*. Per il grande chimico francese vi era una profonda differenza tra un ricettario di sostanze, come erano i manuali seicenteschi - che consistevano in un accumulo bruto di conoscenze empiriche - ed un libro che iniziava a raccogliere molte di queste sostanze in classi ed era anche in grado di indicare alcune importanti relazioni tra classi.

Tutto ciò ha secondo noi delle decisive implicazioni con l'insegnamento scientifico nella scuola di base: riteniamo infatti che la sua impostazione debba essere qui essenzialmente di tipo fenomenologico. Siamo quindi totalmente in disaccordo con la Driver e molti altri costruttivisti che tendono ad evidenziare anche sul piano educativo i profondi limiti delle attività sperimentali, di attività di tipo induttivo: essi non attribuiscono grande rilevanza nella prima alfabetizzazione scientifica a conoscenze strettamente connesse ad aspetti operativi. Noi pensiamo, invece, che **prima di spiegare i fenomeni scientifici occorra conoscerli**, e riteniamo che sia indispensabile a questo proposito un lungo lasso di tempo, corrispondente per i fenomeni elementari sostanzialmente alla scuola di base.

E' a questo punto necessario effettuare una puntualizzazione: noi pensiamo che nella scuola di base procedimenti di tipo induttivo debbano svolgere un ruolo decisivo, ma ciò non significa che ricadiamo nell'errore di molti sperimentalisti ingenui; siamo, cioè, perfettamente consapevoli che molti fatti scientifici sono carichi di teoria e che vi è quindi un intreccio costante tra aspetti fenomenici ed aspetti teorici. Ma, come le teorie ed i concetti non sono sullo stesso livello di complessità, così anche i fenomeni sono, seppur in senso lato, gerarchizzati. Ritorna quindi di nuovo in campo l'analisi epistemologica per individuare i livelli di complessità degli aspetti fenomenologici.

Ci rendiamo perfettamente conto che la formulazione "conoscenza dei fenomeni scientifici" ha una dose di ambiguità; occorre infatti effettuare delle scelte molto precise all'interno della fenomenologia scientifica, individuando i fenomeni il più possibile "privi di conoscenze teoriche specifiche" e quindi sostanzialmente connessi soltanto ad attività di osservazione e sperimentazione.

Per esplicitare in modo più chiaro la nostra proposta, prendiamo un esempio tra i tanti: il fenomeno della combustione.

Questo costituisce un argomento tradizionalmente presente anche nella scuola elementare: in tutti i sussidiari è illustrato l'esperimento della candela, collocata in una bacinella contenente acqua, che si spegne quando viene messa sotto un recipiente di vetro; immediatamente vengono ricavate le seguenti conclusioni: 1) la combustione è un fenomeno che avviene per combinazione con l'ossigeno; 2) la candela si spegne perché l'ossigeno si è consumato; 3) ed infine l'ossigeno è circa 1/5 dell'aria, come si capisce dall'innalzamento dell'acqua.

Ora alcune di queste affermazioni sono vere, altre sono false, ma tutte non sono ricavabili soltanto dall'osservazione di questo esperimento. Ci troviamo di fronte ad uno degli innumerevoli esempi di sperimentalismo ingenuo, che in questo, come negli altri casi, non differisce in nulla dal nozionismo trasmissivo più insignificante. Fare degli esperimenti non serve a nulla se le conclusioni che si ricavano dipendono soltanto dalle conoscenze che l'insegnante ha già e lo studente non ha.

Esperimenti di questo tipo erano conosciuti da millenni: la combustione è infatti uno dei fenomeni chimici più importanti nella storia dell'umanità. Basta pensare alla scoperta del fuoco ed alla funzione delle fornaci nell'antichità nella scoperta delle tecniche della ceramica e dei metalli. Fin dai tempi dell'antico Egitto fu acquisita la consapevolezza che occorre soffiare aria nelle fornaci per avere del fuoco più potente e capace di fondere il rame ed il ferro. Tuttavia le conoscenze significative sulla combustione sono rimaste soltanto di tipo fenomenologico fino a Lavoisier; anzi la rivoluzione chimica lavoisieriana ebbe proprio inizio con la più grande scoperta della chimica, ebbe, cioè, inizio con l'ipotesi lavoisieriana che il fenomeno della combustione consiste in una combinazione chimica tra combustibile ed aria; furono poi necessari alcuni anni per comprendere che soltanto una parte dell'aria è attiva (essa venne allora chiamata ossigeno) (13).

Apparentemente l'esperimento della candela è estremamente semplice, è sul piano pratico facilmente eseguibile, la sua complessità è infatti concettuale. Se l'esperimento viene effettuato nel secondo ciclo della scuola elementare, probabilmente potrebbe capitare che siano i bambini stessi a prospettare la nozione dell'ossigeno, senza però avere minimamente la capacità di raccorderla a ciò che hanno osservato.

La nozione dell'ossigeno funziona come **pre-concetto**, nell'accezione deweiana del termine, che impedisce al bambino di utilizzare la propria mente per investigare il problema. "Non vi è niente nel mero fatto del pensiero, in quanto identico alla credenza, che possa rilevare se quest'ultima è ben fondata o no. Poniamo che due diverse persone dicano: "Io penso che il mondo è

sferico". Una di esse, se messa alla prova, può non essere capace di dare che poche o addirittura nessuna spiegazione del perché pensa come pensa. La sua è un'idea presa dagli altri ed accettata perché è un'idea generalmente corrente, non perché l'individuo ha esaminato la questione o perché la sua mente ha avuto una parte attiva nel raggiungere e concepire quella credenza. "Pensieri" del genere affiorano inconsciamente. Ci si imbatte in essi non si sa come. Da oscure sorgenti e per vie sconosciute essi si insinuano nella mente e diventano senza che ce ne accorgiamo parte del nostro equipaggiamento mentale. Ne sono responsabili la tradizione, l'istruzione, l'imitazione, ognuna delle quali cose o dipende da una qualche autorevole fonte o fa appello ad un nostro personale vantaggio, o coincide con qualche forte nostra passione. Pensieri siffatti sono *pregiudizi*; cioè giudizi pre-maturi, non conclusioni raggiunte come risultato di una personale attività mentale quali l'osservare, il raccogliere ed esaminare i dati. Anche quando accade che tali giudizi siano corretti, la correttezza è una faccenda accidentale, almeno per quello che concerne la persona che li accoglie"(14).

Vi sono innumerevoli termini che fanno ormai parte del senso comune, come il termine "ossigeno"; essi sono tuttavia carichi di teoria e funzionano quindi anche per molti adulti sul piano cognitivo come pre-giudizi. Essi non possono evidentemente essere esorcizzati: se si effettuasse, per esempio, l'esperimento con la candela con lo scopo effettivamente accessibile sulla base della sola osservazione di rendersi conto che l'aria ha un ruolo, e venisse prospettata dai bambini la nozione del consumo di ossigeno, essa non può evidentemente essere rifiutata, ma sarebbe sbagliato nella scuola elementare concentrare l'attività educativa su quest'aspetto.

Spesso gli insegnanti confondono la conoscenza da parte degli studenti di termini scientifici con la conoscenza del loro significato. Ora anche molti adulti conoscono termini specialistici, soprattutto grazie ai mas-media, senza avere la minima idea del loro significato.

La conclusione che si deve ricavare da queste riflessioni è allora quella che della combustione è meglio non parlare nella scuola elementare ?

Tutt'altro, la conclusione è che ci si deve limitare ad un **approccio fenomenologico**. La combustione è sicuramente già conosciuta dai bambini del secondo ciclo della scuola elementare; nella vita quotidiana più volte è loro capitato di assistere a fenomeni di combustione, quali l'accensione di un fiammifero, dei fornelli di una cucina a gas, o di un braciere con carbone o legna. Ma la conoscenza spontanea di questa fenomenologia, come in generale di tutte le fenomenologie, è **irriflessiva, inconsapevole, asistemica**, in quanto si verifica essenzialmente attraverso i sistemi della rappresentazione attiva ed in particolare iconica (15). Raramente nella vita quotidiana, ad eccezione di chi svolge mansioni o mestieri particolari, vi è l'esigenza di attivare in riferimento a fenomenologie di carattere scientifico il sistema di rappresentazione simbolico, cioè quello della consapevolezza.

Approccio fenomenologico significa, quindi, essenzialmente attivazione del sistema simbolico, perché se ci si limitasse ai sistemi attivo ed iconico si farebbero pochi passi in avanti rispetto alla conoscenza di senso comune. In particolare poi se la fenomenologia facesse già parte dell'esperienza quotidiana, l'attività didattica sarebbe sostanzialmente inutile, se invece non ne facesse parte si avrebbe comunque un ampliamento della base esperienziale. Le fasi della rappresentazione attiva ed iconica non vanno evidentemente saltate, ma non ci si può fermare ad esse.

