

# La riflessione epistemologica

## Aspetto ineludibile dell'apprendimento delle scienze

EZIO ROLETTA, ALBERTO REGIS

### Introduzione

Quanti si interessano dell'educazione alle scienze degli allievi della scuola secondaria sono da tempo consapevoli che l'insegnamento dovrebbe mirare a un apprendimento "significativo", inteso come acquisizione e comprensione di significati, ossia di concetti; tale apprendimento viene contrapposto a quello "meccanico", inteso come acquisizione mnemonica di nozioni enciclopediche e frammentarie. In particolare, si sostiene che si dovrebbero insegnare i concetti strutturanti, puntando alla "comprensione concettuale" delle idee più importanti delle scienze (come causa ed effetto, struttura e funzione, rapporti di scala, cicli, ecc.) in base all'assunto che su queste si deve fondare l'educazione alla scienza. Si ritiene infatti che tali idee trascendano le singole discipline e costituiscano traguardi educativi di gran lunga superiori alla conoscenza dei fatti, ovvero dei fenomeni e delle situazioni che vengono studiati dalle scienze. D'altra parte, le linee guida del settore tecnico e professionale dell'istruzione sono fondate sull'idea di competenza, intesa come la «comprovata capacità di usare conoscenze, abilità e capacità personali, sociali e/o metodologiche, in situazioni di lavoro o di studio e nello sviluppo professionale e/o personale; la competenza implica responsabilità e autonomia». Una persona competente dovrebbe essere in grado di "attivare" le risorse personali (cognitive, metacognitive, affettive e sociali) in una determinata situazione; quindi la competenza si riferisce all'organizzazione dei saperi posseduti da un soggetto in un sistema funzionale e comporta sempre delle conoscenze pratiche fondate su saperi più o meno complessi. Forse implicitamente, dato che la competenza implica un rapporto con l'agire, chi si è occupato dell'insegnamento liceale ha ritenuto che la didattica per competenze sia adatta alla formazione tecnica e professionale, ma poco consona alla formazione generale. Per quanto riguarda il settore delle scienze della natura, si sostiene che i saperi scientifici hanno soprattutto una dimensione concettuale, mentre le competenze avrebbero soprattutto una dimensione operativa. Le varie posizioni sembrano inficiate da una confusione di fondo, conseguenza dell'incapacità di cogliere la relazione dinamica esistente fra contenuti di conoscenza delle singole discipline e processi cognitivi. Una persona è educata, ossia colta (competente) dal punto di vista scientifico, quando:

- Possiede le conoscenze scientifiche di base.

- È in grado di analizzare le situazioni, di stabilire relazioni, di leggere criticamente le informazioni, di porre interrogativi pertinenti, di individuare problemi, di proporre soluzioni, di produrre evidenze empiriche adeguate per mostrare la validità delle proprie idee.

Sono competenze la cui maturazione richiede l'integrazione di due componenti: una base consistente di saperi formalizzati e una dose notevole di conoscenze (anche pratiche) acquisite «in situazione», ossia funzionali. Le idee portanti di una disciplina sono gli strumenti teorici mediante i quali gli scienziati costruiscono una rappresentazione coerente della realtà; in ultima analisi esse costituiscono le "lenti" attraverso le quali gli scienziati "vedono" la realtà. Tali strumenti, come mostra la storia delle scienze della natura, sono sempre stati prodotti in stretta relazione con l'acquisizione di dati empirici e con la loro interpretazione, e sono il risultato di processi complessi che mettono in relazione elementi molto eterogenei.

È indiscutibile che le conoscenze puntuali di fatti, fenomeni e situazioni, servono a ben poco se l'allievo non è in grado di interpretarle avvalendosi di concetti o modelli adeguati; ma è altrettanto innegabile che un allievo è in grado di costruire sintesi che permettono di comprendere, cum-prendere (prendere insieme) riunire sotto un unico concetto o modello interpretativo, una grande varietà di conoscenze puntuali, soltanto se dispone di queste ultime. Si deve dunque integrare l'acquisizione di tali conoscenze con quella di competenze cognitive di alto livello (concettualizzazione, modellizzazione, risoluzione di problemi, modi di procedere scientifici) secondo una strategia didattica che, necessariamente, supera le modalità dell'insegnamento tradizionale. Si dovrebbero adottare didattiche i cui tratti caratteristici sono:

- Puntare ai saperi essenziali, rendendoli adeguati alle capacità cognitive degli allievi.

- Intendere la scienza come processo generatore di conoscenza e non come prodotto, ossia catalogo di conoscenze enciclopediche.

- Adottare strategie d'insegnamento innovative che rendano gli allievi protagonisti del proprio apprendimento. Per giovani che vivono continuamente a contatto con svariati stimoli culturali, un modello di apprendimento e insegnamento basato sulla ripetizione (imparare a ripetere definizioni e leggi), l'applicazione di algorit-

mi (essere capaci di applicare formule e risolvere esercizi), l'apprendimento di comportamenti (essere in grado di mettere in atto un protocollo sperimentale) si rivela del tutto inadeguato. È dunque necessario, affinché l'apprendimento sia efficace, accantonare l'idea che sia possibile fondare l'insegnamento sulla trasmissione di conoscenze enciclopediche e di fatti empirici e sulla "logica della restituzione", e orientarsi verso apprendimenti cognitivi di alto profilo.

