

L'uso della storia della scienza nella didattica: un esempio concreto

di Franco Giudice e Paolo Del Santo

L'approccio storico alla didattica delle scienze	1
Quali competenze per i docenti?	2
Il sapere scientifico...oltre il tecnicismo	3
Un esempio concreto	4
La struttura del percorso	5
Elementi tipici del cambio del paradigma scientifico.....	9

L'approccio storico alla didattica delle scienze

L'esigenza di un approccio storico nella didattica delle scienze nasce dalla consapevolezza, sempre più avvertita, che i metodi tradizionali di insegnamento si sono rivelati insufficienti e inadeguati. Le riflessioni epistemologiche, a partire quanto meno da quelle di Thomas Kuhn, hanno messo in evidenza che nemmeno la scienza – pur presentando caratteristiche proprie (replicabilità degli esperimenti, ricerca di leggi e costanti atemporalità) – risulta pienamente comprensibile ove la si astragga dalla sua dimensione storica. Soltanto in questo modo infatti è possibile afferrare la dinamica che caratterizza la pratica scientifica, ossia l'intersoggettività dei risultati del dibattito scientifico e la natura complessa dei modelli in campo, piuttosto che la ricerca linearmente cumulativa di una "verità" finale.

Ciò a cui si deve tendere è quindi la comprensione delle condizioni storico-culturali entro cui si sono originate e sviluppate le teorie scientifiche, così come le sue applicazioni pratiche e tecnologiche. La scienza è una forma di sapere come le altre, un sapere fra altri saperi storicamente determinati, con cui interagisce e da cui spesso trae spunti e stimoli. L'approccio storico, da questo punto di vista, è in grado di far recepire l'idea che, in ambito didattico, sia opportuno mirare a un'illustrazione e a un'analisi dei reali percorsi di acquisizione delle nuove conoscenze scientifiche. Non sono importanti soltanto i risultati finali, ma anche, forse soprattutto, i processi che



Unione Europea
P.O.N. - "Competenze per lo Sviluppo" (FSE)
D.G. Occupazione, Affari Sociali e pari Opportunità



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
Dipartimento per la Programmazione
D.G. per gli Affari Internazionali - Ufficio IV
Programmazione e gestione dei fondi strutturali europei
e nazionali per lo sviluppo e la coesione sociale



portano alle scoperte scientifiche, il modo in cui quelle scoperte sono interpretate da modelli teorici diversi e spesso rivali, il ruolo della contaminazione fra i diversi campi del sapere.

La storia della scienza tuttavia non deve essere intesa come base empirica, una sorta cioè di ricettacolo di esempi storici, per costruire o verificare una teoria filosofica della scienza, quanto piuttosto come parte di un programma interdisciplinare di ricerca sulla scienza. Da questo punto di vista, essa può svolgere un ruolo molto rilevante e innovativo nella didattica delle scienze. Che nella formazione degli insegnanti ci siano quindi anche conoscenze di carattere storico è soltanto una ricchezza. Anzitutto perché la storia contribuisce a rendere le loro competenze specifiche meno rigide e più aperte al dibattito critico. In secondo luogo, perché consente di avvicinarsi a una concezione meno dogmatica della scienza e del suo metodo, recuperando la sua dimensione umanistica e ridimensionando il mito della fiducia positivista nell'oggettività e autonomia della scienza. Infine, perché evidenzia, sul piano documentario e concreto, il carattere problematico e ambiguo del cosiddetto "metodo scientifico". Approccio storico

Quali competenze per i docenti?

La storia della scienza è una zona di confine, un terreno in cui si intersecano pressoché tutti gli ambiti disciplinari. Collocando la scienza in una prospettiva storica, si dovrebbe quindi apprezzare la scienza come parte di una tradizione culturale e intellettuale, le cui ricadute non sono soltanto di tipo pratico, ma etico, sociale, economico e politico.

Gli insegnanti dovrebbero anzitutto maturare un approccio di tipo dialettico, offrendo un'esposizione delle idee e dei modelli in gioco così come si sono succeduti nel corso della storia, evidenziando le diverse modalità in cui determinati fenomeni sono stati inquadrati entro una teoria o più teorie in competizione.

I docenti dovrebbero essere in grado di muoversi su due livelli. In primo luogo, riconoscere che la scienza, lungi dall'essere un corpo di conoscenze monolitico, ha una dimensione temporale, con concetti che cambiano nel corso del tempo e con fenomeni per la cui spiegazione non sempre si ricorre a una sola teoria, ma a più teorie spesso in competizione. In secondo luogo, selezionare le fonti specifiche in cui quei concetti e fenomeni sono esposti, prestando la dovuta attenzione non solo alle fonti a stampa,

ma anche a quelle materiali (strumenti di misura, strumenti che riproducono artificialmente fenomeni altrimenti non osservabili in natura, ecc.).

