

Due contributi dedicati alle scienze presenti nel volume "Complessità e narrazione" dell'IRRE Toscana, da poco pubblicato dall'Armando, a cura di Franco Cambi e Maria Piscitelli.

IMMAGINI DELLA SCIENZA E COMPETENZE SCIENTIFICHE

di Carlo Fiorentini

LA NATURA DEL MOVIMENTO

TRA ASTRONOMIA, COSMOLOGIA, FISICA, RELIGIONE E SOCIETÀ

Progetto: prof.ssa Paola Falsini (Fisica)

Collaborazione: prof. Giulia Fornaini (Lettere) e Mirta Stampella (Matematica)

Liceo Scientifico "A.M.E. Agnoletti" Sesto Fiorentino

Immagini della scienza e competenze scientifiche

Carlo Fiorentini

Cosa sono le competenze?

*Saperi e competenze*¹ si propone di fare il punto della riflessione, del dibattito, delle proposte e delle sperimentazioni che sono state effettuate negli ultimi anni intorno agli aspetti scolastici fondamentali dal punto di vista culturale e didattico.

Viene innanzitutto precisato il confine della nozione di competenza che, in particolare durante gli anni dell'esperienza ministeriale berlingueriana, aveva assunto un ruolo centrale come parola emblematica del rinnovamento culturale scolastico. Per Cambi, si tratta di un concetto articolato, complesso, che perde di significato se viene ridotto soltanto ad alcuni suoi aspetti, pur importanti. Innanzitutto, senza un bagaglio strutturato di conoscenze (e strutturato significa articolato in aree disciplinari) non vi sono competenze. "Dal complesso lavoro sui saperi devono emergere due tipi di competenze: una <<di contenuto>> e una <<di forma>>". Mentre la prima è legata al possesso di conoscenze specifiche, la seconda "è più una *forma mentis* transdisciplinare, orientata in senso *scientifico e critico*". I saperi implicano inoltre sempre un <<saper fare>>, e ciò significa che i saperi scolastici non possono rimanere inerti, devono essere applicati; non vi è cioè competenza senza

¹ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004.

questi <<saper fare>>, che sono poi specifici dei vari ambiti culturali. Infine, un'altra dimensione fondamentale delle competenze è data dallo sviluppo di capacità riflessive e critiche sui saperi, perché non vi è “conoscenza vera se il conoscere non si applica anche alla conoscenza stessa... Metaconoscenza è possedere dispositivi di lettura trasversale sui saperi, quali la complessità e la narratività”. Tutto ciò deve condurre da una parte “ad apprendere ad apprendere” e dall'altra a stimolare atteggiamenti personali verso la conoscenza, quali *il gusto del conoscere*.

In altre parole, la scuola delle competenze, così intese nella loro complessità e organicità, implica una <<rivoluzione didattica>>, che indubbiamente è già in corso da molto tempo, grazie alle sperimentazioni condotte dalla parte più innovativa della scuola, ma che ha bisogno di essere generalizzata ed istituzionalizzata. Implica inoltre “una pedagogia molto più ricca e sofisticata rispetto a quella attuale² e una didattica scolastica radicalmente rinnovata³ rispetto al formalismo del passato e del presente (da quello disciplinare-espositivo-valutativo e da quello programmatario-verificatorio)”. E' necessario conseguentemente un profondo rinnovamento didattico- relazionale che può essere sintetizzato in tre aspetti centrali, tra loro strettamente intrecciati: ricerca, costruttivismo e motivazione. “La ricerca produce motivazioni e, nel contempo, postula un approccio costruttivo ai saperi, che faccia tesoro, cioè, delle conoscenze pregresse e su quelle venga edificando il ricercare”⁴.

Ci proponiamo con questo nostro contributo di sviluppare, in riferimento all'insegnamento scientifico, queste importanti considerazioni sul complesso concetto di competenza che rappresentano indubbiamente una sintesi della più significativa riflessione epistemologica e pedagogica degli ultimi decenni.

Quali sono i risultati dell'insegnamento scientifico?

Durante i lavori del gruppo di scienze della commissione De Mauro⁵, nel gennaio 2003, discutendo animatamente, avanzammo, nella prima fase, proposte e riflessioni divergenti su quasi tutto, tranne che su 2 o 3 aspetti; uno di questi, su cui l'accordo fu unanime, fu la valutazione sullo stato dell'insegnamento scientifico usuale. Queste sono le considerazioni che vennero scritte nel documento finale del sottogruppo scientifico: “Si constata, tuttavia, sia nella popolazione adulta che

² “In breve, fare pedagogia, oggi, si caratterizza come una elaborazione teorica e pratica contrassegnata da connotati di problematicità, di radicalizzazione, di criticità aperta, capace di ripensare e ristrutturare *ab imis* il discorso articolato e sfuggente, plurale ma insieme unitario, che verte sull'educazione, i suoi fini, i suoi modelli, i suoi processi.” F. Cambi, *La complessità come paradigma formativo*, in M. Callari Galli, F. Cambi, M Ceruti, *Formare alla complessità*, Roma, Carocci, 2003, p.144.

³ F. Cambi (a cura di), *La progettazione curricolare nella scuola dell'autonomia*, Roma, Carocci, 2002.

⁴ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004, pp. 27, 32, 18.