La riflessione sull'educazione alle scienze delle giovani generazioni supera la dimensione scolastica per estendersi a quella sociale: si mira a permettere al maggior numero possibile di persone di assumere pienamente il ruolo di cittadini responsabili in una società avanzata dal punto di vista scientifico e tecnico. Questo richiede che l'istruzione scolastica miri fondamentalmente all'acculturazione scientifica degli individui, il che richiede lo sviluppo non solo delle conoscenze scientifiche, ma anche una concezione adeguata della scienza e dei procedimenti di produzione del sapere scientifico. Si ritiene (1) quindi che la comprensione della *natura della scienza* e della *strategia dell'indagine scientifica* sia, per le giovani generazioni, una componente essenziale dell'apprendimento delle scienze della natura.

Nell'insegnamento tradizionale si dedica ben poca attenzione a questi due aspetti della cultura scientifica; tale mancanza di interesse dipende probabilmente dal fatto che si pensa che essi appartengano al campo della speculazione filosofica e quindi non abbiano relazione alcuna con il sapere scientifico. Però le conoscenze sulla natura della scienza e sull'indagine scientifica appartengono alle conoscenze scientifiche alla stessa stregua dei concetti di pH, di equilibrio chimico, di gene, di cellula, ecc. In effetti, sono proprio le concezioni a proposito della natura della scienza e dell'indagine scientifica a fornire il contesto nel quale i contenuti disciplinari acquistano senso. Inoltre, è indispensabile che gli insegnanti possiedano una chiara comprensione di questi due argomenti per essere in grado di aiutare i propri allievi ad acquisirli.

In base a queste premesse, tre sono gli interrogativi da affrontare:

- a) Cosa si deve intendere per *natura della scienza* e per *indagine scientifica*?
- b) Quali interventi occorre prevedere per assicurare una formazione epistemologica adeguata degli insegnanti su questi temi?
- c) Come devono operare gli insegnanti per aiutare gli allievi della scuola secondaria a comprendere questi due aspetti critici e interrelati della scienza?

Il primo interrogativo rimanda all'epistemologia (da *episteme*: conoscenza e *logos*: discorso, ragionamento): una riflessione sulla scienza intesa come processo generatore di conoscenza. Il secondo e il terzo interro-

gativo si riferiscono invece alle pratiche didattiche degli insegnanti di scienze della natura e alla loro formazione, al fine di favorire lo sviluppo della cultura scientifica degli allievi. Purtroppo, le espressioni "natura della scienza" e "indagine scientifica" assumono significati diversi a seconda delle posture epistemologiche cui si fa riferimento. Dal punto di vista dell'insegnamento è quindi necessario che non esistano fraintendimenti su questi concetti e che la riflessione muova da una base condivisa di significati. In effetti, circolano parecchie concezioni alternative favorite o ignorate dagli addetti ai lavori (insegnanti, autori di libri di testo, redattori di programmi d'insegnamento, ecc.); ne segue che se non si presta la dovuta attenzione a questi due temi, gli allievi continueranno a imparare contenuti disciplinari avulsi da un contesto appropriato, per cui la loro motivazione, il loro piacere di apprendere e le loro concezioni della scienza e delle attività scientifiche risulteranno gravemente compromessi.

### La natura della scienza

Alcuni degli interrogativi che si pone l'epistemologia sono i seguenti:

- Cosa è la scienza?
- La scienza è oggettiva?
- Come si formano e si sviluppano i saperi scientifici?
- Come nascono le ipotesi scientifiche?
- Come distinguere la scienza dalla non-scienza e dalla pseudo-scienza?
- Quale relazione esiste tra scienza e realtà?
- Quale relazione esiste tra scienza e verità?

Sulle risposte a questi interrogativi non vi è consenso tra gli epistemologi, gli storici della scienza, gli scienziati, i sociologi e altre categorie di studiosi. Questa mancanza di consenso è del tutto comprensibile: l'impresa scientifica è molto complessa e può essere considerata da diversi punti di vista; inoltre, le concezioni della natura della scienza sono cambiate nel corso del tempo, essendo la riflessione sulla scienza in stretta connessione con l'evoluzione del sapere scientifico. Tuttavia, i punti di contrasto sulla natura della scienza hanno un'influenza irrilevante sull'insegnamento delle scienze nella scuola secondaria. Infatti, tutti gli studiosi sono d'accordo nell'ammettere che la scienza è un processo generatore di conoscenza il cui prodotto è il sapere scientifico (concetti, modelli, leggi, teorie), mediante il quale gli scienziati rappresentano il mondo per descriverlo, interpretarlo e prevederne i comportamenti. Inoltre, gli scienziati sono d'accordo nel ritenere che esistono due livelli di "realtà": la *realtà fenomenica* che risulta dalle nostre impressioni sensoriali e la *realtà ipotetica* che esiste al di là delle impressioni sensoriali e che serve per interpretare e spiegare oggetti e fenomeni.