Riprendendo l'esempio della combustione, la **prima fase dell'attività** didattica non può non essere che l'esecuzione di alcuni esperimenti di combustione, per mezzo dei quali gli studenti rinnoveranno determinate immagini mentali familiari.

Noi pensiamo che questo possa essere assunto come un **principio generale**: anche quando la fenomenologia in oggetto è molto presente nella vita quotidiana occorre sempre prevedere come prima fase un'attività di sperimentazione e/o di osservazione.

Abbiamo discusso nel secondo capitolo il ruolo che la Pontecorvo attribuisce, rifacendosi a Vygotskij e a Bruner, al linguaggio ed in particolare alla dimensione linguistica sociale. Concordiamo con lei nell'attribuire alla discussione collettiva tra pari grande importanza sia sul piano cognitivo che motivazionale. Vogliamo inoltre sottolineare anche il ruolo della dimensione linguistica individuale nel contesto dell'insegnamento scientifico (e probabilmente anche negli altri contesti disciplinari), ruolo sicuramente dalla Pontecorvo condiviso ma non sufficientemente sottolineato nel suo libro.

Riteniamo, in altre parole, che il bambino, dopo aver effettuato (o man mano che effettua) un esperimento, debba innanzitutto, generalmente, essere impegnato individualmente in un'attività di riflessione, debba cioè tradurre in linguaggio scritto le sue conoscenze attive ed iconiche. Nel processo di concettualizzazione, la verbalizzazione scritta individuale ci sembra una fase prioritaria ed ineliminabile in quanto, innanzitutto, pensiamo che in generale (16), ed in particolare per lo studente della scuola di base, essa costituisca il modo principale per sviluppare consapevolezza e riflessione in relazione a qualcosa che sta osservando - non riusciamo infatti ad immaginare che cosa possa significare dare ai bambini la consegna di riflettere su qualcosa che si sta sperimentando senza l'utilizzo della verbalizzazione scritta -; ed in secondo luogo perché rispetto alla discussione collettiva permette effettivamente a ciascun bambino di iniziare a cercare di "mettere in forma", sulla base delle proprie strutture cognitive, "il mondo" che sta osservando. Dopo che ciascun bambino ha costruito le proprie rappresentazioni, il momento del confronto, della discussione collettiva, diventa effettivamente decisivo sia nello sviluppo della concettualizzazione che nel potenziamento della motivazione.

In conclusione riteniamo che siano tutte e tre importanti ed imprescindibili le fasi prospettate per l'insegnamento scientifico nella scuola di base: 1) la fase di sperimentazione-osservazione, 2) la fase di verbalizzazione scritta individuale, 3) ed infine la fase di discussione collettiva.

8. Il ruolo degli esperimenti

Riteniamo necessario effettuare ulteriori considerazioni sulla prima fase. Continuiamo a considerare, come si è già detto, un **principio irrinunciabile**, il dogma dell'attivismo, dell'impossibilità di prescindere dal contatto diretto con le cose. Ci sembra infatti che molti esperti, che si rifanno al costruttivismo, vi abbiano nella sostanza rinunciato attribuendo in sua vece, anche nella didattica e non solo nella ricerca, un ruolo centrale alla ricognizione delle concezioni degli studenti. Noi continuiamo invece a pensare che la costruzione del significato, in particolare nella scuola di base, non possa fare a meno del contatto diretto con le cose. Continuiamo infatti a ritenere un assioma del processo educativo le seguenti considerazioni di Dewey: "Tentare di dare un significato tramite la parola soltanto, senza una qualsiasi relazione con la cosa, significa privare la parola di ogni significazione intellegibile; è contro questo tentativo, una tendenza purtroppo prevalente nell'educazione, che i riformatori hanno protestato (...) In primo luogo essi (i simboli) rappresentano per una persona questi significati solo quando essa ha avuto esperienza di una qualche situazione rispetto a cui questi significati sono effettivamente rilevanti. Le parole possono isolare e conservare un significato solo allorché esso è stato in precedenza implicato nei nostri contatti diretti con le cose (...) Inoltre vi è la tendenza ad ammettere che ovunque vi sia una definita parola o forma linguistica, vi sia anche un'idea definita; mentre, in realtà, sia gli adulti che i fanciulli possono adoperare formule verbalmente precise, avendo solo la più vaga e confusa idea di ciò che esse significano. E' più proficua la genuina ignoranza perché è facilmente accompagnata da umiltà, curiosità ed apertura mentale; mentre l'abilità a ripetere frasi fatte, termini convenzionali, proposizioni familiari, crea la presunzione del sapere e spalma la mente di una vernice impenetrabile alle nuove idee"(17).

Riteniamo, tuttavia, necessario prendere le distanze da alcuni aspetti dell'attivismo che hanno sicuramente contribuito, nonostante le sue nobili intenzioni, al suo discredito e alla sua sconfitta. La parabola dell'attivismo non riguarda ovviamente soltanto l'educazione scientifica, ma se osserviamo l'evoluzione dell'insegnamento scientifico negli ultimi trent'anni, dopo il libro di Bruner già citato, non si può non prendere atto della sua sconfitta. Nel movimento attivistico, l'attività di sperimentazione, l'attività concreta, l'attività in prima persona da parte del bambino sono diventate spesso dei fini; sono state inoltre molte volte trascurate le attività di riflessione, di concettualizzazione; è stata sottovalutata in modo macroscopico la dimensione linguistica.

Nell'ipotesi da noi prospettata, che cerca di realizzare una sintesi tra paradigmi generalmente contrapposti, quello piagetiano e quello vygotskiano, la prima fase, quella sperimentale-osservativa, rimane imprescindibile, ma non è in genere quella più impegnativa né temporalmente né come impegno cognitivo richiesto allo studente. Pensiamo infatti che, proprio per le caratteristiche dello studente della scuola di base - per le sue capacità di attenzione e per i

limiti nel mantenere la motivazione - gli esperimenti proposti debbano essere semplici e di veloce esecuzione.

La maggior parte del tempo deve essere, quindi, riservata alle fasi di concettualizzazione, deve essere, cioè, dedicata alla verbalizzazione scritta e alla discussione collettiva. La dimensione linguistica assume conseguentemente nella nostra proposta un ruolo centrale, non evidentemente come attività estemporanea dettata da esigenze aprioristiche (18), ma come strumento fondamentale per il bambino per dare significato al mondo che sta osservando.

Rispetto all'impostazione più diffusa nella scuola elementare, sostanzialmente anche qui di tipo trasmissivo, l'educazione scientifica impostata in questo modo necessita di tempi molto più dilatati per ciascuna unità didattica; e ciò implica la necessità di scelte precise rispetto ai contenuti da proporre, come d'altra parte è indicato dai programmi. E' molto diffusa sia nella scuola elementare che nella scuola media la sindrome della scuola successiva: gli insegnanti della scuola media e della scuola secondaria superiore richiederebbero alla scuola precedente studenti con più solide basi scientifiche (la sindrome c'è ovviamente anche per le altre discipline), cioè, con il maggior numero possibile di nozioni scientifiche. Vi è qui evidentemente un totale fraintendimento, determinato potentemente dall'impostazione enciclopedica e trasmissiva dei libri di testo, sia di che cosa significhi "basi scientifiche" per uno studente della scuola di base, che delle precise indicazioni contenute nei programmi della scuola elementare e della scuola media.

Sia gli uni che gli altri elencano un insieme ampio di fenomenologie, problematiche e concetti scientifici, ma in modo chiaro affermano che questi contenuti sono indicativi e lasciano quindi all'insegnante la scelta di quali argomenti affrontare. Ciò che è invece indicato in termini prescrittivi sono gli obiettivi educativi da raggiungere. E' inoltre prescrittiva l'impostazione operativa, sperimentale, costruttivista, con l'obiettivo fondamentale di contribuire, nel fare scienze, allo sviluppo di capacità osservativo-logico-linguistiche.

Un altro dogma infine che non condividiamo è quello che gli esperimenti siano significativi soltanto se sono eseguiti direttamente dal bambino. Ora, noi siamo perfettamente consapevoli dell'importanza dell'attività del bambino, e continuiamo a ritenere fondamentale il costrutto piagetiano di azione-operazione. Pensiamo, quindi, che quante più occasioni di attività diretta da parte del bambino vi siano nella scuola di base meglio sia (19), a condizione però che queste occasioni non si esauriscano in se stesse, a condizione però che non vengano trascurate le altre fasi della concettualizzazione.