⁵ Questo gruppo era costituito da circa venti esperti, in rappresentanza di tutte le associazioni di didattica delle scienze e di alcune associazioni professionali.

tra i giovani, un sempre più diffuso *analfabetismo scientifico*, rinforzato da una profonda demotivazione all'approfondimento e alla partecipazione. Non si tratta solo di preoccupanti carenze logico-linguistiche, ma anche di un'evidente incapacità di orientamento culturale di base in ambito scientifico, che spesso degrada in atteggiamenti superficiali ed ingenui".

Considerazioni analoghe erano state fatte, negli anni precedenti, da molti esperti, sulla base di ricerche sulle conoscenze scientifiche, che avevano evidenziato che molti studenti di 19-20 anni, dopo molti anni di insegnamento scientifico, continuano ad utilizzare soltanto le loro conoscenze di senso comune, e continuano a condividere su molti aspetti concezioni di tipo prescientifico⁶.

Come può essere spiegata questa drammatica situazione?

Noi pensiamo che la causa fondamentale vada ricercata nell'impostazione formalistica, specialistica dell'insegnamento scientifico prevalente in tutta la scolarità preuniversitaria⁷. E' un insegnamento deduttivistico, addestrativo, basato sulla bignamizzazione⁸, sempre più spinta man mano che si scende ai livelli scolari iniziali, dei manuali del primo anno di università. Da tempo immemorabile sono stati indicati i profondi limiti di questa impostazione, sia dal punto di vista pedagogico-psicologico-didattico che sul piano epistemologico-culturale.

La scienza come dogma

In riferimento agli aspetti culturali, è stata evidenziata da molti, e da moltissimo tempo, la visione dogmatica, banalizzante e riduzionistica presente in questo insegnamento: "Ogni generazione, quindi, esce dalla scuola con l'idea che la scienza sia un fatto certo, un tessuto di teorie assolute e invulnerabili, dietro alle quali c'è solo una preistoria di errori, e il cui futuro sarà dato forse soltanto da sempre migliori applicazioni. In sostanza, l'educazione manualistica della scienza distrugge l'idea che la scienza è una realtà storica, *inculca* l'immagine di una scienza dogmatica. Ed è così che la più antidogmatica tra le attività umane, vale a dire la ricerca scientifica, diventa il supporto del dogmatismo ideologico; la scienza è il frutto di discussioni ininterrotte, di polemiche e di controversie, di fantasie ardite e di critiche severe, e tuttavia quanti, attraverso l'immagine della scienza tratta dai loro manuali, desiderano, per esempio, imporre la loro ideologia, diranno (come

⁶ I risultati delle ricerche effettuate in Italia sono in consonanza con quelle effettuate nel contesto internazionale. Fra le pubblicazioni italiane sono particolarmente preziose le seguenti due: N. Gridellini Tomasini, G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991; G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, Firenze, La Nuova Italia, 1995.

⁷ A. Borsese, C. Fiorentini, *Università e formazione degli insegnanti: il problema della integrazione delle competenze*, in *Università e Scuola*, 1997, 1/R, pp. 37-42; E. Aquilini, *Gli insegnanti e le scienze*, in *Scuola e Didattica*, 2003, n. 6, pp. 19-22; P. Falsini, L. Barsantini, *Una riflessione sulle competenze degli insegnanti nella didattica delle discipline scientifiche*, in *Naturalmente*, 2003, n. 2, pp. 32-34.

⁸ A. Borsese, C. Fiorentini, E. Roletto, *Formule sulla leggibilità e comprensione del testo: considerazioni su una ricerca relativa ai manuali di scienze della scuola media*, in *Scuola e Città*, 1996, n. 12, pp. 524-527.

dicono) che la loro ideologia è scientifica; intendendo con ciò che la loro ideologia è indiscutibile e incontrovertibilmente vera, proprio... come la scienza”⁹.

Watkins¹⁰ aveva osservato che il libro di Khun *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* conteneva nella scelta del linguaggio molti suggerimenti, alcuni espliciti, altri impliciti, di un significativo parallelismo tra la scienza e la teologia. Khun aveva infatti sottolineato il carattere essenzialmente dogmatico dell’insegnamento scientifico: “Si tratta di un’educazione rigida e limitata, forse più rigida e limitata di ogni altro tipo di educazione, fatta eccezione per la teologia ortodossa”¹¹. Kuhn, tuttavia, ne aveva anche indicato la sua funzionalità per la formazione scientifica necessaria per operare all’interno di una determinata tradizione: “Lo scopo di un manuale è fornire al lettore, nella forma più economica e facilmente accessibile, le proposizioni di ciò che la comunità scientifica contemporanea pensa di sapere e le principali applicazioni alle quali questa conoscenza può essere dedicata”¹².

Considerazioni sul ruolo nefasto dell’impostazione dogmatica dell’insegnamento scientifico sono state effettuate da molti altri epistemologi, storici della scienza e scienziati; ci limitiamo a ricordare, fra i molti, Schwab¹³, Holton¹⁴, e più recentemente le riflessioni di Reale¹⁵ e Bernardini durante i lavori della Commissione dei Saggi, istituita dal ministro Berlinguer nel 1997. Le considerazioni di Bernardini possono essere sintetizzate da queste sue parole: “L’insegnamento delle scienze della natura, così come è ancora oggi, non mostra alcuna parentela stretta con forme generali del pensiero razionale”¹⁶.