Ammettere l'esistenza di una realtà ipotetica che sfugge ai nostri sensi significa accettare una concezione "rea-

lista” della scienza; tale concezione, e la conseguente distinzione tra mondo delle cose e dei fenomeni (realtà fenomenica) e mondo delle idee e delle entità scientifiche (realtà scientifica), è alla portata delle capacità cognitive degli allievi della scuola secondaria. Inoltre, a questa concezione della scienza sono legate alcune caratteristiche del sapere scientifico, ritenuto di natura congetturale, frutto di un rapporto dialettico fra esperienza empirica e teoria: i fatti empirici sono sempre descritti e interpretati mediante teorie e le teorie sono sempre tentativi di interpretare, spiegare e prevedere fatti empirici. Il sapere viene “costruito” dagli scienziati ai quali si richiede immaginazione e creatività per “inventare” le idee mediante le quali spiegare gli eventi del mondo materiale. Inoltre, le conoscenze scientifiche sono un prodotto sociale e intersoggettivo al quale contribuisce l’intera comunità dei ricercatori: esse sono quindi oggettivate e, nello stesso tempo, contingenti e storicamente determinate. Nei paragrafi che seguono vengono presi in considerazione alcuni aspetti della scienza e del sapere scientifico, la prima intesa come processo generatore di conoscenza e il secondo come esito di tale processo.

### **Fatti e interpretazioni dei fatti**

È essenziale che gli allievi siano messi in condizione di cogliere la netta distinzione esistente tra i fatti e le loro descrizioni e interpretazioni. Per esempio, consideriamo il sistema costituito da un contenitore cilindrico all’interno del quale si trova una certa quantità di acqua. Se si lascia il contenitore aperto in un locale a temperatura ambiente è facile rendersi conto che il livello del liquido diminuisce. L’asserzione: «Con il tempo il livello del liquido contenuto nel recipiente diminuisce» è un’affermazione fattuale, nel senso che nessuno pensa di contestarla: qualsiasi persona dotata di vista può dividerla. Però qualcuno potrebbe sostenere che “Con il tempo il liquido evapora”. In questo caso, chi parla non sta più riferendo un fatto empirico, ma sta fornendo un’interpretazione del fatto: il livello del liquido diminuisce perché l’acqua passa dallo stato liquido allo stato di gas (vapore d’acqua). Parlando di evaporazione si entra nel campo teorico, in quanto si chiama in gioco un *modello macroscopico* con il quale si ammette che i corpi possono esistere in tre stati fisici (solido, liquido, gassoso), che in opportune condizioni un corpo può passare da uno stato all’altro, che tali passaggi sono invertibili, ecc. Però è anche possibile non fermarsi all’interpretazione macroscopica del fenomeno e passare a un modello microscopico, nel quale entrano in gioco le molecole, i loro movimenti, i loro legami intermolecolari, la loro energia cinetica, ecc. In questo contesto, si fa riferimento alle molecole dello strato superficiale dell’acqua che si allontanano dalle altre poiché possiedono energia cinetica suffi-

ciente a vincere le forze attrattive che le costringono a stare vicine. Come si vede, quando un fatto empirico diventa un fatto scientifico è “impregnato di teoria”; in altre parole, il fatto scientifico è tale solo nell’ambito di uno strumento teorico, ossia una teoria o un modello. I fatti, ossia gli eventi e le situazioni del mondo materiale, possono essere descritti in base alle impressioni sensoriali, oppure ricorrendo a modelli teorici. I fatti empirici non cambiano, ma i modelli teorici cambiano a seguito dell’evoluzione del sapere scientifico. Per esempio, l’alternanza del dì e della notte, del chiaro e dello scuro, è un fatto del mondo. Per secoli il fatto è stato interpretato come conseguenza della rotazione del sole intorno alla terra; Copernico propose un’altra interpretazione, la rotazione della terra intorno al sole e intorno al proprio asse. Il fatto è rimasto sempre lo stesso, l’interpretazione è cambiata. Per dotare gli allievi di una concezione adeguata della natura della scienza, occorre metterli in grado di distinguere nettamente i fatti dalle loro interpretazioni mediante modelli scientifici, siano questi macroscopici o microscopici.

### **Leggi, modelli, teorie**

Strettamente collegata alla distinzione tra fatti e interpretazioni dei fatti è la distinzione fra leggi e modelli o teorie. Spesso le persone hanno una concezione semplicistica e gerarchica delle relazioni tra questi tre fattori del sapere scientifico: le leggi sono ritenute evidenze empiriche la cui generalizzazione porta alle teorie. Si tratta della concezione positivista della scienza: questa deve restare aderente ai fatti, permettendosi unicamente di generalizzare ciò che è stato osservato. Ricorrendo all’osservazione e al ragionamento, la scienza mira soltanto a scoprire le leggi della natura, le quali sono unicamente “fatti generali”: nell’enunciarle non si fa altro che estendere, a tutti i fatti e a tutti i luoghi, alcune regolarità constatate empiricamente. Tutti i fenomeni sono ritenuti soggetti a leggi naturali, la cui scoperta precisa e la cui riduzione al minor numero possibile sono lo scopo degli scienziati. Ogni ricerca che si interessi delle cause nascoste dei fenomeni, ossia che miri a chiarire la loro natura profonda, non appartiene al campo della scienza ma a quello della metafisica. Le teorie hanno valore soltanto se legate ai fatti, a ciò che è oggetto d’impressione sensoriale; esse non dicono nulla di più, a proposito della realtà, di quanto è già contenuto nei fatti sui quali esse si basano. Quindi le teorie sono analoghe alle leggi, dalle quali differiscono unicamente per il fatto di essere più generali. Una teoria non è una spiegazione del noto mediante l’ignoto, ossia di ciò che è percettibile mediante ciò che non lo è, ma è la traduzione, in forma di assiomi, di un certo numero di leggi sperimentali. Ne segue che le leggi scientifiche hanno uno statuto più elevato di quello delle teorie.