Sul piano teorico non si può non essere d'accordo; tuttavia, la realtà, che è fatta spesso di classi di 20-25 bambini, è molto più complessa: può risultare infatti impossibile condurre in modo produttivo attività in cui sempre i bambini agiscano in prima persona. Noi riteniamo, quindi, che debba essere lasciata all'insegnante la possibilità di effettuare una mediazione tra le esigenze teoriche ed i limiti imposti dalla realtà scolastica, che debba, cioè, l'insegnante scegliere quali esperimenti sia indispensabile far fare direttamente ai bambini e quali esperimenti possano essere fatti collettivamente. Se si indicano agli insegnanti delle mete teoricamente ineccepibili ma praticamente ingestibili si rischia di contribuire al mantenimento dello status quo, giustificando agli occhi dell'insegnante, per la sua maggiore praticità ed efficacia, la didattica tradizionale trasmissiva (20).

Non condividiamo, quindi, quanto afferma Piaget a questo proposito: "Pare che molti educatori, credendo di applicare i miei principi di psicologia, si limitino a mostrare degli oggetti senza procedere a farli manipolare dai bambini stessi, oppure, ancora peggio, semplicemente presentando rappresentazioni audiovisive di oggetti (fotografie, film, ecc.) nella credenza erronea che il semplice fatto di percepire gli oggetti e le loro trasformazioni equivalga all'azione da parte di chi apprende nell'esperienza diretta. Quest'ultimo è un grave errore perché l'azione è istruttiva solo quando implica la concreta e spontanea partecipazione del bambino stesso con tutti i goffi tentativi e l'apparente spreco di tempo che tale partecipazione implica. E' assolutamente necessario che gli scolari abbiano a loro disposizione delle esperienze materiali concrete (e non solamente delle illustrazioni), che essi formulino le loro personali ipotesi e che le verifichino (o non le verifichino) loro stessi attraverso le loro attive manipolazioni. Le attività di altri osservate, incluse quelle dell'insegnante, non sono attività che formino nuove organizzazioni nel bambino"(21).

Queste affermazioni ci appaiono emblematiche dell'attivismo più radicale e ci sembrano in contraddizione con molte altre riflessioni piagetiane, ed in particolare con il suo concetto di

azione che è tutt'altro che circoscritto alla dimensione concreta: pensiamo, infatti, di aver compreso che per Piaget " un soggetto attivo è un soggetto che confronta, esclude, ordina, categorizza, riformula, verifica, elabora ipotesi, riorganizza, ecc."(22). Cogliamo inoltre in queste affermazioni un'implicita sottovalutazione, all'interno di una concezione costruttivista dello sviluppo della conoscenza, del ruolo della dimensione linguistica. Riteniamo, invece, che le precedenti considerazioni piagetiane siano sostanzialmente condivisibili se riferite al bambino della fase preoperatoria, ed in particolare al bambino della scuola dell'infanzia.

Il fatto che determinati esperimenti siano effettuati collettivamente ed eseguiti materialmente dall'insegnante non deve tuttavia modificare le altre fasi del processo di concettualizzazione. Gli esperimenti, anche in questo caso, non debbono rappresentare la conferma o l'illustrazione di qualche concetto spiegato precedentemente dall'insegnante, ma devono servire a porre concretamente i fatti, cioè determinate fenomenologie, davanti agli occhi e alla mente dei bambini; la concettualizzazione avviene con le modalità già indicate, che sono caratterizzate dal ruolo centrale dello studente, dal ruolo decisivo, nella costruzione della conoscenza, della sua attività intellettuale e linguistica. A noi appare, infatti, la dimensione linguistica, sia individuale che collettiva, uno strumento imprescindibile per lo studente per costruire la propria conoscenza, per realizzare il passaggio da rappresentazioni intuitive, irriflessive ed asistematiche a rappresentazioni consapevoli e connesse. In questa prospettiva, pensiamo che la dimensione linguistica sia quella che in modo più significativo possa rendere possibile l'esplicitazione del ruolo attivo e costruttivo dello studente. D'altra parte comprendiamo, anche se non condividiamo, la profonda diffidenza dell'attivismo nei confronti del linguaggio, tenendo conto del fatto che ancora oggi spesso il linguaggio è a scuola lo strumento fondamentale di acquisizione delle nozioni e delle informazioni in modo trasmissivo e non costruttivo.

Noi riteniamo che un'impostazione di questo tipo permetta effettivamente all'insegnamento scientifico di svolgere nella scuola di base le due funzioni fondamentali che i nuovi programmi e la pedagogia contemporanea attribuiscono

a tutte le discipline, cioè da una parte, di contribuire effettivamente al processo formativo - e nello specifico delle scienze di contribuire al potenziamento di capacità osservative - logiche - linguistiche, e dall'altra, di fare acquisire, contemporaneamente, allo studente solide conoscenze scientifiche elementari che costituiscano realmente la base su cui continuare nella scuola secondaria la costruzione della conoscenza scientifica (23).

9. La fondamentale importanza della scelta dei contenuti

Tutte le considerazioni che abbiamo finora effettuato contengono già quanto vogliamo esplicitare in questo paragrafo. Siamo venuti individuando nelle ultime pagine una metodologia dell'insegnamento scientifico per la scuola di base, ma non crediamo che essa sia adatta a qualsiasi contenuto. Sarebbe infatti un'illusione, e nella sostanza una variante della didattica trasmissiva, pensare di poter ricavare sperimentalmente con attività di tipo osservativo - logico - linguistico, cioè sostanzialmente di tipo induttivo, i concetti fondamentali della scienza.

La scelta dei contenuti è, a nostro parere, il maggior nodo irrisolto, anzi per certi aspetti quasi mai seriamente affrontato. Quali le cause ?

Queste sono molteplici, le abbiamo già indicate, e sono riconducibili innanzitutto alla logica specialistica - di cui l'ultima versione è stata la proposta bruneriana relativa alla struttura delle discipline - che ha da sempre improntato in Italia l'insegnamento scientifico. Tuttavia occorre riconoscere che uguali responsabilità ha l'attivismo. In relazione a quest'ultimo aspetto ci sembrano illuminanti le riflessioni critiche rivolte a Dewey da Lydia Tornatore, probabilmente la pedagoga che negli ultimi decenni maggiormente ha contribuito ad evidenziare i molti aspetti ancora oggi illuminanti del pensiero deweyano: "Malgrado l'opposizione deweyana ad ogni separazione fra forma e contenuto, per questa via la separazione riaffiora, e si pongono le basi di un nuovo formalismo, per il quale la razionalità si identifica con il controllo che trova espressione nel metodo. Di qui il rischio di quella valorizzazione esclusiva del metodo affiancata da scarsa attenzione ai contenuti che ha spesso caratterizzato la pedagogia della scienza di ispirazione deweyana, costituendone uno dei più appariscenti limiti (...) In effetti in sede educativa Dewey dà rilievo alla trasmissione culturale nel suo complesso; quanto al ruolo delle

conoscenze, le posizioni da lui adottate non sono tali da consentirgli di impostare chiaramente i problemi. Quel che viene in primo piano è la vibrante polemica contro modi sbagliati o unilaterali o insufficienti di intendere la trasmissione; con la conseguenza che l'effetto più rilevante è stato di sostegno e rinforzo per modi di pensare per i quali la trasmissione è un nemico da combattere piuttosto che un complesso di problemi da studiare"(24)

Vi è tuttavia una difficoltà reale: la scelta di contenuti adeguati è possibile, a nostro parere, soltanto quando si realizza la compresenza o la collaborazione delle competenze specialistiche di tre settori totalmente separati nella tradizione accademica italiana, quello disciplinare specifico (chimica, fisica, biologia, ecc.), quello psicopedagogico e quello storico-epistemologico. Indubbiamente in altri paesi la situazione è migliore che in Italia; vi è indubbiamente una maggiore consapevolezza dell'importanza delle didattiche disciplinari: basta ricordare tutti i progetti di insegnamento scientifico che sono stati finanziati sia negli USA che in Inghilterra durante gli anni 60, dopo la conferenza di Wood Hole. Tuttavia anche la maggior parte di questi progetti, che hanno coinvolto scienziati, pedagogisti e psicologi, hanno avuto il grande limite della mancanza di significative competenze storico-epistemologiche (25). "Comunque si vedano le cose, è certo che non è accettabile oggi presumere di poter impostare il problema dell'educazione scientifica in termini esclusivamente metodologici o psicologici. Il problema è molto più complesso: è in questione la concezione della scienza, del progresso scientifico, della relazione tra storia della scienza ed altre dimensioni della ricerca storica, delle relazioni tra esperienza comune e scienza"(26). La psicologia dell'apprendimento è indispensabile ma senza riflessione storico-epistemologica non è in grado, a nostro parere, di risolvere il problema pedagogico dell'insegnamento scientifico.