Questa impostazione è una conseguenza di scelte culturali ideologiche specifiche di tipo dogmatico o la conseguenza di una determinata concezione dell’insegnamento scientifico consistente nel considerarlo soltanto come l’enciclopedia sistematica delle conoscenze (fatti, esperimenti, legge, teorie) attualmente ritenute significative e vere? Ora, dovrebbe a tutti essere evidente che le motivazioni di questa impostazione non stanno generalmente in motivazioni coscientemente dogmatiche, ma in una concezione aculturale e funzionalista del sapere scientifico, in una scelta delle comunità scientifiche di concepire il sapere scientifico in modo non umanistico, non come uno degli strumenti culturali necessari per la formazione alla cittadinanza, ma soltanto funzionale alla formazione e selezione dei futuri ricercatori. Ma l’assenza o la presenza di cultura

⁹ D. Antiseri, *Jenner e la ricerca sulle cause e gli effetti del vaiolo vaccino*, Brescia, La Scuola, 1981, p.27.

¹⁰ J. Watkins, *Contro la scienza normale*, in I. Lakatos, A Musgrave, *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1976, p. 102.

¹¹ T. Khun, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1969, p. 199.

¹² T. Khun, *La tensione essenziale: tradizione e innovazione nella ricerca scientifica* in *La tensione essenziale*, Einaudi, 1985, p. 249.

¹³ J.J. Schwab, P. F. Brandwein, *L’insegnamento della scienza*, Roma, Armando, 1965, p. 75.

¹⁴ G. Holton, *Scienza, educazione e interesse pubblico*, Bologna, Il Mulino, 1995, p. 22-23.

¹⁵ G. Reale, in *Le conoscenze fondamentali per l’apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, p. 374.

¹⁶ G. Bernardini, *ibidem*, p. 252.

scientifico nel cittadino medio non è senza implicazioni con la sua cultura generale e con la sua partecipazione responsabile alla vita delle società democratiche. Ciò è indicato in modo chiaro nel Libro Bianco della CEE del 1995¹⁷.

Il mito dell'insegnamento scientifico contenutisticamente aggiornato

La ricerca scientifica produce in modo sempre più accelerato nuove conoscenze e nuove teorie sempre più concettualmente raffinate e formalmente elaborate. Ed anche in Italia è molto diffusa la consuetudine di aggiornare i manuali e l'insegnamento con conoscenze dichiarative attinenti a queste conoscenze più recenti; si va dal big bang ai buchi neri, dalle manipolazioni genetiche a molte problematiche ambientali. In alcuni casi, le motivazioni sociali e culturali che guidano queste scelte non possono che essere condivise dal punto di vista teorico, ma ciò non è sufficiente per includere questi argomenti nel curriculum se i risultati formativi che si ottengono sono poi in contraddizione con quelle motivazioni. Scelte di questo tipo vengono effettuate spesso anche nella scuola di base.

Arons, in uno dei migliori libri di didattica della scienze pubblicati negli ultimi cinquant'anni, si chiede, riferendosi addirittura ai corsi universitari, quale significato formativo possano avere: 1) lezioni dove si parla di fisica delle alte energie con l'incomprensibile gergo fatto di quark, gluoni, stranezza, ecc., con studenti che non hanno ancora una comprensione adeguata di concetti, quali accelerazione, massa, forza, energia; 2) lezioni di astronomia dove si tratta di nucleosintesi stellare, pulsar, quasar e buchi neri con studenti che non sono in grado di spiegare perché crediamo che la Terra ed i pianeti ruotino intorno al sole; 3) lezioni su DNA, biologia molecolare e struttura dei geni con studenti che non sanno come le diverse sostanze vengono definite e riconosciute, che ad esempio non hanno alcuna idea di che cosa si intenda, dal punto di vista operativo, con le parole "ossigeno", "azoto", "carbonio".

Queste lezioni "sono inutili nel migliore dei casi, e nel peggiore dei casi dannose, dal momento che non c'è abbastanza tempo per affrontare le domande del tipo « Come facciamo a sapere....? Perché crediamo che....? Non è possibile che un flusso di parole incomprensibili possa creare una cultura scientifica; semplicemente esso aggrava il problema che stiamo tentando di risolvere".

Arons non nega, tuttavia, l'importanza educativa che possono avere alcune problematiche più connesse alla contemporaneità, ma a condizione che gli studenti ne comprendano i fondamenti scientifici che ne stanno alla base. "Se invece le questioni si affrontano *senza* un'adeguata comprensione della scienza che ne sta alla base, come purtroppo viene spesso fatto, l'iniziativa

¹⁷ Commissione dell'Unione Europea (a cura di), *Insegnare a apprendere verso la società conoscitiva*, in *Annali della Pubblica Istruzione*, 1995, n. 4, p. 309.