Però queste idee di natura empiristica sono inappropriate perché leggi e teorie sono saperi di natura diversa e l'una non può svilupparsi o trasformarsi nell'altra. Le leggi si riferiscono alle relazioni tra fenomeni osservabili: ne sono esempi la legge dei volumi di Gay-Lussac relativa ai rapporti di combinazione tra volumi di gas e la legge della composizione definita e costante delle sostanze chimiche di Proust. Al contrario, modelli e teorie servono per interpretare e spiegare i fenomeni: così il modello atomico/molecolare della materia permette di spiegare sia la legge di Proust sia quella di Gay-Lussac. I modelli e le teorie sono componenti fondamentali del sapere scientifico e hanno un ruolo importante sia nell'indirizzare la ricerca e nel generare nuovi problemi, sia nel riunire sotto un'unica interpretazione un ampio spettro di fenomeni, apparentemente molto diversi dal punto di vista empirico. Per esempio, il modello atomico/molecolare della materia serve per spiegare le trasformazioni fisiche e chimiche, i trasferimenti di energia tra sistemi, ecc.

### **Il ruolo dell'immaginazione nella scienza**

La scienza come processo generatore di conoscenza non comincia con l'osservazione attenta e meticolosa dei fenomeni, come sostiene la versione stereotipata del metodo scientifico o sperimentale che domina nei libri di testo, ma con i problemi.

“La convinzione che la scienza proceda dall'osservazione alla teoria è così diffusa e così radicata che il negarla suscita incredulità... Tuttavia, l'idea che sia possibile partire unicamente da osservazioni, senza che intervenga niente di simile a una teoria, è davvero assurda... L'osservazione è sempre selettiva. Essa ha bisogno di un oggetto determinato, di uno scopo preciso, di un punto di vista, di un problema. È innegabile che ogni ipotesi presa in esame sarà stata preceduta da osservazioni, per esempio quelle stesse che l'ipotesi deve spiegare. Ma queste presuppongono a loro volta che sia adottato un quadro di riferimento, una griglia di previsioni, un quadro teorico” (2).

In altri termini, si può dire che il lavoro degli scienziati non consiste in primo luogo nell'osservare, nell'accumulare dati sperimentali per ricavarne una teoria. Si può esaminare a fondo un oggetto o un fenomeno per anni senza ricavarne alcuna osservazione di interesse scientifico. Per realizzare osservazioni che abbiano un qualche valore dal punto di vista scientifico, si deve già avere all'inizio un'idea di ciò che si deve osservare: occorre formulare previsioni grazie a una certa concezione, per quanto grossolana, di ciò che potrebbe essere la realtà che si sta indagando. Spesso i problemi sorgono proprio perché il ricercatore constata qualcosa che gli si presenta o come una “situazione problematica” (le conoscenze di cui dispongo sono sufficienti per affrontare questo problema?) o come un “fatto

polemico” (in base alle conoscenze di cui dispongo, le cose dovrebbero andare in un certo modo e invece vanno in un modo diverso); però a volte il problema consiste nel rivedere fenomeni ben noti e conoscenze già affermate da un nuovo punto di vista. La scienza è un processo di invenzione di spiegazioni e ciò richiede non solo razionalità e logica, ma anche una buona dose di immaginazione e creatività. Come sostiene Feynman (3): “Stranamente molti pensano che nella scienza non ci sia posto per la fantasia. È una fantasia di tipo speciale, diversa da quella dell'artista. Il difficile, per uno scienziato, è immaginare qualcosa che non è ancora venuto in mente a nessuno, che sia in accordo in ogni dettaglio con quanto si conosce, ma sia diverso; e sia inoltre ben definito, e non una vaga affermazione. ...Si tira a indovinare... Tirare a indovinare? Un modo ben poco scientifico di procedere, una vera scemenza ... E invece no. È che in realtà non v'è nulla di cui lo scienziato possa essere sicuro in partenza. Egli può solo tirare a indovinare: sarebbe poco scientifico non farlo”.

Passare dalle linee degli spettri atomici (evidenze empiriche) al modello dell'atomo proposto da Bohr è un caso esemplare di immaginazione scientifica. I concetti di atomo, molecola, elettrone, forza, energia, legame, ecc. sono invenzioni funzionali e non copie fedeli della realtà.

### **Scienza e cultura**

La scienza è un'impresa del genere umano praticata nell'ambito di un più ampio contesto culturale nel quale gli scienziati sono pienamente inseriti; di conseguenza, la scienza è ancorata ai diversi fattori della cultura nella quale è incorporata. Kuhn sostiene che la scienza si costituisce all'interno di un determinato quadro di riferimento o “paradigma”, cercando di svilupparne le implicazioni sia teoriche sia sperimentali. Gli scienziati hanno fiducia nelle loro teorie essenzialmente perché credono in un paradigma: è alla luce di tale paradigma che essi cercano di interpretare i fatti. Ogni teoria scientifica contiene un “cuore”, una “matrice disciplinare”, un “nocciolo duro” che non può essere messo in discussione senza rinunciare alla teoria stessa. Questo nocciolo duro è il paradigma, un insieme di teorie, ipotesi, atteggiamenti, convinzioni e valori, che identifica un ben preciso periodo storico e lo caratterizza rispetto a un altro. Un paradigma influenza e indirizza il lavoro degli scienziati, perché dal paradigma dipendono non soltanto le interpretazioni dei fenomeni, ma anche gli interrogativi che i ricercatori si pongono su un determinato aspetto del mondo: quindi il paradigma al quale uno scienziato aderisce influenza il suo modo di percepire la natura.