Queste competenze, dovrebbero mettere gli insegnanti nelle condizioni di valutare, con un ancoraggio documentario e non sulla base di supposizioni prive di riscontri fattuali, cosa storicamente ha sancito il successo o il fallimento di una determinata teoria o di una scoperta scientifica. E questo, si badi, non alla luce degli sviluppi successivi e delle conoscenze attuali, ma in relazione alle conoscenze dell'epoca considerata e al contesto in cui operavano i protagonisti.

Gli insegnanti dovrebbero così essere in grado di apprezzare più in profondità, con un'auspicabile ricaduta sul piano didattico, il valore della scienza e della tecnologia, poiché le collega agli aspetti personali, culturali, etici, politici. Detto in altri termini, la competenza storica dovrebbe consentire di valutare l'impresa scientifica per quello che effettivamente è, ossia un'impresa umana. Un'altra competenza da acquisire è un atteggiamento più analitico e critico, contribuendo così a superare quello che, con una felice espressione, è stato chiamato «il mare dell'insensatezza», in riferimento cioè al fatto che, spesso, equazioni e formule vengono ripetute pedissequamente senza una reale comprensione del loro significato. Dovrebbe risultare più semplice comprendere il ruolo svolto dalla scienza nella vita sociale e culturale di tutti i giorni. E, soprattutto, mettere gli insegnanti nelle condizioni di capire le difficoltà di apprendimento degli studenti, poiché li rende consapevoli delle oggettive difficoltà storiche dello sviluppo scientifico e dei cambiamenti concettuali.

Il sapere scientifico...oltre il tecnicismo

L'obiettivo dell'unità è anche quello di proporre concetti e teorie scientifici che vanno inseriti in una dimensione più ampia che, disancorando il sapere scientifico dalla sua intrinseca e ineludibile valenza tecnicistica, riesca a far percepire la scienza, per le enormi problematiche che dischiude, non solo come appannaggio di una cerchia ristretta di specialisti, ma anche come un'affascinante impresa conoscitiva e gnoseologica. In questa prospettiva, grazie cioè all'analisi di nodi concettuali di rilievo e che coinvolgono vari aspetti della cultura e della società, quali quelli indicati sopra, gli insegnanti dovrebbero anche in grado di trasmettere un'immagine della scienza meno astrusa e inaccessibile.

Volendo sintetizzare, nel complesso, le competenze che gli insegnanti dovrebbero dimostrare, si può quindi dire che tali competenze consistono nella comprensione dei meccanismi che presiedono al cosiddetto metodo scientifico, i risultati cui mirano gli scienziati nelle loro ricerche, le questioni di natura etica che pongono queste ricerche e il modo diverso in cui le teorie sono accolte dalla comunità scientifica e dalla società in generale.

Un esempio concreto

L'approccio storico all'evoluzione e alle dinamiche interne del pensiero scientifico costituisce senza dubbio, nel panorama italiano della didattica delle scienze, uno degli aspetti più innovativi del presente progetto. Tuttavia, affinché non restino una mera dichiarazione di intenti, è necessario che i concetti espressi poco sopra trovino concreta applicazione nella pratica didattica della scuola secondaria di primo grado. Il rischio è quello di rifarsi a modelli sterili, ispirati alle tradizionali introduzioni storiche dei manuali scientifici e ormai totalmente superati dalla moderna critica storiografica. Per questo motivo, si è cercato di ideare un percorso didattico che esemplifichi, operativamente, ciò che si intende per un approccio storico, trasversale e moderno, all'insegnamento delle scienze, un approccio in grado cioè di interessare e stimolare gli studenti, mostrando loro come mutano nel tempo – ora stratificandosi, ora annientandosi vicendevolmente – le teorie e i concetti scientifici. Ne è così scaturita l'unità didattica *Non sempre due lenti fanno un paio di occhiali*, appartenente al nucleo tematico «Terra e Universo», che prende l'avvio dalla costruzione, utilizzando comuni lenti da occhiali, reperibili a poco prezzo nei negozi di ottica, di un piccolo telescopio. A dispetto della sua semplicità ed economicità, lo strumento consente di replicare molte delle celebri osservazioni astronomiche che Galileo effettuò a partire dall'autunno del 1609. Non è tuttavia questo lo scopo esclusivo del percorso e, forse, neanche il principale: il piccolo cannocchiale autocostruito è innanzitutto uno strumento attraverso il quale lo studente potrà avvicinarsi allo studio del cielo, sviluppando una conoscenza delle nozioni astronomiche di base fondata sull'osservazione diretta dei fenomeni. La struttura del percorso