diventa speciosa. Gli studenti sono indotti nell'errore di pensare di aver compiuto un'indagine e di possedere una conoscenza dei problemi mentre, in effetti, si sono limitati ad usare dei termini tecnici di cui non comprendono il significato, e hanno avuto a che fare solo con generalizzazioni vuote, prive di sostanza e di un'autentica riflessione. In questi casi sono stati incoraggiati in maniera insidiosa ad abbracciare l'idea fin troppo diffusa, secondo cui <<ogni opinione è valida quanto ogni altra>>. "Mi sembra che l'onestà intellettuale dovrebbe richiedere che gli studenti acquisiscano una certa comprensione genuina dei concetti, delle teorie, e delle scoperte scientifiche alla base del grande problema specifico che stiamo esaminando, e non devono essere incoraggiati a discorrere in maniera vuota di argomenti che essenzialmente non capiscono. Con studenti che già posseggono il retroterra concettuale necessario è possibile discutere subito di questi argomenti. Ma con studenti privi di idee su che cosa significhi <<energia>> (molti la considerano un qualche tipo di sostanza materiale) (...). Con studenti che non hanno alcuna base per credere al fatto che la struttura della materia sia discreta (conoscendo solo una successione di nomi, come <<atomo>>, <<molecola>>, <<nucleo>>, <<elettrone>>, presentati loro attraverso delle dichiarazioni senza alcuna esame di qualche prova sperimentale, di qualche ragionamento che servano a spiegare il significato dei nomi stessi) (...). Infine con studenti che sono ancora aristotelici nel loro uso di frasi teleologiche e nella loro ignoranza della legge d'inerzia; con studenti di questo tipo è intellettualmente specioso e disonesto condurre la discussione iniziale senza aiutarli prima a formarsi e a capire i concetti prioritari essenziali".

Qual è l'alternativa indicata da Arons? "E' indispensabile riprendere, rallentare, diminuire il numero di argomenti, e dare agli studenti la possibilità di seguire e interiorizzare lo sviluppo di un piccolo numero di idee scientifiche, presentate in quantità tale e con un ritmo tale da permettere una conoscenza di tipo operativo, e non solo dichiarativo ... Gli studenti devono avere il tempo di formarsi i concetti, di pensare, di ragionare, e di percepire i collegamenti. Devono discutere le idee, e devono scrivere qualcosa a riguardo".

Arons utilizza una problematica scientifica presente in molti corsi anche di carattere elementare per evidenziare sia l'insignificanza formativa dell'utilizzo di gergo scientifico che le potenzialità presenti per rendere gli studenti consapevoli del ruolo della scienza nello sviluppo intellettuale. Perché gli oggetti cadono? Spesso già nella scuola elementare viene fornita la risposta che gli oggetti cadono a causa della gravità. Si dà così l'impressione al bambino di avere ricevuto una spiegazione. "Sia da parte di colui che fornisce, sia da parte di colui che riceve non vi è alcun sentore dell'<<informazione>> secondo cui *il nome tecnico non contiene una conoscenza né una comprensione, ma nasconde semplicemente l'ignoranza circa la natura del fenomeno*". Se la stessa domanda viene fatta a studenti universitari è probabile che si abbia la stessa risposta. Poche

persone conoscono la storia di questo nome: che, all'inizio, il termine gravità indicava un effetto teleologico, la tendenza, cioè, degli elementi pesanti (acqua, terra) ad andare verso il centro della Terra, e che vi era un termine "levità" che indicava la tendenza opposta ad andare verso l'alto degli elementi leggeri, aria e fuoco. Newton, rinunciando a qualsiasi spiegazione sulla causa della gravità, formulò la teoria che vi sia un'unica forza di attrazione tra i corpi, responsabile sia della caduta delle mele sulla Terra, come della rotazione dei pianeti intorno al Sole. Ed anche oggi, "nonostante l'eleganza e la bellezza della teoria della relatività generale, non abbiamo tutt'ora la minima idea di come <<funzioni>> la gravità".

In riferimento a queste problematiche scientifiche vi sono delle consapevolezza culturali sconosciute alla maggior parte degli studenti. Solo pochi studenti hanno un'idea della rivoluzione culturale verificatasi nel XVII secolo, quando si rinunciò all'idea che i corpi celesti fossero fatti di sostanze diverse da quelle della Terra e si accettò la concezione che tutto l'universo, che iniziò ad essere concepito come un tutto, fosse governato dalle stesse leggi naturali. "Il modo in cui ogni individuo guarda a se stesso e al suo posto nell'universo è profondamente condizionato dalla sua eredità proveniente da Galileo, Cartesio, Newton e altri filosofi naturali del diciassettesimo secolo. Una persona colta dovrebbe essere cosciente di questa eredità in termini concettuali, storici e culturali, e non solo nella semplice asserzione dei risultati finali. Qui vi è l'occasione di un altro passo significativo verso una maggiore cultura scientifica"¹⁸.

Le competenze scientifiche ed i manuali

L'impostazione usuale dell'insegnamento scientifico ha mostrato il suo fallimento anche dal punto di vista strettamente delle competenze disciplinari. A nostro parere, la situazione è molto più grave di quanto indicato da Cambi, e ciò dovrebbe, a maggior ragione, rendere possibile, perché necessario anche rispetto alla dimensione lineare dei saperi, quanto auspicato dal Cambi stesso: "Competenza non è solo trasferibilità delle conoscenze acquisite, ma implica anche il modo in cui le si possiede (conseguente a quello in cui le si è acquisite): se solo applicativo o cosciente dei fondamenti o capace di leggere anche le implicazioni parallele e fissarne gli effetti pubblici (= sociali). Competenza scientifica non è solo competenza tecnica (applicativa ed esecutiva)"¹⁹.

Condividiamo, ovviamente, questa idea complessa di competenza scientifica, e pensiamo che questa rappresenti realisticamente oggi la posta in gioco, perché pensiamo che anche la sola competenza tecnica non esista più nella maggioranza degli studenti alla fine della scuola secondaria superiore; questa competenza, con tutti i limiti della sua visione riduttiva, è esistita nel passato,

¹⁸ A. B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli, pp 371, 372, 373, 374, 384,387, 380, 381.