### **La natura congetturale del sapere scientifico**

La logica conseguenza di quanto si è detto in precedenza è che il sapere scientifico non è né assoluto, né certo;

si tratta, al contrario, di un sapere congetturale e contingente e quindi soggetto al cambiamento. Le asserzioni della scienza mutano per svariate ragioni:

- Perché nuove evidenze empiriche, rese possibili dall'evoluzione delle teorie e/o degli strumenti di indagine, portano a riconsiderare le leggi e le teorie esistenti.
- Perché evidenze empiriche ben note vengono reinterpretate alla luce di nuovi sviluppi teorici o di nuovi orientamenti nei programmi di ricerca.

La natura ipotetica del sapere scientifico non dipende soltanto dal fatto che il processo scientifico di conoscenza procede per tentativi ed errori, vi interviene la creatività degli scienziati e risulta determinato dal contesto sociale e culturale in cui si sviluppa. Come ha ampiamente argomentato Popper, non è mai possibile stabilire in via definitiva che un'ipotesi, una legge o una teoria scientifica sono "vere" e "provate", per quanto numerose siano le evidenze empiriche favorevoli. È sempre possibile che si produca o venga prodotto un evento del quale al momento non si ha nemmeno il sospetto, che "falsifichi" una conoscenza già acquisita. Indubbiamente le evidenze empiriche favorevoli a una determinata conoscenza scientifica contribuiscono a corroborarla e ad accrescerne la plausibilità, ma non possono mai farle assumere lo statuto di verità indiscutibile.

Gli insegnanti hanno il compito di aiutare i propri allievi ad acquisire una sufficiente comprensione della natura della scienza. Questo significa che nella formazione degli insegnanti, sia questa iniziale o in servizio, si devono perseguire due obiettivi. In primo luogo, fare in modo che gli insegnanti acquisiscano un'adeguata comprensione della natura della scienza. Però questa situazione non garantisce che gli insegnanti siano in grado di trasferire automaticamente la loro comprensione nell'insegnamento. Quindi la loro formazione deve porsi un secondo obiettivo: aiutarli a comprendere quali approcci didattici possono contribuire a favorire l'acquisizione, da parte degli allievi, di un'adeguata comprensione della natura della scienza.

### **L'indagine scientifica**

L'indagine scientifica è l'attività mediante la quale gli scienziati cercano di conoscere e comprendere la natura. Si tratta di un'attività complessa che si articola negli approcci sistematici usati dagli scienziati per dare risposta agli interrogativi che si pongono studiando il mondo, approcci che variano in funzione degli interrogativi affrontati, dei sistemi macroscopici studiati e/o dei campi disciplinari. La conoscenza così prodotta deve rispondere ai criteri di scientificità oggi condivisi dalla comunità scientifica:

- La coerenza logica intrinseca: le affermazioni che ogni enunciato scientifico contiene devono essere coerenti, ossia non devono essere in contraddizione fra loro.

- La compatibilità: ogni asserto scientifico deve essere compatibile con l'essenziale del sapere scientifico e quindi inseribile in un quadro teorico di riferimento.

- La sperimentazione: l'enunciato deve essere confrontabile con la realtà fattuale mediante esperimenti.

- La riproducibilità: i dati sperimentali ottenuti da un ricercatore devono essere confermati da altri ricercatori indipendenti.

- La condivisione-revisione paritaria: il costrutto teorico deve essere riconosciuto come scientifico da una frazione significativa della comunità scientifica

Nonostante la varietà degli approcci adottati, l'indagine scientifica è caratterizzata da una strategia di fondo i cui tratti caratteristici sono: - il problema o situazione problema; - il modello adottato per rappresentare la situazione problema e per produrre ipotesi; - il controllo della plausibilità del modello attraverso la verifica della validità delle ipotesi.

Purtroppo, tra gli studenti che escono dalla scuola secondaria è ampiamente diffusa una concezione distorta della strategia dell'indagine scientifica, la quale viene identificata con il "metodo scientifico" o con il "metodo sperimentale", codificati in una serie fissa e immutabile di operazioni (Osservazione - Ipotesi - Esperimento - Risultati - Interpretazione - Conclusione) che tutti gli scienziati di tutti i tempi e di tutte le discipline seguirebbero per produrre saperi autenticamente scientifici. Tale interpretazione dell'indagine scientifica è un residuo della visione empirista e positivista della scienza e della produzione del sapere scientifico. Si tratta di una concezione largamente diffusa tra quanti si interessano di divulgazione scientifica e tra gli insegnanti di scienze; questa situazione contribuisce alla sua persistenza, nonostante gli epistemologi del xx secolo non siano "riusciti a delineare i tratti salienti di un metodo scientifico che fornisca una formula o delle ricette sul modo di elaborare saperi scientifici. Non esiste nessun metodo che possa riassumere il processo di costruzione, di fabbricazione del sapere scientifico. Non esiste un'entità che sia il "metodo scientifico" (4).