Uno dei pochi che, pur non occupandosi direttamente né di pedagogia, né tantomeno di didattica delle scienze, ha dato dei grandissimi contributi ad un'analisi epistemologica e psicologica di molti concetti scientifici di base è Piaget. Nel capitolo dedicatogli ci siamo limitati a riassumere soltanto alcuni di questi suoi contributi; essi potranno essere discussi, criticati e modificati, ma ci sembrano ancora oggi nel loro insieme il principale punto di riferimento. Ad esempio, se le considerazioni di Piaget sulla conservazione della sostanza sono valide, e a noi nelle linee generali ci appaiono tali - Boscolo affermava nel 1987 che esse sono state confermate dalla ricerca psicologica degli ultimi trent'anni -, e se fossero tenute in considerazione nella stesura dei programmi, esse avrebbero delle implicazioni didattiche rivoluzionarie rispetto alle modalità ed ai contenuti dell'insegnamento scientifico prospettato dai sussidiari e dai manuali della scuola elementare e della scuola media. Abbiamo l'impressione che questi scritti di Piaget siano stati discussi e sottoposti a verifica soltanto dagli psicologi dell'età evolutiva, ma che essi siano sostanzialmente sconosciuti, o rifiutati aprioristicamente da chi si è occupato di didattica delle scienze.

10. La discussione collettiva

Abbiamo precedentemente attribuito un ruolo centrale alla discussione collettiva, come dimensione costitutiva dell'attività didattica; pensiamo però che vi siano due condizioni, e cioè che la discussione si riferisca a fenomenologie, a problemi, a concetti, che siano alla portata delle strutture cognitive degli studenti, e che le ipotesi formulate siano sottoponibili a conferma sperimentale o siano comunque controllabili dai bambini; tutto ciò implica, come abbiamo già ripetutamente affermato, scelte adeguate dei contenuti.

Non crediamo, quindi, alla valenza pedagogica di questa metodologia di per sé; pensiamo che vi sia sempre una connessione stretta tra metodo e contenuti e pensiamo che sia un retaggio dell'attivismo la loro separazione e la conseguente mitizzazione del metodo in sé. Riteniamo che la discussione collettiva applicata a contenuti complessi (come sono ad esempio la maggior parte di unità didattiche di molti sussidiari del secondo ciclo della scuola elementare, quando trattano il principale argomento di scienze, il corpo umano) (27) sia sostanzialmente insignificante sia nella costruzione di conoscenze scientifiche significative da parte dello studente che nel potenziamento delle sue strutture cognitive.

Consideriamo importante l'attività del fare ipotesi da parte dei bambini, in certi casi essenziale, a condizione tuttavia che anche questa attività si riferisca a problemi da loro dominabili e non sia

soltanto un esercizio di immaginazione fantascientifica. Vi è chi, per un popperismo male inteso, ha prospettato come centrali anche per la scuola elementare il momento dell'ipotesi ed il procedimento ipotetico-deduttivo. Abbiamo già nel capitolo dedicato a Piaget evidenziato la differenza che, secondo noi, esiste tra l'accezione popperiana e piagetiana del termine ipotetico-deduttivo.

E l'attività del fare ipotesi che crediamo sia utile già nella scuola elementare è quella connessa al significato piagetiano: consiste nel tentativo di pensare il possibile, quello che potrebbe accadere, come le cose dovrebbero essere sulla base delle conoscenze passate e delle competenze logiche già consolidate.

L'attività del fare ipotesi è, a nostro parere, in certi casi essenziale per un'acquisizione intelligente e non cieca di determinate conoscenze. Prendiamo un esempio adatto ad una quarta o quinta elementare. Una problematica scientifica su cui riteniamo importante lavorare è quella dell'evaporazione, dell'ebollizione e della distillazione dell'acqua; dopo che questi fenomeni sono stati concettualizzati, può essere effettuato un ulteriore approfondimento: alla definizione operativa di ebollizione dell'acqua può essere aggiunto l'attributo "l'acqua bolle a 100 gradi". Molti adulti hanno questa nozione ma non conoscono il suo significato, perché l'hanno appreso o come pura formulazione linguistica o a volte per mezzo dell'immagine del diagramma relativo. Ma anche in quest'ultimo caso il significato non è stato acquisito perché non vi era la capacità di passare da una conoscenza astratta, generale ad una conoscenza concreta. Questo è uno degli innumerevoli concetti scientifici che ci portano a concludere che Piaget sia stato ottimista rispetto allo stadio delle operazioni formali; nel nostro esempio pensiamo che sia ben oltre i 14 anni l'età in cui lo studente comprende il fenomeno in oggetto soltanto sulla base dell'immagine del diagramma.

Non si può quindi prescindere dall'esperimento, ma esso può essere effettuato per lo meno con due modalità, una cieca ed una intelligente. Sarebbe infatti cieca (28)

la semplice constatazione sperimentale che all'ebollizione la temperatura dell'acqua non cambia, rimane costantemente a 100 °C (in realtà non è mai 100, ma è comunque costante, perché l'acqua non è pura, i termometri non sono precisi, la pressione atmosferica non è 1 atmosfera). Operando in questo modo lo studente acquisirebbe effettivamente il significato dell'espressione "l'acqua bolle a 100 °C", e non la sola formulazione linguistica, ma sarebbe pur sempre una acquisizione non intelligente perché lo studente la farebbe propria come una cosa ovvia, non problematica, logica, quando invece non lo è.

Quella conoscenza diventa intelligente quando lo studente acquisisce contemporaneamente la sua apparente stranezza, la sua illogicità. L'esperimento (che consiste nel registrare ogni 20-30 secondi per mezzo di un termometro la temperatura dell'acqua contenuta in un becker e sottoposta a riscaldamento) andrebbe quindi effettuato in due tempi: dopo alcuni minuti, quando la temperatura è intorno a 40-50 °C, occorre interrompere il riscaldamento e chiedere ai bambini che cosa si aspettano che succeda alla temperatura dell'acqua continuando il riscaldamento - ovviamente questa unità didattica presuppone alcune altre attività, alcuni prerequisiti elementari sul riscaldamento dei corpi, sul termometro come strumento che indica il "caldo" dei corpi -. Quasi tutti i bambini effettueranno la previsione logica, cioè che la temperatura dell'acqua continui a salire, non ipotizzando un arresto all'ebollizione. Quando poi, ripreso il riscaldamento, si arriverà all'ebollizione, i bambini constateranno l'erroneità della loro ipotesi, constateranno la stranezza della temperatura dell'acqua che rimane costante a 100 °C durante l'ebollizione. Anche le affermazioni scientifiche più banali, non sono in molti casi una diretta conseguenza dell'esperienza quotidiana, del senso comune. Tuttavia in questo caso vi è uno scarto limitato tra le strutture cognitive di un bambino di 10 anni e la scienza; questa conoscenza è accessibile al bambino della scuola elementare, ma è fondamentale che egli contemporaneamente comprenda che essa è oltre l'apparenza percettiva, che essa non è in continuità ma in contraddizione con l'esperienza quotidiana.

D'altra parte simile fu la reazione iniziale degli scienziati settecenteschi che scoprirono questo strano fenomeno: esso sembrò loro talmente anomalo, contraddittorio con la logica dell'esperienza quotidiana che, non capendo dove andava a finire il calore che continuavano a fornire all'acqua all'ebollizione -esso infatti non determinava più l'innalzamento della temperatura - coniarono il termine "calore latente di ebollizione" che significa calore che si nasconde all'ebollizione. Questo termine, come molti altri termini scientifici, è poi rimasto nell'uso

scientifico, si utilizza ancora oggi, anche se con un significato completamente diverso. Vi è qui, di nuovo, un parallelismo significativo tra l'ontogenesi e la filogenesi.

11. Le rappresentazioni spontanee degli studenti

Le ricerche effettuate negli ultimi decenni sia da psicologi che da esperti di didattica delle scienze sulle concezioni di tipo scientifico degli studenti costituiscono una pietra miliare per la rifondazione pedagogica dell'insegnamento scientifico. Diversamente dalla maggioranza delle ricerche piagetiane esse si sono rivolte in generale a soggetti di maggiore età, a studenti della scuola media, della scuola secondaria, dell'università ed anche ad adulti. Esse hanno incontestabilmente mostrato l'insignificanza delle metodologie didattiche più diffuse, trasmissive e specialistiche, dell'insegnamento scientifico, esse hanno evidenziato il fallimento delle "riforme" dell'insegnamento scientifico conseguenti all'ipotesi strutturalista bruneriana. Esse hanno sostanzialmente confermato nelle linee generali, pur partendo molte volte da presupposti pedagogici diversi, le critiche che la tradizione deweyana-piagetiana aveva rivolto all'insegnamento tradizionale.

L'insegnamento scientifico specialistico prematuro non è in grado di diventare conoscenza e cultura. Le ricerche hanno infatti indicato che molti studenti alla fine della scuola secondaria, nonostante molti anni di insegnamento scientifico formalizzato, continuano a condividere concezioni derivate dal senso comune ed alternative alle conoscenze accreditate e continuano ad adottare strategie cognitive di tipo prescientifico, si comportano e pensano, cioè, come se non avessero ricevuto nessun insegnamento scientifico, continuano infatti sostanzialmente a fare ricorso soltanto alle loro strategie e conoscenze che ne prescindono (29).