¹⁹ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2000, p.80.

comunque in una minoranza, quando essa contribuiva potentemente a selezionare la maggior parte degli studenti. Conseguentemente riteniamo che oggi vi siano le condizioni socio-culturali che effettivamente possano permettere un insegnamento scientifico problematico, critico, perché oggi è molto più evidente rispetto al passato che anche l'acquisizione stabile delle nozioni scientifiche fondamentali diventa possibile con un insegnamento radicalmente diverso da quello manualistico tradizionale. Oggi la critica principale che può essere rivolta a questa impostazione manualistica è che essa non è più neanche in grado di far raggiungere nozioni stabili disciplinari lineari alla maggioranza degli studenti. Vi sono oggi le condizioni per una critica più radicale dei manuali scientifici di quella fatta da Cambi, quando afferma "Ora, le <<scienze normali>> stanno sì nei manuali e nei loro esercizi, e i manuali hanno una dimensione convergente e lineare a caratterizzarli, in modo che il quadro sincronico dei saperi venga rispettato, anche se tale sincronizzazione è a sua volta un problema. Ma le competenze che da quei manuali vanno estratte e consolidate nei soggetti (gli allievi) possono essere curvate in molti sensi e possono ricevere varie <<intonazioni>> per così dire. Possono dogmatizzarsi o possono criticizzarsi a loro volta"²⁰. E, a nostro parere, invece, è soltanto questa critica più radicale che può permettere la realizzazione delle competenze nel significato complesso ed integrato indicato dallo stesso Cambi. Non pensiamo, quindi, che le competenze dei manuali scientifici usuali²¹, anche solo tecniche, possano essere curvate e utilizzate per realizzare competenze più generali.

Di meno è di più

Una delle caratteristiche di questa impostazione è la quasi totale mancanza di un'idea di *curricolo verticale*²²; anche per molti esperti di didattica delle scienze, ad ogni livello scolastico, a partire dalla scuola elementare, si dovrebbe insegnare un po' di "tutto", ovviamente si aggiunge in un "modo adatto agli studenti di quel livello"; il "tutto" avendo a disposizione, in tutta la scuola di base e quando va bene, 2 ore alla settimana. In pratica non viene affrontato in modo significativo per lo studente nessun argomento, né dal punto di vista tecnico, specifico, né dal punto di vista problematico, critico. La regola sono la fretta, la superficialità, il nozionismo. Il risultato è la mancanza dello sviluppo di qualsiasi competenza, o ancora peggio dello sviluppo di una qualsiasi

²⁰ Ibidem, p. 80.

²¹ "I veri programmi li fanno gli editori, che si basano su un modello di insegnante molto conservatore in vista delle adozioni e dei conseguenti profitti (basterebbe citare il caso dei manuali di 1000 e più pagine/anno, concepiti con l'idea che così gli insegnanti li trovano completi avendo un margine di scelta personale per le 100 pagine che effettivamente impiegheranno" (C. Bernardini, in *Le conoscenze fondamentali per l'apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, pp. 120.

²² C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo scientifico?*, in F. Cambi, *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola dell'autonomia*, Firenze, Le Monnier, 2000, pp. 275-290.

dimensione del concetto di competenza. Nel passaggio da un livello scolare all'altro si riparte sempre da capo, non essendoci nessuna base significativa di competenze su cui costruire.

Per avere un insegnamento significativo sono necessari, invece, tempi lunghi - tempi adeguati - per ciascuna problematica affrontata²³; se viceversa i tempi impiegati sono più simili a quelli degli *spot* televisivi, o detto in altre parole, sono quelli di un insegnamento nozionistico, trasmissivo, libresco, dove è compito principale dello studente comprendere, leggendo e studiando a casa le pagine assegnate, come è immaginabile che resti nello studente qualche conoscenza e che si sviluppi contemporaneamente, seppur gradualmente, *il gusto del conoscere?*

Indubbiamente una delle caratteristiche dell'insegnamento scientifico dovrebbe essere quella di sviluppare nello studente una "forma mentis" logica, sistematica, rigorosa. Infatti una qualsiasi disciplina scientifica ha una sua organizzazione specifica, caratterizzata da relazioni precise fra i vari concetti, e da un lessico proprio; quando le parole che si usano sono anche utilizzate nella vita quotidiana, hanno in quel contesto disciplinare uno specifico significato che potrebbe non avere nulla in comune o addirittura essere in contraddizione con il significato quotidiano.

Lo studente può gradualmente sviluppare questa "forma mentis" soltanto se questi aspetti fondamentali della disciplina adulta li potrà gradualmente costruire durante tutto l'arco della scolarità preuniversitaria, se si troverà costantemente nella situazione di vivere situazioni problematiche - sul piano sperimentale e/o teorico e/o culturale e/o sociale - che lo porteranno a comprendere l'utilità o la necessità, o la possibilità di una nuova ipotesi, di un nuovo concetto, di una determinata generalizzazione, di una formula, di una teoria più generale. Se, viceversa, tutto ciò gli viene proposto nella modalità usuale dei manuali, in modo asettico, non contestuale, non problematico, già ripulito e rifinito, il risultato, nella mente dello studente, non è il rigore, la razionalità, la logica, ma la mancanza di comprensione, di *significato*, e quindi l'opposto di tutto ciò.