Naturalmente questo non significa che non esistano indagini scientifiche interpretabili con lo schema operativo del metodo scientifico/sperimentale; significa semplicemente che questa è oggi ritenuta un'interpretazione non adeguata del modo di procedere degli scienziati, anche perché non tutti gli interrogativi che gli scienziati si pongono hanno necessariamente una dimensione sperimentale. Per esempio, gli astronomi conducono osservazioni sistematiche degli oggetti che essi vedono nel cielo; tuttavia, essi non possono influire sul comportamento dei corpi celesti. Allo stesso modo, gli scienziati che affrontano i problemi ambientali studiano le relazioni tra componenti inorganici e organici dell'ambiente, ma non sono in grado di con-

durre esperimenti controllati perché non hanno il controllo dell'ambiente. Per contro, i chimici sono in grado di controllare facilmente le quantità delle varie sostanze che entrano in gioco nelle trasformazioni e valutare gli effetti dovuti alla variazione della quantità di una delle sostanze di un sistema. In conclusione, non è corretto ammettere che tutte le indagini scientifiche seguano lo stesso schema e la stessa sequenza di passaggi. L'indagine scientifica non è un'impresa standardizzata e ripetitiva di formulazione di ipotesi e di esecuzione di esperimenti per controllarle, ma è un'attività ben più intrigante, dove fantasia e inventiva giocano un ruolo importante, così come il ragionamento a tavolino.

Alla *strategia dell'indagine scientifica* corrisponde, nell'ambito scolastico, una *strategia dell'apprendimento* che presenta gli stessi tratti caratteristici della prima: - il problema; - il modello adottato per rappresentarlo e produrre ipotesi; - il controllo della plausibilità del modello. L'educazione alle scienze dovrebbe mirare a far sì che gli allievi siano in grado, da una parte, di formulare problemi e interrogativi scientifici e, dall'altra, di progettare e condurre indagini scientifiche mediante le quali raccogliere i dati sperimentali necessari per dare risposta ai problemi o agli interrogativi di partenza. Tale strategia si articola in attività mediante le quali gli allievi acquisiscono concetti, modelli e teorie scientifici e, nello stesso tempo, comprendono il modo di lavorare degli scienziati. Si tratta di attività complesse nelle quali sono messi in atto tutti i tipi di ragionamento (induttivo, deduttivo, abducente, analogico) unitamente ad attività specifiche, quali classificare, misurare, analizzare e interpretare dati, combinandole con il sapere scientifico disponibile, il ragionamento logico e la capacità di porre problemi adeguati e pertinenti.

### Saperi epistemologici e formazione degli insegnanti

Un'indagine approfondita (5) mostra che "l'influenza delle concezioni epistemologiche degli insegnanti sul proprio modo di insegnare è forte e stabile quale che sia la loro formazione disciplinare, il livello di scolarità al quale insegnano o il contesto culturale al quale appartengono". D'altra parte, come si è visto in precedenza, per realizzare un insegnamento efficace della scienza, grazie al quale gli allievi siano messi in condizione di "dare un senso" alle conoscenze scientifiche, occorre che gli insegnanti comprendano a fondo sia la natura della scienza sia la strategia dell'indagine scientifica e abbiano una formazione adeguata per farne partecipi gli allievi. In genere si ammette che la prima condizione sia soddisfatta, ma le ricerche (6-8) condotte in diverse nazioni mostrano che la maggior parte degli insegnanti non ha sviluppato questa comprensione e condivide punti di vista di natura empirista e positivista. Tale situazione è anche conseguenza del fatto che, nella

formazione iniziale e in servizio degli insegnanti, non si è mai dato importanza al problema dell'insegnamento di questi due aspetti della scienza. Questa mancanza di attenzione è ritenuta (9) conseguenza dell'idea che, "facendo scienza", gli insegnanti fanno evolvere le loro concezioni. Tale idea riposa a sua volta su due assunzioni. Secondo la prima, la comprensione dell'indagine scientifica e/o della natura della scienza sono esiti di natura affettiva, psicologica e non cognitiva: spesso infatti si parla dell'"atteggiamento scientifico" facendo riferimento all'approccio scientifico dei problemi. Secondo la seconda assunzione, che è la conseguenza della prima, apprendere cosa sia la scienza e in cosa consista l'indagine scientifica sarebbe un sottoprodotto del "fare scienza".

I due ricercatori riconoscono che tale posizione è "ingenua", e sostengono la necessità di proporre agli insegnanti, nell'ambito della loro formazione, i riferimenti epistemologici adeguati per interpretare la propria attività. A tale fine, essi suggeriscono due soluzioni. La prima consiste nell'incorporare la storia della scienza nell'insegnamento di ogni disciplina; analizzando i risultati conseguiti con formazioni messe in atto con questo approccio, i due studiosi concludono che i risultati sono leggermente migliori, ma non li ritengono soddisfacenti. La seconda è quella di considerare l'apprendimento della strategia dell'indagine scientifica e della natura della scienza un obiettivo esplicito del curriculum. (10) Secondo questa proposta, la formazione degli insegnanti dovrebbe comprendere vari aspetti dell'indagine scientifica (la formulazione del problema, il ricorso ai modelli, la nascita delle ipotesi, ecc.) e i saperi epistemologici per analizzarli (la natura della scienza, il suo statuto, il suo rapporto con la realtà e con la verità, la sua evoluzione, ecc.). Inoltre, gli insegnanti dovrebbero essere chiamati a progettare e applicare attività di formazione degli allievi su questi argomenti. In questa prospettiva, Abd-el-Khalick (11) ha studiato gli effetti conseguenti all'associazione di un insegnamento di filosofia della scienza a una formazione alle strategie d'insegnamento delle discipline scientifiche. I risultati conseguiti lo portano a concludere che questa organizzazione della formazione produce evoluzioni significative nelle concezioni epistemologiche degli insegnanti in formazione e li mette in grado di progettare e gestire interventi scolastici adeguati sui temi di natura epistemologica. Alla stessa conclusione si era già giunti nell'ambito di una serie di studi sul ruolo dei saperi epistemologici nella formazione degli insegnanti e nella gestione di attività di insegnamento con questi coerenti (12).