Le spiegazioni che generalmente vengono fornite dei risultati di queste ricerche sono le seguenti: quando le conoscenze formali sono presentate in modo prematuro, come generalmente avviene, esse non sono in grado di interagire con le conoscenze spontanee degli studenti e non sono quindi capaci di modificarle né di contribuire all'evoluzione delle strutture cognitive. Conoscenze scientifiche e conoscenze spontanee si strutturano così in due mondi totalmente separati: le prime finiscono così per essere necessarie soltanto durante le ore di scienze per andare bene a scuola, le seconde continuano invece ad essere gli unici strumenti utilizzati per interpretare la realtà.

Mentre condividiamo totalmente questa analisi, siamo più cauti quando si passa a prospettare le soluzioni pedagogiche. Si afferma, infatti, in generale che occorre contemporaneamente tener conto maggiormente delle concezioni spontanee degli studenti e attuare un avvicinamento più graduale alle conoscenze formali. E fin qui nulla da eccepire, concordiamo completamente; i problemi, tuttavia, sorgono quando si passa all'attuazione di queste due indicazioni; ci sembra infatti che in molti casi vi sia uno sbilanciamento della prima indicazione. Cerchiamo di spiegarci meglio: ci sembra che molti esperti di didattica, nonostante condividano il principio di un approccio più graduale alle conoscenze formalizzate e siano quindi disposti a rimandare l'apprendimento dei concetti più "duri" della scienza, continuano, tuttavia, a pensare che molti altri concetti specialistici siano accessibili già nella scuola elementare e sicuramente nella scuola media, a condizione che essi siano insegnati non in modo trasmissivo, a condizione di farli interagire con le concezioni spontanee degli studenti, con le loro ipotesi.

Sono emblematiche di questa proposta pedagogica le seguenti considerazioni della Driver: "L'insegnamento deve collegarsi a ciò che è familiare ai bambini non solo riguardo all'ambito degli eventi e delle esperienze ma anche riguardo a quello delle loro idee. Se li si incoraggia ad esplicitare maggiormente le loro teorie, queste possono essere indagate e verificate in classe senza ostacoli. In effetti le idee personali dei bambini possono fornire la materia grezza necessaria per esemplificare la natura pluralistica della teoria scientifica, e funzionare come punto di partenza per gli alunni nella progettazione di prove cruciali allo scopo di cogliere in che cosa si diversificano interpretazioni differenti"(30). Con questa proposta non concordiamo, come abbiamo già argomentato quando abbiamo posto una distinzione precisa tra i concetti scientifici adatti alla scuola di base e quelli adeguati alla secondaria superiore. Pensiamo infatti che i concetti della struttura specialistica delle discipline possano essere affrontati nella scuola

secondaria, perché, altrimenti si finisce, al di là delle intenzioni, nel ricadere in una didattica trasmissiva (31).

Ci rendiamo perfettamente conto della discutibilità di queste nostre considerazioni: sulla base delle argomentazioni che siamo venuti costruendo in questo lavoro e rifacendoci indubbiamente all'analisi piagetiana del pensiero del fanciullo, riteniamo che nella scuola elementare l'approccio debba essere soltanto operativo. Per lo studente della scuola media la situazione è più problematica, ma pensiamo che la fascia di età compresa tra 11 e 14 anni sia tutt'altro che quella delle operazioni formali. D'altra parte, come abbiamo già sottolineato, questo è proprio uno degli aspetti più criticati della teoria piagetiana, ed è uno degli aspetti che Piaget stesso ha rivisto negli ultimi anni. Vi è poi in Italia, rispetto agli USA ed all'Inghilterra una specificità tutt'altro che irrilevante: l'insegnamento scientifico ha una presenza nel curriculum della scuola di base molto minore; le ore a disposizione sia nella scuola elementare che nella scuola media sono soltanto mediamente due ore alla settimana, due ore per affrontare problematiche connesse ad ambiti fenomenologici molto diversi, quali quelli della chimica, della fisica, della biologia, ecc. Non capiamo infine questa brama di specialismo precoce tenendo conto che lo spazio orario a disposizione è ben poca cosa rispetto alla quantità di conoscenze operative e fenomenologiche scientifiche esistenti.

12. Una proposta metodologica per la scuola di base

Abbiamo già in più occasioni indicato che cosa intendiamo per impostazione fenomenologica. In questo lavoro abbiamo anche evidenziato le discrasie esistenti tra i manuali – e i sussidiari – e gli innovativi programmi di educazione scientifica della scuola elementare e media (Fiorentini, 1999). Facendo riferimento a queste riflessioni, ci proponiamo ora di approfondire alcuni aspetti. Preliminarmente una questione terminologica, tutt'altro che marginale. Per indicare l'impostazione dell'educazione scientifica adeguata alla scuola di base ci sembra più appropriato parlare di *impostazione fenomenologico-operativa*, fenomenologica in relazione al contenuto, e operativa in riferimento alla metodologia didattica.

Abbiamo già indicato precedentemente in alcuni fenomeni scientifici l'oggetto dell'insegnamento. Il fatto di aver escluso dalla scuola di base anche i concetti più elementari della struttura delle discipline dovrebbe già rappresentare un'indicazione chiara; tuttavia, ci rendiamo conto che il campo rimane molto vasto ed ambiguo in quanto i fenomeni che potrebbero essere proposti potrebbero essere i più disparati in relazione alla loro accessibilità cognitiva ed alla loro significatività. La riflessione epistemologica ha anche da molto tempo sottolineato la teoreticità dei fatti sperimentali, l'intreccio costante, cioè, che si realizza nello sviluppo scientifico tra teorie ed osservazioni sperimentali.

Si apre qui un ambito fondamentale di ricerca e sperimentazione didattica, dove è necessario che si confrontino diverse ipotesi curriculari in relazione alla individuazione delle fenomenologie più significative che siano indipendenti dalla struttura specialistica delle discipline, ed alla loro collocazione più adeguata nel curriculum della scuola dai 6 ai 14 anni, tenendo conto sia della loro elementarietà psicologica che di eventuali relazioni di propedeuticità.

Questa ricerca, come abbiamo già altrove argomentato, è contemporaneamente ardua e fondamentale. È ardua perché si situa sul terreno della complessità: l'individuazione delle problematiche più adeguate alle varie età presuppone un'attività di ricerca e sperimentazione sui saperi disciplinari – o pluridisciplinari – di tipo interdisciplinare con l'utilizzo delle competenze scientifiche, di quelle storico-epistemologiche e di quelle delle scienze dell'educazione. Questa ricerca è fondamentale, perché sono essenzialmente le scelte curriculari che possono realizzare e verificare l'adeguatezza educativa di finalità e principi pedagogico-metodologici generali, che possono, in altre parole, permettere l'incontro sinergico tra due mondi tradizionalmente disgiunti, quello delle conoscenze disciplinari e quello della pedagogia.

Nel caso dell'insegnamento scientifico, vi è stato spesso, in relazione al metodo, sovrapposizione e confusione tra il significato didattico e quello scientifico specialistico. Abbiamo scelto non casualmente il termine fenomenologico piuttosto che sperimentale. Nei decenni passati, infatti, proprio le proposte innovative hanno prospettato metodologie sperimentali in contrapposizione all'insegnamento tradizionale, identificando la portata innovativa delle scienze nel così detto *metodo sperimentale*. In questo modo, queste proposte sono generalmente

rimaste nello stesso orizzonte epistemologico dell'insegnamento libresco che criticavano, arrivando conseguentemente a fare proposte didattiche improntate spesso al totale pressapochismo, purché fossero sperimentali. Inoltre, anche ammettendo che il metodo sperimentale abbia il ruolo che loro gli attribuiscono, gli attivisti e gli sperimentalisti ingenui compiono un errore categoriale, in quanto traducono senza mediazioni in metodologia pedagogico-didattica una metodologia della disciplina specialistica, ricadendo così nello stesso errore, seppure sul lato opposto, dell'insegnamento enciclopedico tradizionale, in un atteggiamento adultistico.

Le metodologie didattiche trovano, invece, la loro fondazione innanzitutto all'interno della riflessione pedagogica, e più in generale delle scienze dell'educazione. Nel nostro caso, quello delle scienze sperimentali nella scuola di base, il riferimento pedagogico-metodologico fondamentale è costituito dal costruttivismo (Boscolo, 1986), movimento che, da una, parte è il prodotto della ricerca psicopedagogica più recente, e dall'altra, rappresenta anche la sintesi delle riflessioni dei psicopedagogisti più significativi di questo secolo, quali Dewey, Piaget, Vygotskij e Bruner (Calvani, 1998).