Bruner ci ricorda costantemente la fondamentale importanza del "fare significato", che "senza il conferimento di un significato non ci può essere linguaggio, né mito, né arte - e non ci può essere cultura... I significati permeano le nostre percezioni e i nostri processi di pensiero in un modo che non esiste in nessun'altra parte del regno animale... Per capire bene il 'significato' di qualcosa è indispensabile una certa consapevolezza dei diversi significati che possono essere attribuiti alla cosa stessa, indipendentemente dal fatto che si concordi o meno con esse"²⁴. Ed anche "le epistemologie attuali tendono ad assumere al centro una precisa connotazione interpretativa, anti-riduzionistica e

²³ E' molto interessante l'articolo di S. Tamburini *Cambiare la scuola in America*, pubblicato in *Sapere*, 1997, n. 5: viene presentato *Project 2061*, un progetto americano preparato per rinnovare radicalmente l'insegnamento scientifico-matematico-tecnologico. Tra le innumerevoli proposte avanzate, vi è un totale ridimensionamento degli aspetti formalizzati. In più punti si parla invece di *comprensione qualitativa*.

²⁴ J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano Feltrinelli, 1997, p. 179, 27.

disponibile ad un pluralismo metodologico, nutrita di coscienza storica e capace di cogliere, al di là della semantica e della sintassi, anche il ‘senso’ di ogni sapere”²⁵.

Per comprendere qualcosa in ambito scientifico non si può trattare i termini e i concetti scientifici come se fossero venuti alla luce nel modo in cui sono presentati usualmente nei manuali; sono “decontestualizzati, liberati di ogni ambiguità”, ormai senza vita, *senza significati*. “Comprendere una cosa in un certo modo è ‘giusto’ o ‘sbagliato’ solo dalla particolare prospettiva da cui la si considera. Ma l’‘esattezza’ di una particolare interpretazione, pur dipendendo dalla prospettiva, implica anche il rispetto di regole quali quelle della dimostrazione, della concordanza e della coerenza. Non tutto è accettabile. Esistono dei criteri intrinseci di giustezza, e la possibilità di interpretazioni diverse non le autorizza tutte indiscriminatamente”²⁶.

Ogni problematica importante ha bisogno di tempi molto lunghi per essere appresa in modo significativo, per diventare competenza; ciò implica considerare le variabili tempo e quantità dei contenuti in modo responsabile e non demagogico. “Questo tipo di ragionamento a sua volta implica che l’obiettivo dell’istruzione non sia tanto l’ampiezza, quanto la profondità”. Considerazioni di questo tipo erano presenti anche nel documento conclusivo della Commissione dei Saggi ed erano rivolte all’insegnamento di tutte le discipline scolastiche²⁷. Programmi di alto livello non sono quei programmi che fanno qualche riferimento a tutti gli aspetti fondamentali dell’enciclopedia scientifica, ma quelli che, effettuando scelte precise, hanno una quantità di contenuti effettivamente compatibili con un insegnamento che ha bisogno di tempi lunghi²⁸. Questa esigenza è, a nostro parere imprescindibile sia nella scuola di base²⁹ che nella scuola secondaria

²⁵ F. Cambi, *La complessità come paradigma formativo*, in op. cit. p. 142.

²⁶ J. Bruner, op. cit., p. 27.

²⁷ “Elemento cruciale per l’apprendimento è dato dalla qualità delle esperienze che insegnanti e studenti realizzano in relazione alle aree di studio ... L’istruzione non può e non deve mirare ad essere enciclopedica. Sezioni diverse del sistema scolastico hanno livelli e scopi diversi, ma in ognuna di esse la regola dovrebbe essere l’insegnamento di alcune cose bene e a fondo, non molte cose male e superficialmente: si deve avere il coraggio di scegliere e di concentrarsi”. (R. Maragliano, *Sintesi dei lavori della Commissione tecnico-scientifica*, in *Le conoscenze fondamentali per l’apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, p. 78.

²⁸ L. Barsantini, *Sull’insegnamento della fisica*, in *Insegnare*, 2000. n. 5, pp. 42-45.

²⁹ Sono stati pubblicati negli ultimi anni due progetti curriculari per la scuola di base che hanno indubbiamente molti aspetti pedagogico-culturali in comune; differiscono radicalmente, tuttavia, sulla scelta delle problematiche, sull’idea che “sia possibile insegnare qualsiasi cosa a qualsiasi età” con le modalità opportune. Il primo progetto, legato a questa visione è stato pubblicato in questi due libri: F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *Il senso di fare scienze. Un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, Torino, Bollati Boringhieri, 1995; F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *I modi di fare*

superiore. “Il nemico della riflessione è il ritmo a rotta di collo – le mille immagini. In un certo senso profondo, possiamo dire dell’apprendimento, e in particolare dell’apprendimento di materie scientifiche, quello che diceva Mies van der Rohe a proposito dell’architettura, che ‘di meno è di più’³⁰.

Se concentriamo la nostra attenzione sulla secondaria superiore non è da molto tempo più accettabile, se si vogliono sviluppare negli studenti competenze, che il programma (o meglio che i manuali) delle varie discipline scientifiche sia più o meno lo stesso a prescindere dalla collocazione di ciascuna disciplina nel piano di studi di ciascun indirizzo; è una situazione ben diversa avere a disposizione 2-3 alla settimana soltanto per un anno scolastico o per 3 o più anni. Evidentemente la quantità delle problematiche che possono essere affrontate dipende innanzitutto ed in modo determinante da questo aspetto.