La struttura del percorso

Il percorso è incentrato su due attività, l'osservazione della Luna e lo studio delle macchie solari, ricche di spunti didattici e legate da un comune denominatore storico: la crisi della cosmologia tradizionale e l'avvio di quel processo di unificazione tra fisica terrestre e fisica celeste, che culminerà nella possente sintesi newtoniana. L'invenzione del telescopio impresso una svolta decisiva allo sviluppo dell'astronomia e della cosmologia. Il nuovo strumento permise di indagare in maniera del tutto nuova la natura degli astri, fino ad allora condotta su base eminentemente speculativa e appannaggio pressoché esclusivo dei filosofi. La scoperta della natura "terrestre" della superficie lunare, ad opera di Galileo, e quella delle macchie solari, di poco successiva, svolsero un ruolo importantissimo, spesso sottovalutato, all'interno del dibattito fisico-cosmologico che caratterizzò i primi decenni del XVII secolo. Non è un caso, ad esempio, che quando il Cardinale Roberto Bellarmino, nell'aprile del 1611, chiese conferma delle novità celesti agli astronomi del Collegio Romano, questi risposero confermando tutte le scoperte galileiane eccezion fatta per quelle relative alla superficie lunare, sulla cui natura e conformazione posero delle riserve. Alla quarta delle cinque domande poste da Bellarmino, se «la luna abbia la superficie aspera et ineguale», gli astronomi romani risposero infatti che

«non si può negare la grande inequità della luna; ma pare [...] più probabile che non sia la superficie ineguale, ma più presto che il corpo lunare non sia denso uniformemente et che abbia parti più dense et più rare, come sono le macchie ordinarie, che si vedono con la vista naturale. Altri pensano, essere veramente ineguale la superficie; ma infin hora noi non abbiamo intorno a questo tanta certezza, che lo possiamo affermare indubitamente».

Anche la lunga e aspra controversia sulle macchie solari, che oppose Galileo al gesuita tedesco Christoph Scheiner, deve essere inquadrata nella più generale questione sulla natura dei cieli e la loro supposta immutabilità. Per negare la presenza di macchie sulla superficie del Sole (o nelle sue immediate vicinanze), preservandone così perfezione e incorruttibilità, Scheiner elaborò una teoria alternativa, compatibile con la cosmologia tradizionale, secondo la quale le macchie sarebbero state dovute alla presenza di piccoli astri in moto attorno al Sole, i quali, in prossimità della congiunzione inferiore, interponendosi tra la Terra e quest'ultimo, apparivano appunto come macchie scure in movimento sulla superficie solare.

Su questi temi l'insegnante ha a disposizione una gamma vastissima di spunti per ulteriori approfondimenti di carattere storico, tenendo un costante parallelismo tra i resoconti osservativi degli studenti e le scoperte di Galileo, e sottolineando l'importanza che esse hanno avuto nell'affermarsi della nuova concezione del cosmo. Egli potrà, ad esempio, illustrare i fondamenti della fisica aristotelica (v. box) e come questa risulti assolutamente incompatibile con la teoria copernicana e, più in generale, con i moderni concetti fisici di base, avvalendosi anche di altri percorsi didattici sviluppati all'interno del presente progetto. Altamente raccomandato, per il suo indubbio valore formativo, è inoltre un ampio ricorso alle fonti primarie (ve ne sono molte idonee a studenti della scuola secondaria di primo grado), oggi facilmente reperibili nelle numerosissime biblioteche digitali presenti in rete.

LA FISICA ARISTOTELICA

Nell'antichità classica e nel medioevo l'astronomia era una delle sette arti liberali e, in particolare, faceva parte, assieme all'aritmetica, alla geometria e alla musica, delle arti del cosiddetto *quadrivio*. Lo studio della natura fisica del mondo era appannaggio non degli astronomi, il cui compito era quello di elaborare modelli matematici dei moti celesti, ma dei filosofi. Agli inizi del XVII secolo la teoria fisica dominante, insegnata e studiata nelle università, era ancora sostanzialmente quella elaborata nel IV secolo a.C. da Aristotele. Quella aristotelica era, per così dire, una fisica "dualistica", che operava una nettissima distinzione tra la regione sublunare, quella cioè situata al disotto dell'orbe della Luna, e la regione celeste. Riprendendo una tradizione più antica, Aristotele riteneva che i corpi sublunari fossero costituiti dalla combinazione di quattro elementi: *terra, acqua, aria e fuoco*; i corpi celesti, perfetti, assolutamente sferici e privi di imperfezioni, sarebbero stati invece costituiti da una sostanza affatto diversa, *l'etere* (o, come divenne nota in seguito, *quintessenza*). Ai primi era connesso il moto rettilineo, ai secondi il moto circolare. Gli uni erano soggetti alla generazione e alla corruzione, cioè al processo del divenire e del mutare, gli altri erano inalterabili, immutabili ed eterni. I corpi celesti, compresi il Sole e La Luna, sono. Dei quattro elementi sublunari, inoltre, la terra e l'acqua erano elementi gravi, cioè pesanti. La loro tendenza era perciò quella di muoversi verso il basso, ovvero verso il centro dell'universo, come dimostrano una pietra che cade o l'acqua di un fiume. Aria