Per il costruttivismo l'apprendimento si può realizzare se lo studente è posto al centro del processo di costruzione della sua conoscenza, se lo studente è attivo sul piano cognitivo e se il processo di insegnamento-apprendimento tiene conto delle complesse dinamiche relazionali che possono facilitare o ostacolare la costruzione della conoscenza. Il costruttivismo ha rielaborato, realizzandone una sintesi felice, i punti di forza del contributo pedagogico di quei grandi pensatori, e lasciando invece cadere gli aspetti più effimeri.

Il costruttivismo costituisce il quadro pedagogico-metodologico generale entro cui si sviluppa la nostra proposta metodologica per l'insegnamento scientifico, di tipo fenomenologico-operativo. Alla luce delle precedenti considerazioni, *operativo* sta a significare sostanzialmente un'operatività cognitiva e non un'attività manuale (Ferreiro, Teberosky, 1979): la metodologia didattica deve sviluppare quanto è più possibile le condizioni che permettano a ciascun studente di costruire la conoscenza, e non tanto di poter effettuare in prima persona il maggior numero possibile di esperimenti. Lo sperimentalismo e l'attivismo hanno invece sempre accentuato questo secondo aspetto, ed hanno così anche per questo motivo determinato la loro marginalità educativa, non riuscendo minimamente a tradurre in proposta didattica plausibile la presunta centralità del metodo sperimentale della ricerca scientifica specialistica.

La riflessione e la sperimentazione, che stiamo conducendo da molti anni, ci hanno portato a prospettare un modello metodologico per l'educazione scientifica nella scuola di base, che non va assunto come un dogma, ma appunto come un modello che deve essere adattato costantemente sia all'oggetto della conoscenza che alle condizioni reali della costruzione della conoscenza. Questo modello, che si articola in cinque fasi, nella sua indicatività, permette di evidenziare le condizioni complesse del processo di concettualizzazione.

- 1) La prima fase è generalmente quella della sperimentazione-osservazione. Riteniamo che nella scuola di base, come abbiamo più volte indicato, l'impostazione debba essere fenomenologica. Da ciò ne consegue che ogni percorso didattico significativo debba svilupparsi sulla base di fenomenologie che si sperimentino e/o osservino, e non che vengano, invece, raccontate o descritte dal libro o dall'insegnante (Dewey, 1933).
- 2) La seconda fase è quella della verbalizzazione scritta individuale. Effettuare e/o guardare delle esperienze può rappresentare, di per sé un'attività più o meno ludica, ma non realizza la costruzione della conoscenza, o usando un'altra terminologia, il processo della concettualizzazione (Dewey, 1933). Ciò che dei fenomeni deve principalmente interessare, al di là del primo momento, quello dello stupore, non è il loro aspetto estetico, magico, ma la loro logica fenomenologica, la rete di connessioni che può essere costruita. Ciò non è nella immediatezza dell'esperienza, ma nella riflessione sull'esperienza, che non può essere realizzata che per mezzo della mediazione del linguaggio. E' soltanto il linguaggio che permette l'effettuazione di quelle attività cognitive – descrivere, rappresentare, individuare differenze e somiglianze, individuare relazioni e connessioni causali, classificare e definire – che possono produrre consapevolezza delle relazioni significative che caratterizzano una determinata fenomenologia (che permettono quindi di

concettualizzarla). Ed è in particolare il linguaggio scritto che ha queste caratteristiche, ed a maggior ragione in classi che sono costituite da 20 e più bambini.

Prevediamo che questa centralità del linguaggio scritto possa suscitare molte perplessità sia di tipo teorico (prima l'oralità) che di tipo pratico (i bambini non vogliono scrivere, si annoiano). Il linguaggio scritto a cui facciamo riferimento deve essere il più libero possibile dagli impacci della forma, deve essere pensiero direttamente in azione. Ciò che deve interessare è la sua adeguatezza cognitiva. Se la consegna fosse, ad esempio, la descrizione di un fenomeno, l'adeguatezza consisterebbe nell'evidenziazione degli aspetti significativi, collocati nella loro successione spaziale e temporale. Tuttavia, pur avendo messo da parte la correttezza linguistica, pensiamo che non sia semplice per la maggioranza degli studenti, non abituati ad osservare la realtà (non solo in ambito scolastico), fornire una descrizione adeguata di fenomeni benché elementari. E' proprio in questo caso, ancora più importante, che tutti gli studenti siano impegnati nell'iniziare, con la descrizione, a dare un ordine alla porzione di mondo che si sta indagando. Ed è fondamentale che ogni studente sia, sulla base delle proprie strutture cognitive, impegnato nel tentativo. L'obiettivo della seconda fase non è, infatti, la concettualizzazione adeguata; è, invece, quello di far sì che tutti gli studenti inizino il processo di concettualizzazione.

Rispetto alle perplessità del secondo tipo, e cioè che agli studenti non piacerebbe scrivere, la sperimentazione effettuata nel corso di molti anni ci ha fatto cogliere una realtà più complessa. In molti casi abbiamo constatato il coinvolgimento degli studenti anche nelle attività di scrittura perché ne hanno interiorizzato, nel corso del tempo, la motivazione cognitiva (avevano compreso che gli era essenziale per capire). In alcuni casi, è stata evidenziata, insieme all'utilità cognitiva, anche la fatica; ad esempio i ragazzi di una terza media, alla fine dell'anno scolastico, commentarono nei seguenti termini l'attività effettuata per la prima volta con la nuova metodologia: lavorare in questo modo a scuola è molto più faticoso, ma ci piace molto di più perché ci sentiamo coinvolti e ci permette di capire effettivamente i vari argomenti.

L'insegnante deve gestire la seconda fase con molta competenza ed intelligenza. In realtà ciò vale per tutte le fasi, per la conduzione di tutta l'attività. Con metodologie costruttiviste il ruolo dell'insegnante cambia radicalmente: non trasmette più conoscenze, ma è il regista del processo di costruzione della conoscenza. E questo è un ruolo molto più complesso perché presuppone grandi competenze epistemologiche sui materiali con cui deve essere costruita la conoscenza e grande competenza psicologica-pedagogica-relazionale per coinvolgere consapevolmente tutti gli studenti nel processo.

Le consegne devono infatti essere non ambigue ed essenziali rispetto agli obiettivi che si vuole perseguire. Ad esempio, siamo stati per molto tempo in un atteggiamento di rifiuto aprioristico nei confronti dell'utilizzo di griglie di osservazione e tabelle di registrazione, in quanto pensiamo che l'utilizzo non meditato di questi strumenti non permetta agli studenti di sviluppare, con i tempi necessari, le proprie capacità osservative e di costruire consapevolmente le proprie conoscenze; ciò che deve essere osservato è già nello strumento proposto dall'insegnante, mentre l'attività dello studente consiste nel mettere passivamente crocette. Successivamente, la riflessione intorno a problemi emersi durante la sperimentazione ci ha portati a modificare la nostra posizione quando è necessario confrontare contemporaneamente più di 2-3 esperimenti. E' in questi casi un compito troppo impegnativo per lo studente riuscire ad individuare, confrontando la descrizione degli esperimenti, le somiglianze che permettono di classificare e definire. Prendiamo come esempio il percorso delle soluzioni, da noi proposto all'inizio del secondo ciclo della scuola elementare: occorre effettuare un certo numero (6-7) di esperimenti di mescolamento di materiali (quali sale, zucchero, solfato di rame, polvere di marmo, ecc.) con acqua. Effettuati i primi esperimenti (2-3) con le relative descrizioni di come appare l'insieme dopo mescolamento, prima di procedere con gli altri, riteniamo indispensabile l'introduzione di una tabella a doppia entrata, che riporti in verticale l'elenco dei materiali ed in orizzontale le varie caratteristiche che si osservano dopo il mescolamento. Successivamente, quando si fanno gli altri esperimenti, si chiede ai bambini di non effettuare più le descrizioni, ma di segnare con crocette le proprietà osservate. Con questo strumento, che viene introdotto dopo una fase di osservazione libera, il confronto tra gli esperimenti diventa molto più

semplice. Inoltre, la tabella va fornita ai bambini già "belle e pronta" o deve essere da loro costruita? La sperimentazione che abbiamo effettuato ci ha mostrato che per la maggioranza dei bambini è una impresa troppo ardua la costruzione della tabella, nonostante che tabelle a doppia entrata siano spesso utilizzate dai bambini fin dal primo ciclo. Ma una cosa è limitarsi ad impiegare una tabella, altra cosa è comunque tentare di costruirla: questa seconda attività presuppone la presa di coscienza della funzione di un tale strumento, e sviluppa una maggiore consapevolezza nel suo impiego. Riteniamo conseguentemente che vada proposto ai bambini la costruzione della tabella, di trovare, cioè, una qualche soluzione che permetta in modo più evidente, più schematico, il confronto tra le miscele, pur nella consapevolezza che in questo caso l'intervento dell'insegnante dovrà essere più decisivo.