Il che cosa insegnare?

Il caso della chimica, come esempio emblematico

Una volta risolto il problema fondamentale della quantità, si pone il nodo ugualmente molto problematico e controverso del che cosa scegliere. Vi sono indubbiamente principi di carattere generale, validi per tutte le discipline scientifiche che debbono guidare nella scelta, quali fra tutti l’accessibilità cognitiva e l’importanza culturale-disciplinare delle problematiche individuate. Vi sono, a questo proposito, importanti indicazioni anche nel *Libro bianco* della CEE del 1995:” La profonda trasformazione in corso del contesto scientifico e tecnico richiede dunque che, nel suo rapporto con la conoscenza e l’azione, l’individuo sia in grado, anche se non mira ad una carriera di ricercatore, di assimilare in un certo modo i valori dell’attività di ricerca: osservazione sistematica, curiosità e creatività intellettuali, sperimentazione pratica, cultura della cooperazione ... In effetti la normalizzazione del sapere che permette di ottenere un diploma superiore è eccessiva. Essa induce a pensare che tutto debba essere insegnato in un ordine strettamente logico e che grazie alla padronanza di un sistema deduttivo, fondato su nozioni astratte, dove le matematiche svolgono un ruolo dominante, si può produrre e identificare la qualità. In alcuni casi, il sistema deduttivo può

scienze, Torino, Bollati Boringhieri, 2000. Ed anche il secondo progetto è stato pubblicato in due libri: L. Barsantini, C. Fiorentini, *L'insegnamento scientifico verso un curriculum verticale. Volume primo. I fenomeni chimico-fisici*, L'Aquila, IRSSAE Abruzzo, 2001; G. Cortellini, A. Mazzoni, *L'insegnamento delle scienze verso un curriculum verticale. Volume secondo. I fenomeni biologici*, L'Aquila, IRSSAE Abruzzo, 2002.

³⁰ J. Bruner, op. cit., pp. 10, 142.

essere paralizzante ed uccidere l'immaginazione. Presentando le cose come totalmente costruite, fa dell'allievo un soggetto passivo e frena la tendenza alla sperimentazione"³¹.

Proposte ancora più pregnanti vennero formulate dalla Commissione dei Saggi sia per la scuola di base che per la secondaria superiore; ci limitiamo a riprendere quelle per la secondaria superiore: "A livello superiore si condivide l'esigenza di immettere negli insegnamenti delle scienze fisico-naturali una prospettiva critica di natura storico-epistemologica, che ne consenta l'integrazione nel sistema dei saperi sociali e permetta anche di accogliere la tecnologia come ambito e strumento di conoscenza, e come tramite con le attività di produzione di beni e servizi. Su un piano più generale, si dovrà operare al fine di mettere gli allievi nelle condizioni di far fronte all'incertezza, intesa come istanza epistemologica propria delle scienze contemporanee, e come ambito entro il quale far esercitare le dimensioni di responsabilità della scelta e il coinvolgimento etico che essa comporta"³².

Preferiamo, tuttavia, per maggiore chiarezza, entrare nel merito di una specifica disciplina, la chimica, per meglio evidenziare la portata culturale delle scelte che è necessario effettuare. La quasi totalità dei manuali di chimica hanno un'impostazione centrata sulle acquisizioni scientifiche del Novecento, ed in particolare sulla struttura atomica, i vari tipi di legame chimico, la struttura molecolare. Nei vari capitoli appaiono anche conoscenze (fatti, concetti, leggi) che risalgono a fasi precedenti della storia della chimica, ma in modo definitivo, nozionistico, asettico, e, comunque, come esemplificazione, illustrazione, in una logica deduttiva, dei concetti fondanti il sapere chimico attuale, quelli di tipo microscopico. Vi sono poi molte problematiche affrontate, nel modo appena indicato, in capitoli (o, pardon, unità didattiche o moduli di 10-15 pagine) che costituiscono nella organizzazione attuale del curriculum universitario branche specialistiche ampie e complesse (è sufficiente pensare alla termodinamica³³). Questi manuali sono caratterizzati da una logica totalmente deduttivistica, centrata sul microscopico.

La riflessione pedagogica ha, da molto tempo, evidenziato come sia psicologicamente assurdo un approccio deduttivistico come primo approccio ad una qualsiasi disciplina; è in questo senso emblematico il cammino fatto dalla didattica della geometria durante il Novecento, che ha portato ad indicare la necessità di una lunga fase di insegnamento basato sulla *geometria intuitiva ed operativa* prima di passare alla geometria deduttiva. E stiamo parlando di un sapere emblematico da

³¹ Commissione dell'Unione Europea (a cura di), *Insegnare e apprendere verso la società conoscitiva*, in *Annali della Pubblica Istruzione*, Il Mulino, Bologna, 1995, p. 311.

³² R. Maragliano, *Sintesi dei lavori della Commissione tecnico-scientifica*, in *Le conoscenze fondamentali per l'apprendimento dei giovani nella scuola italiana nei prossimi decenni. I materiali della Commissione dei Saggi*, Firenze, Le Monnier, 1997, pp. 81-81.