e fuoco, erano invece elementi leggeri, tendenti quindi verso l'alto, come si osserva nell'aria insufflata nell'acqua o nella fiamma. La fisica aristotelica era dunque una fisica dei luoghi naturali, nella quale ogni corpo tendeva a muoversi e ad occupare il luogo che gli era consono. Del tutto sconosciuta a questa fisica, esclusivamente qualitativa, l'idea moderna che ogni corpo abbia un proprio peso e il concetto di densità relativa. La Terra stessa, in quanto corpo grave, non poteva che trovarsi nel punto più basso, cioè al centro dell'universo. Se rimossa da questa posizione, tenderebbe a tornarvi. In altri termini, per gli aristotelici, i corpi gravi tendono al centro della Terra solo *per accidens* e non perché questa eserciti su di essi una forza attrattiva: se la Terra fosse rimossa, una pietra continuerebbe a cadere verso il centro dell'universo, suo luogo naturale.

Nonostante la straordinaria importanza storica della rivoluzione astronomica, nello sviluppare il percorso didattico, abbiamo voluto concentrare l'attenzione su una vicenda molto circoscritta, poco nota (e non solo al grande pubblico) e decisamente di minore importanza, se paragonata alle grandi rivoluzioni paradigmatiche del pensiero scientifico: il declino della teoria vulcanica della genesi dei crateri lunari e l'affermarsi dell'ipotesi meteorica. La vicenda – per i cui dettagli si rimanda alla lettura del percorso – offre, a nostro avviso, numerosi vantaggi dal punto di vista didattico. Essa è, innanzitutto, assai recente. Ancora nel 1952, nella sua prefazione alla terza edizione de *La Luna* di Alfonso Fresa, Giorgio Abetti così parlava delle «Ipotesi recenti» circa la genesi dei crateri lunari:

L'analogia della topografia lunare con quella delle regioni vulcaniche terrestri, come per esempio la somiglianza di alcuni crateri lunari con i laghi vulcanici del Lazio, con i campi Flegrei, con tutta la regione dell'Etna, dovrebbe essere sufficiente a suffragare l'ipotesi che la Luna, probabilmente al momento della sua nascita, staccandosi dal Sole e dalla Terra e perdendo la sua atmosfera, abbia sofferto esplosioni interne che l'hanno ridotta a cose finite e solidificazione avvenuta in quello stato. Ma non tutti la pensano così. Nella nuova edizione sotto «Ipotesi recenti», troviamo quella che i crateri lunari siano di origine meteorica. È noto che negli Stati Uniti, in Arizona, esiste un cratere meteorico del diametro di un chilometro circa [...] il quale presenta notevoli analogie con alcuni crateri lunari. Ma da questa analogia, dedurre che tutti i crateri lunari sono prodotti da meteoriti non sembra proprio il caso, sia in considerazione dei vari aspetti dei crateri, così simili a quelli vulcanici della Terra, sia per tutti

gli studi sulla costituzione vulcanica della Luna e su quella dei materiali depositati sulle varie regioni della sua superficie.

Questa sua vicinanza nel tempo rende la vicenda molto vicina anche al nostro modo di pensare la realtà e di concepire la scienza. In altri termini essa pone, rispetto a vicende avvenute molti secoli or sono, minori problemi di traducibilità, in senso kuhniano, dei concetti coinvolti. Soprattutto, ci sembra che, ben più dei grandi casi esemplari, questa controversia si presti molto facilmente ad un'elaborazione autonoma da parte dello studente, che si presti cioè ad un approccio storico non, come spesso avviene, imposto e calato dall'alto, ma, al contrario, ricostruito e ripercorso dallo studente quasi in parallelo con il suo sforzo di formulare ipotesi esplicative dei fenomeni osservati. L'obiettivo è, in altri termini, quello di realizzare una sorta di esperimento storiografico-didattico, il cui esito probabile, o quantomeno auspicabile, è che gli studenti ripercorran da soli le tappe salienti dello sviluppo storico della vicenda.