Infine, in determinati casi, il linguaggio principale per rappresentare la realtà potrà essere costituito da un disegno o da uno schema grafico. Ad esempio, nella osservazione di piante, il disegno ha un ruolo cognitivo fondamentale; la sola descrizione verbale di tali oggetti rischia, infatti, di far perdere di vista ciò cui si riferisce, e di essere quindi senza significato.

3) 4) La terza fase è quella della discussione collettiva, del confronto; la quarta fase è quella dell'affinamento della concettualizzazione. La terza fase è quella più consolidata sia sul piano teorico che sul quello pratico. Indubbiamente, infatti, questa fase è impiegata da molti insegnanti elementari, anche se raramente con piena padronanza epistemologica e tecnica della metodologia. Nel dibattito teorico italiano, rilevanti sono i contributi forniti da Clotilde Pontecorvo nell'evidenziare, rifacendosi al cognitivismo americano di ispirazione vygotskiana, il grande significato motivazionale, cognitivo e comportamentale del confronto e della discussione in classe (Pontecorvo, Ajello, Zucchermaglio, 1991). Non abbiamo nulla da aggiungere a queste riflessioni nei loro aspetti generali di proposta pedagogico-metodologica adatta a tutti gli ambiti disciplinari. L'unica considerazione che riteniamo necessario sviluppare è in riferimento all'educazione scientifica: la terza fase ha, anche a nostro parere grande importanza, ma non di per sé, e solo nella misura in cui è connessa alle prime due, solo in quanto, cioè, contribuisce in modo determinante con l'intervento dei pari all'affinamento, con correzioni e completamenti, della costruzione della conoscenza che ciascun studente ha già realizzato.

Abbiamo preferito aggiungere una quarta fase, nonostante che l'affinamento della conoscenza si realizzi essenzialmente nella terza, perché c'è bisogno anche di un momento in cui ciascun bambino corregga, modifichi e integri, alla luce della discussione collettiva, la sua precedente concettualizzazione.

5) Anche la quinta fase, infine, quella della sintesi collettiva, è strettamente connessa alla terza, ma abbiamo ritenuto recentemente necessario evidenziarla per la seguente motivazione: l'insegnante alla fine dell'attività, utilizzando tutto il materiale prodotto e condiviso dagli studenti, ne realizza una sintesi scritta graficamente chiara e linguisticamente corretta, che deve poi essere fotocopiata per tutti i bambini e incollata nel loro quaderno. Ci siamo convinti di questa necessità, perché, da una parte, le modalità con cui i bambini realizzano l'affinamento della concettualizzazione sono troppo diversificate, anche nella chiarezza grafica, e perché dall'altra, è necessario che il quaderno, che rappresenta il resoconto del processo di costruzione della conoscenza, contenga anche delle sintesi di questo processo comuni a tutti gli studenti.

Se le cinque fasi del modello metodologico proposto sono tutte necessarie e tra loro strettamente interdipendenti, indubbiamente quelle più innovative sono, a nostro parere, la seconda e la quarta, quelle, cioè, che postulano, all'interno di un processo di costruzione della conoscenza scientifica caratterizzato significativamente dalle dimensioni fenomenologica, sociale e relazionale, anche delle attività cognitivo-linguistiche individuali. Infatti se queste due fasi fossero saltate, l'attività procederebbe indubbiamente in modo molto più spedito e sarebbe quindi possibile affrontare molte più problematiche, ma la concettualizzazione non sarebbe generalmente realizzata da nessun bambino; la sintesi collettiva sarebbe in questo caso

effettuata, non solo graficamente, soltanto dall'insegnante che la realizzerebbe componendo in una struttura organica le impressioni atomiche esplicitate ora dall'uno ed ora dall'altro studente. Prendendo ancora, ad esempio, la descrizione di un esperimento, la concettualizzazione non consiste nell'indicare qualche aspetto disorganico del fenomeno, ma nel coglierne gli aspetti significativi nella loro successione spaziale e temporale; la concettualizzazione non consiste, cioè, in un'elencazione atomica di aspetti percettivi, ma nella loro concatenazione in una trama narrativa.

13. Bibliografia

- 1) P. Bozzi, *Fisica ingenua*, Garzanti, Milano, 1990, pp. 25, 56-59.
- 2) K. R. Popper, *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna, 1972, pp. 362-363.
- 3) D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Angeli, Milano, 1983, pp. 452, 453, 454, 470.
- 4) J. J. Schwab, P. F. Brandwein, *L'insegnamento della scienza*, Armando, Roma, 1965, p.50
- 5) In relazione al diverso punto di vista dello specialista e dello psicologo Wertheimer afferma: "La tecnica degli assiomi è uno strumento molto utile, è una delle tecniche più efficienti inventate fino ad ora nella logica e nella matematica: poche proposizioni generali forniscono tutto il necessario per derivare i dettagli. Si può trattare con una gigantesca massa di fatti, con un numero enorme di proposizioni, sostituendo ad esse poche espressioni che dal punto di vista formale sono corrispondenti a tutta quella conoscenza di fatti. Alcune grandi scoperte nel campo della matematica moderna sono state possibili soltanto per il fatto che era disponibile questa tecnica che permette una semplificazione estrema... Ma, per ripetere, il problema per lo psicologo è: questi assiomi vennero introdotti prima che si scorgessero le esigenze di struttura, che i cambiamenti strutturali della situazione fossero stati scorti? Non fu proprio il contrario? Certamente il pensiero di Einstein non mise insieme assiomi già fatti o formule matematiche: gli assiomi non furono l'inizio, ma il risultato di quello che stava accadendo. (M. Wertheimer, *Il pensiero produttivo*, Giunti Barbera, Firenze, 1965, p.244.)
- 6) J.J. Schwab, op. cit. p., 75.
- 7) G. Holton, *Scienza educazione e interesse pubblico*, Il Mulino, Bologna, 1990, pp. 50, 22-23.
- 8) W. Kholer, *Il posto del valore in un mondo di fatti*, Giunti Barbera, Firenze, 1969, pp. 130-131.
- 9) ibidem, pp. 136-137.
- 10) ibidem, pp. 131, 137.
- 11) In realtà sul piano filosofico è antica l'idea che la materia sia fatta di elementi e di sostanze composte; basta pensare alla teoria dei quattro elementi aristotelici, acqua, terra, fuoco ed aria, che fu scartata come teoria scientifica soltanto quando Lavoisier fu in grado di mostrare che l'acqua, la terra e l'aria non erano elementi. La definizione lavoisieriana di elemento è molto simile a quella aristotelica sul piano formale, ma totalmente diversa concettualmente.
- 12) A. Lavoisier, *Oeuvres*, Imprimerie Impériale, Paris, 1862, II, p. 248.
- 13) La rivoluzione chimica lavoisieriana costituiva una confutazione totale della teoria del flogisto che durante il Settecento era stata considerata una grande teoria scientifica, capace di spiegare molti fenomeni chimici. Questa teoria aveva compreso che combustione e calcinazione dei metalli sono due fenomeni chimici simili nonostante la diversa apparenza fenomenica, ma era arrivata a questa importante conoscenza sulla base di una spiegazione sbagliata: la teoria del flogisto affermava infatti che in ambedue i fenomeni vi era, invece che combinazione con aria, emissione di flogisto. Furono necessari 20 anni per l'affermazione della teoria lavoisieriana; molti chimici affermati non l'accettarono mai; è emblematico il caso del grande chimico sperimentalista Priestley che fino alla morte considerò vera la teoria del flogisto, nonostante che fosse stato lui ad effettuare per primo molti esperimenti che vennero poi utilizzati da Lavoisier per confermare ed approfondire la sua teoria. I chimici ormai affermati dovevano effettuare una specie di conversione: erano in gioco due visioni del mondo totalmente opposte. Sono rivelatrici di queste immani difficoltà epistemologiche e psicologiche le seguenti considerazioni che il grande chimico francese Macquer effettuò nella seconda edizione del suo "Dizionario di chimica" nel 1778: "Se ciò fosse vero, verrebbe distrutta tutta la teoria del flogisto, cioè del fuoco combinato. A tal idea non ha però almeno finora accosentito questo valente fisico (Lavoisier), e sopra un punto così delicato vuole ancora sospendere il suo giudizio. Questa cautela è certamente lodevole, essendo appunto quella, che forma il carattere d'un vero chimico, di cui fregiati non sono que' fisici, i quali non conoscendo il pregio di questa bella scienza, si credono capaci di realmente rovesciarla, e colla scorta d'un solo fatto, che essi suppongono bastantemente comprovato, presumono di oscurare in un momento tutto lo splendore di una delle più grandi teorie, a cui siasi innalzato il genio della chimica: d'una teoria appoggiata ad un numero sorprendente di convincenti esperienze, alla forza delle quali non possono resistere neppure i talenti più illuminati".
- 14) J. Dewey, *Come pensiamo*, La Nuova Italia, Firenze, 1961, pp. 65-66.