In conclusione, il messaggio che discende da queste ricerche ci dice che dobbiamo evitare di fabbricare giovani ricercatori incolti, supertecnici incapaci di collocare il proprio campo di specializzazione nella storia

e nella cultura. L'epistemologia, la storia, la didattica delle scienze sono dei passaggi obbligati per disporre di persone non solo istruite, ma anche acculturate dal punto di vista scientifico. Fin dalla scuola primaria si devono portare gli allievi a riflettere su cosa è l'approccio scientifico rispetto all'approccio sociale, giuridico, etico e teologico.

### Saperi epistemologici e insegnamento delle scienze

Se si assume che l'obiettivo di migliorare le concezioni degli allievi sulla scienza dovrebbe essere un obiettivo esplicito del curriculum, quali sono le indicazioni operative che si possono fornire agli insegnanti per avviare gli allievi alla riflessione sull'indagine scientifica e sulla natura della scienza? Tre sono le direzioni che si possono seguire.

1. L'insegnante dovrebbe suscitare in classe una riflessione comune e una discussione collettiva sul sapere disciplinare insegnato, al fine di:

- Fare emergere la dimensione umana delle conoscenze scientifiche; queste sono prodotte, inventate e costruite dagli scienziati e non vengono "ricavate" dalla natura o in essa "scoperte".

- Mettere in risalto lo statuto e il ruolo dei modelli nella costruzione del sapere scientifico da parte dei ricercatori e nell'acquisizione delle conoscenze scientifiche da parte degli allievi.

In questo modo, l'insegnante ha la possibilità di fare risaltare l'influenza del contesto storico e socioculturale sulla genesi dei concetti e dei modelli scientifici. L'immagine che gli allievi si formeranno della scienza dipende strettamente dal modo in cui viene loro presentata l'origine dei saperi oggetto di apprendimento.

2. L'insegnante dovrebbe "problematizzare" il sapere, iniziando l'insegnamento di un contenuto disciplinare con un "problema" o con un "interrogativo" aperti che si riferiscano, per esempio, a una difficoltà, a un ostacolo che si trovarono ad affrontare gli scienziati del passato. In questo modo, gli allievi hanno l'opportunità di rendersi conto dell'evoluzione delle idee e di conoscere le diverse prese di posizione della comunità scientifica su quello specifico problema. Nel caso in cui si riveli impraticabile il ricorso all'*approccio per problemi*, soprattutto per gli allievi più giovani, è sempre possibile proporre la lettura di brevi testi, in ciascuno dei quali viene proposta un'interpretazione diversa dello stesso evento o della medesima situazione, proposta da differenti studiosi. Si pensi ad esempio alle idee di Needham e di Spallanzani sulla generazione spontanea degli esseri viventi, oppure alla diversa concezione della materia da parte di Democrito e Aristotele. In questo modo si fornisce agli allievi la base indispensabile per suscitare la formulazione di interrogativi, l'avvio di un'analisi comparativa e critica, la proposta di una sintesi o di una presa di posizione personale argomentata, ecc.

Le implicazioni di un *insegnamento per problemi* sono importanti. L'immagine che si fanno gli allievi del sapere scientifico e il tipo di relazione che essi avranno con questo sapere saranno molto diversi se questo sarà loro proposto in modo problematico oppure dogmatico. Nel primo caso, è più probabile che si realizzi un apprendimento significativo, grazie al quale gli allievi vengono gradualmente indirizzati a porsi interrogativi per cercare poi di dare loro risposta (apprendimento in profondità, logica della comprensione); nel secondo caso, l'apprendimento sarà orientato all'acquisizione verbale di saperi già definiti e formulati in forma definitiva, pronti all'uso o *prêt-à-porter* (apprendimento meccanico, logica della restituzione).

3. In coerenza con l'insegnamento per problemi, l'insegnante dovrebbe privilegiare l'acquisizione attiva delle conoscenze, favorendo le discussioni tra allievi, ritenute occasioni di apprendimento (13, 14). Se non è sempre possibile proporre agli allievi gli stessi problemi affrontati dagli scienziati del passato, è comunque possibile ricorrere a problemi che siano a portata delle loro potenzialità cognitive e che possano avviarli, nello stesso tempo, a mettere in atto la strategia dell'indagine scientifica e a sviluppare la riflessione epistemologica su di essa. Si tratta soprattutto di evitare di presentare l'osservazione come punto di partenza dell'indagine scientifica, "teleguidando" la formulazione delle ipotesi; al contrario, si dovrebbe insistere sull'importanza dei modelli e delle attività di modellizzazione.