Una volta che lo studente abbia, per così dire, vissuto sulla propria pelle le difficoltà di elaborare ipotesi soddisfacenti e di individuare analogie e differenze tra fenomeni apparentemente anche molto diversi, sarà naturalmente compito dell'insegnante evidenziare, al di là della vicenda specifica, gli aspetti più generali dell'evoluzione delle teorie scientifiche. Soprattutto è importante che egli metta bene in luce le ragioni profonde che fanno, di una nuova teoria, una teoria migliore della precedente. L'ipotesi di una genesi vulcanica dei crateri lunari si accordava bene con tutti i fenomeni noti, almeno nella misura nella quale essi erano conosciuti (l'analogia, vera o presunta, dei crateri lunari con molti distretti vulcanici terrestri, la raggiera che circonda alcuni di essi ecc.). Solo con l'emergere di nuove evidenze (le ricerche di Johann H. Schröter, che, sul finire del '700, constatò che la parte del cratere al di sopra della superficie ha praticamente lo stesso volume della depressione; l'intuizione di Alfred Wegener, padre della teoria della deriva dei continenti, prima, e di Barringer poi, sulla natura meteorica del Meteor Crater ecc.), il potere esplicativo della teoria vulcanica andò progressivamente riducendosi e si fece timidamente strada, presso la comunità dei selenologi, la teoria meteorica.

Elementi tipici del cambio del paradigma scientifico

Anche dietro una vicenda apparentemente molto semplice come quella appena illustrata, si nascondono quindi molti aspetti tipici del cambio di un paradigma scientifico:

1. La teoria guida la ricerca nella scoperta di nuove evidenze empiriche, e che una nuova teoria guida la ricerca successiva in modo affatto diverso dalla precedente. Un nuovo paradigma è, per dirla con Kuhn, una sorta di *riorientamento gestaltico*, che «assomiglia, più che a un interprete, a colui che inforca occhiali con lenti invertenti. Sebbene abbia di fronte a sé lo stesso insieme di oggetti di prima e sia cosciente di ciò, egli li trova non di meno profondamente trasformati in parecchi dettagli». ¹ Solo con l'affermarsi dell'ipotesi meteorica dell'origine dei crateri lunari, si è cominciato a "vedere" anche sulla Terra molti crateri d'impatto. Se fino alla metà del secolo scorso il Meteor Crater costituiva l'unico caso, o quasi, unanimemente riconosciuto di cratere meteorico, nel 1972 già una cinquantina di essi era nota. Nel 1991 il loro numero era salito a oltre 130, e nel 2000 a circa 160, e nuovi casi vengono continuamente scoperti.
2. La forte resistenza nei confronti di una nuova teoria da parte della comunità scientifica, i cui membri, di norma, sono molto poco inclini a mutare le loro opinioni e ad abbandonare teorie ormai ben consolidate: «una nuova verità scientifica non viene di solito presentata in un modo che convince i suoi oppositori [...]; piuttosto essi, gradualmente, muoiono uno dopo l'altro, e una nuova generazione cresce familiarizzandosi con la verità fin dall'inizio». ² Resistenza che, nel caso in ispecie, traspare tangibilmente dalle parole di Abetti, che mostrano che fino a pochi decenni or sono, nonostante un numero sempre crescente di evidenze a favore dell'origine meteorica, questa teoria era

¹ Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 (trad. it. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*,» Einaudi, Torino, 1969, p. 151).

² Thomas Kuhn, *The Function of Dogma in Scientific Research*, Heinemann Educational Books, London, 1963, (trad. it. «La funzione del dogma nella ricerca scientifica» in Thomas Kuhn, *Dogma contro critica. Mondi possibili nella storia della scienza*, a cura di Stefano Gattei, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2000, pp. 4-5).

ancora considerata in grado di spiegare, tutt'al più, una minima parte dei crateri lunari.

3. La stretta interrelazione esistente, in ambito scientifico, tra differenti discipline e il fatto che una nuova teoria coinvolge spesso, a cascata, ambiti disciplinari anche assai lontani. La teoria meteorica della formazione dei crateri lunari, ad esempio, non solo deve molto alla geologia applicata (Barringer era un ingegnere minerario), ma ha avuto importanti ricadute in paleontologia: le molteplici e non del tutto convincenti teorie sull'estinzione dei dinosauri, formulate in passato, sono oggi state quasi del tutto soppiantate dall'ipotesi dell'impatto meteorico.