15) Questa terminologia efficace la si deve a Bruner.

16) Piaget, che è stato negli ultimi decenni criticato per la sottovalutazione del ruolo del linguaggio, nella sua autobiografia fa questa affermazione rivelatrice: "Scrivevo anche se soltanto per me, poiché non potevo pensare senza scrivere - ma la cosa doveva avvenire in modo sistematico, come se si trattasse di un articolo destinato alla pubblicazione". (A.A.V.V., *Jean Piaget e le scienze sociali*, La Nuova Italia, Firenze, 1973, p. 149)

17) J. Dewey, *Come Pensiamo*, op. cit., p. 333. Questo passo non può essere interpretato in modo attivistico, come a volte hanno fatto sia gli attivisti che i critici dell'attivismo. Questo passo è immediatamente preceduto dalle seguenti considerazioni: "Preso alla lettera, la massima 'insegna le cose, non le parole' o 'insegna cose prima che parole' sarebbe la negazione stessa dell'educazione; ridurrebbe la vita mentale a semplici adattamenti fisici e sensoriali. Imparare, in senso rigoroso, non significa imparare cose, ma i *significati* delle cose, e questo processo implica l'uso di segni o del linguaggio nel suo senso generico. Parimenti, l'avversione contro i simboli di alcuni riformatori dell'educazione, se spinta agli estremi, implicherebbe la distruzione della vita intellettuale, dato che questa vive, si muove, ed ha la sua stessa possibilità di esistenza in quei processi di definizione, astrazione, generalizzazione e classificazione che solo i simboli rendono possibili".

18) L'importanza della dimensione linguistica in tutti gli ambiti disciplinari rappresenta indubbiamente un'antica consapevolezza dei linguisti, consapevolezza che è riuscita a farsi strada, però purtroppo in generale soltanto come petizione di principio, sia nei programmi della scuola media del 1979 che in quelli della scuola elementare del 1985. Noi pensiamo che la dimensione linguistica sia essenziale per un'educazione scientifica adeguata, ma riteniamo anche che l'utilizzo del linguaggio, come da noi indicato nell'ambito dell'insegnamento scientifico, sia un fattore importante per lo sviluppo della competenza linguistica in generale. Boscolo ha riportato le interessanti conclusioni cui sono pervenuti alcuni ricercatori, quali C. Bereiter e M. Scardamalia, sulle abilità di scrittura dei bambini della scuola elementare: "i bambini userebbero in sostanza la strategia del "dire ciò che fanno" senza preoccuparsi di una progettazione complessiva"; "la ricerca sui processi di scrittura ha confermato quanto gli insegnanti già sapevano per esperienza diretta, e cioè che i soggetti più giovani e inesperti sono di regola cattivi revisori dei testi da loro prodotti, attenendosi nella quasi totalità dei casi a correzioni superficiali di ortografia in relazione a settori limitati del testo (P. Boscolo, *Psicologia dell'apprendimento scolastico*, UTET, Torino, 1986, pp. 154, 155). A nostro parere, l'attività di scrittura che abbiamo precedentemente tratteggiata nel contesto dell'educazione scientifica potrebbe efficacemente contribuire a sviluppare nello studente sia la capacità di progettazione che di revisione, in quanto l'oggetto del discorso risulta, grazie al contesto sperimentale, stimolante e cognitivamente controllabile, adeguato, cioè, sia sul piano motivazionale che intellettuale.

19) Pensiamo infatti che l'attività diretta da parte del bambino sia importante sia dal punto di vista motivazionale che cognitivo. Anche Bruner, che pur ha polemizzato con Piaget per la sottovalutazione della dimensione linguistica, ha riconosciuto l'importanza cognitiva dell'attività del bambino.

20) Nella scelta degli esperimenti da fare collettivamente un aspetto da prendere in considerazione è anche evidentemente quello legato a questioni di sicurezza.

21) J. Piaget, *Prefazione a Piaget in classe*, di M. Schwebel, J. Raph, Loescher, Torino, 1977, pp. 15-16.

22) E. Ferreiro, A. Teberosky, *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Giunti, Firenze, 1985, p.25.

23) Fanno parte di queste conoscenze di base indubbiamente la capacità di individuare, descrivere, definire, ecc. fenomeni e classi. Abbiamo precedentemente riferito gli obiettivi dell'attività didattica generalmente ai fenomeni, ma considerazioni dello stesso tipo avremmo potuto svilupparle per le attività di classificazione. Infatti l'attività di classificazione, come magistralmente hanno mostrato sia Piaget che Vygotskij, è tutt'altro che un'attività spontanea, di senso comune: molto spesso, infatti, gli studenti della scuola di base, ma anche molti adulti, non possiedono classi, ma complessi, pseudoconcetti o collezioni non figurative.

24) L. Tornatore, *Educazione e indagine in Dewey*, in C. Vasoli, L. Tornatore, R. Maragliano, G. Mosconi, L. Lumbelli, *Educazione alla ricerca e trasmissione del sapere*, Loescher, Torino, 1981, p.. 97-98, 123.

25) Alla conferenza di Woods Hole, ad esempio, erano presenti "circa 35 scienziati, uomini di cultura e pedagogisti"; non era presente nessun epistemologo e nessun storico della scienza (J. Bruner, *Dopo Dewey*, op. cit., pp. 21-22).

26) L. Tornatore, *Educazione e conoscenza*, Loescher, Torino, 1974, p. 262.

27) Che il corpo umano come argomento non possa essere espunto dalla scuola elementare lo possiamo capire proprio per le componenti affettivo-motivazionali che la specie uomo ha nei propri confronti. Ma comprenderne il funzionamento è un po' più complesso, a meno che si pensi che le parole o le immagini di per sé permettano l'accesso ai significati; sono necessarie infatti conoscenze specialistiche di chimica fisica e biologia. Il corpo umano come usualmente è trattato nella scuola elementare è proprio in totale contraddizione con tutte le indicazioni che abbiamo tratteggiato nelle pagine precedenti e con le metodologie che generalmente i maestri stessi utilizzano nel primo ciclo in riferimento a fenomenologie di carattere biologico. Abbiamo cercato una spiegazione di questa contraddizione: l'unica che abbiamo trovato, in aggiunta alle componenti affettive già indicate, è la persistenza della tradizione. Abbiamo casualmente consultato i programmi della scuola elementare dall'Unità d'Italia in poi; uno dei pochi argomenti di scienze, presente in modo significativo anche nei programmi di 100 e più anni fa, è il corpo umano, con obiettivi essenzialmente di educazione sanitaria. Ora, se da un punto di vista cognitivo si possono criticare anche quei programmi, essi possono essere invece compresi da un punto di vista educativo più generale, in una situazione politico-sociale in cui alcuni anni di scuola elementare erano l'unica scuola per la quasi totalità dei cittadini. Oggi, invece, quelle scelte non sono più giustificabili, quando la scuola è obbligatoria fino a 14 anni e la maggior parte degli studenti prosegue fino al biennio della scuola superiore.

28) "Vi sono due specie di apprendimento. Le connessioni che si stabiliscono con la tecnica del riflesso condizionato, o col ripetere più e più volte gli stessi contenuti o le stesse risposte, come in tutti gli esercizi meccanici, sono caratteristiche di una delle due specie. Tracciamo quindi una linea divisoria ben marcata. Dall'altra parte troviamo processi di apprendimento che si descrivono come "percezione di relazioni", "comprensione di un procedimento", "penetrazione di una situazione" (...) Sul lato in cui abbiamo messo l'insieme delle connessioni possiamo scrivere la dicitura "apprendimento cieco", e sull'altro, dove il risultato può essere chiamato comprensione, la dicitura "apprendimento intelligente". (G. Katona, *Memoria e organizzazione*, Giunti Barbera, Firenze, 1972, p. 3)

29) Una pubblicazione che contiene molti contributi significativi sulle conoscenze scientifiche degli studenti è: N. Grimellini Tomasini, G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, La Nuova Italia, Firenze, 1991.

30) R. Driver, *L'allievo come scienziato*, Zanichelli, Bologna, 1988, p. 75.

31) Ci sembrano emblematiche a questo proposito queste affermazioni della Driver: "Se vogliamo che i ragazzi sviluppino una certa comprensione dei concetti e dei principi scientifici convenzionali dobbiamo fornire loro qualcosa di più delle semplici esperienze pratiche. I modelli teoretici e le convenzioni scientifiche non saranno "scoperti" dai ragazzi mediante la loro attività pratica. Essi devono essere presentati. E' perciò necessaria una guida per aiutare i **bambini** a incorporare le loro esperienze pratiche in quello che costituisce presumibilmente un nuovo modo di pensare riguardo ad esse" (R. Driver, *ibidem*, p.14). La maggior parte di queste affermazioni, in generale, non possono che essere condivise; ciò su cui dissentiamo totalmente è che il soggetto cui ci si riferisce possa essere il bambino.