### **Conclusioni**

Gli studiosi di problemi educativi ritengono che un cittadino scientificamente acculturato dovrebbe conoscere non soltanto i concetti, le leggi, i modelli e le teorie delle scienze, ma anche disporre di conoscenze adeguate sull'indagine scientifica, ovvero come viene prodotto il sapere scientifico, e sulla natura della scienza. È illusorio attendersi che gli allievi arrivino a realizzare questi obiettivi semplicemente facendo scienza a scuola. Fare scienza è indubbiamente il punto di partenza, ma l'indagine scientifica e la natura della scienza dovrebbero essere due contenuti di insegnamento aventi dignità pari ai contenuti disciplinari. Ci possiamo forse aspettare che gli allievi imparino in modo implicito il concetto di energia, quello di cellula o quello di acido? Se nell'insegnamento delle scienze non si riserva a questi due argomenti - l'indagine scientifica e la natura della scienza - la stessa attenzione che si riserva ai contenuti strettamente disciplinari, gli allievi continueranno ad apprendere questi ultimi al di fuori di ogni contesto e nessuna "moda pedagogica" potrà rimediare alle deficienze ampiamente denunciate della loro cultura scientifica.

Un'adeguata comprensione dell'indagine scientifica e della natura della scienza è ritenuta indispensabile

anche per comprendere a fondo il sapere scientifico, ovvero i concetti, i modelli, le leggi e le teorie della scienza. Per esempio, non può sicuramente comprendere a fondo il concetto di atomo l'allievo che non ha compreso che l'immagine dell'atomo di idrogeno che figura sul libro di testo è la rappresentazione dell'atomo secondo un certo modello (per esempio, il modello proposto da Bohr), inventato da uno scienziato per spiegare le righe dello spettro atomico e che ciò che è rappresentato non è mai stato osservato con uno strumento. Allo stesso modo, non può comprendere il concetto di gene lo studente che ritiene che i geni abbiano esistenza fisica come le perle di una collana, e che non si rende conto che il "gene" è una costruzione degli scienziati, una loro invenzione per spiegare evidenze empiriche quali la trasmissione dei tratti somatici dai genitori ai figli.

L'iniziazione degli allievi alla riflessione epistemologica sui saperi scientifici proposti dalla scuola si presenta anche come una risposta pertinente agli interrogativi relativi al "rapporto con il sapere" delle giovani generazioni. Per una serie di ragioni complesse di ordine sociale, familiare e personale, un'elevata percentuale degli allievi odierni non riescono a dare un senso agli apprendimenti scolastici, ridotti all'acquisizione di conoscenze superficiali e prive di significato. Si ritiene che guidare gli allievi alla riflessione epistemologica sui fondamenti e sull'origine dei saperi scientifici che la scuola propone possa aiutarli ad assumere un atteggiamento più responsabile nei confronti di tali saperi.

Comprendere la natura della scienza e la strategia dell'indagine scientifica permette agli allievi di disporre di un sistema di riferimento per il sapere scientifico. Se non si comprende come questo viene prodotto e quali conseguenze abbia il processo di produzione sullo statuto e sui limiti del sapere stesso, non si può sperare che gli allievi possano comprenderne il significato. Apprendere le scienze senza disporre di un quadro di riferimento nel quale collocare i saperi è come giocare a poker senza conoscerne le regole; se gli allievi non sono in grado di dare un senso al sapere che viene loro insegnato, sarà molto difficile che riescano a usarlo per prendere decisioni responsabili. Anche per gli insegnanti, la riflessione epistemologica sull'indagine scientifica e sulla natura della scienza costituisce un traguardo da raggiungere più che un quadro di riferimento per le pratiche didattiche e l'insieme delle scelte che ad essa dovrebbero essere ispirate. Se spetta all'insegnante guidare l'allievo nell'apprendimento fornendogli le situazioni più consone all'acquisizione attiva dei saperi scientifici e alla loro comprensione, la riflessione epistemologica di colui che insegna diventa la condizione necessaria per guidare quella degli allievi.

*Ezio Roletto, Alberto Regis*

## Bibliografia

- (1) C. Eick *Inquiry, Nature of Science, and Evolution: The need for a more complex pedagogical content knowledge in science teaching* ELECTRONIC JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION, 4, 2000 (on line)
- (2) K. Popper *Logica della scoperta scientifica* Einaudi, Torino, 1998
- (3) R. Feynman *Il senso delle cose* Adelphi, Milano, 1999
- (4) L. Wolpert *La natura innaturale della scienza* Edizioni Dedalo, Milano, 1996
- (5) M. Hashweh *Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching*, JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 33, 1996, p. 47
- (6) N. Lederman *Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research* JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 29, 1992, p.331
- (7) E. Roletto *La science et les connaissances scientifiques: points de vue de futurs enseignants*, Aster, n. 26, 1998, p.11
- (8) G. Glasson, M. Bartley *Epistemological undercurrents in scientists' reporting of research to teachers*, SCIENCE EDUCATION, 84, 2000, p. 469
- (9) F. Abd-el-Khalick, N. Lederman *Improving science teachers' conceptions of the nature of science* INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION, 22, 2000, p. 665
- (10) J. Désautel, M. Larochelle, B. Gagné, F. Ruel *La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique*, Didaskalia, 1993, p. 49
- (11) F. Abd-el-Khalick *Developing deeper understanding of the nature of science* INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION, 27, 2005, p. 15
- (12) F. Mathy *Donner du sens aux cours de sciences* De Boeck, Paris-Bruxelles, 1997
- (13) A. Giordan *New models for the learning process: beyond constructivism* Prospects, XXV, 1995, p. 101
- (14) T. Sadler, D. Zeidler *Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making* JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 42, 2005, p. 112