³³ P. Mironi, *La termodinamica può essere insegnata agli adolescenti?* In *Nuova Secondaria*, 1994, n. 3, pp. 78-81.

millenni di un'organizzazione effettivamente deduttiva, dove è possibile con passaggi logici, con ragionamenti, ricavare nuove conoscenze, nuovi teoremi, sulla base delle conoscenze possedute. Ma nel caso dell'organizzazione deduttivistica dei manuali di chimica siamo di fronte non solo ad assurdità di tipo psicologico-didattico, inerenti ad un impostazione deduttiva come primo approccio ad un sapere, ma ad una "farsa" del deduttivismo. Infatti nel caso della chimica, quella strutturazione di tipo espositivo-esplicativo, per cui l'introduzione di conoscenze microscopiche permetterebbe di descrivere e contemporaneamente spiegare fenomeni e leggi macroscopiche, opera in funzione non di ragionamenti deduttivi simili a quelli della geometria, necessari logicamente, ma di connessioni e ragionamenti legati all'esplorazione sperimentale e teorica, di carattere chimico-fisico, della realtà, effettivamente comprensibili soltanto a chi ha ampie e solide conoscenze specialistiche, acquisibili nella formazione universitaria specifica. Senza questa solida competenza, siamo di fronte ad una congerie di nozioni, apparentemente ben organizzate deduttivamente, che non possono, tuttavia, che essere memorizzate nel modo più meccanico, ma a cui non corrisponde, per lo studente, nessun *significato*, nessuna competenza³⁴. O meglio (sarebbe da dire, tragicamente, peggio), il significato che viene attribuito anche da molti insegnanti che si rendono, in parte, conto delle assurdità che insegnano, è quello che queste nozioni servono per superare i test di ammissione ad alcuni corsi di laurea, come quello di medicina³⁵.

Il modello alternativo di insegnamento della chimica

L'alternativa a questo modello deduttivistico ha iniziato ad essere prospettata in Italia durante gli anni 60 da alcuni universitari illuminati ed è stata sempre più rifinita ed articolata negli anni successivi, arrivando ad essere sancita formalmente anche in un programma ministeriale, che, tuttavia, è rimasto confinato in poche scuole sperimentali, il programma del *Laboratorio di fisica e chimica* del *Progetto Brocca* del 1989.

³⁴ Fra gli innumerevoli articoli che hanno messo in evidenza o la difficoltà dell'insegnamento, nella scuola secondaria superiore, di determinate problematiche della chimica o i risultati dell'insegnamento chimico usuale ci limitiamo a ricordarne alcune: A. Roletto, B. Piacenza, *Il concetto di sostanza: una indagine sulle concezioni degli studenti universitari*, in *La chimica nella Scuola*, 1993, n. 5, pp. 11-15; B. Piacenza, E. Roletto, *Il concetto di densità: difficoltà di apprendimento*, in *Didattica delle Scienze e Informatica nella Scuola*, 199, n. 172, pp. 19-22; P. Mirone, *Per un più efficace insegnamento delle scienze*, in *Nuova Secondaria*, 1995, n. 5, pp. 21-24; L. Benedetti, P. Mirone, *Lacune concettuali negli studenti universitari di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1995, n. 2, pp. 43-47; P. Mirone, *Per una definizione operativa del concetto di reazione*, in *Nuova Secondaria*, 1996, n. 2, pp. 84-86; P. Mirone, *Considerazioni sul concetto di reazione chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1998, n. 2, pp. 49-51; P. Mirone, *Perché la chimica è difficile?* In *La Chimica nella Scuola*, 1999, n. 3, pp. 67-70; P. Mirone, E. Roletto, *Un'indagine sulle concezioni delle matricole di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1999, n. 4, pp. 116-121; P. Mirone, *Gli orbitali sono realmente necessari nell'insegnamento della chimica?* In *La Chimica nella Scuola*, 2003, n. 4, pp. 103-107; G. Del Re, *Nota sul concetto di legame chimico*, in *La Chimica nella Scuola*, 1996, n. 5, pp. 155-157; R. Gillespie, *Legame senza orbitali*, in *La Chimica nella Scuola*, 1997, n. 1, pp. 2-5.

³⁵ G. Bini, A. Borsese, *Alcune considerazioni sui test per l'ammissione all'Università in Italia*, *Scuola e Città*, 1995, n. 9, pp. 384-389.

Questo programma, che si riferiva ad alcuni bienni della scuola secondaria superiore, prevedeva un'impostazione dell'insegnamento della Chimica completamente basato sulla *Chimica classica*, cioè, sulle teorie e i concetti fondamentali della chimica, quali si erano sviluppati, durante il Settecento e l'Ottocento, prima delle rivoluzionarie scoperte sulla struttura dell'atomo. Il progetto Brocca prevedeva, per questi indirizzi tecnici, l'insegnamento della chimica del Novecento usuale nel triennio. Ma il progetto Brocca non entrò mai in ordinamento, e quando a metà degli anni novanta il Ministero della P. I. decise lo svecchiamento dei programmi dei bienni degli Istituti tecnici, utilizzò i programmi Brocca del biennio per tutte le discipline, tranne Chimica e Fisica. Fu proposto per queste due materie un programma enciclopedico-nozionistico usuale, con la motivazione che il programma del *Laboratorio di fisica e chimica* non poteva essere assunto, non essendo presenti queste due discipline nel triennio, come invece era previsto dal progetto Brocca. Evidentemente per il Ministero tutte le motivazioni culturali, pedagogiche e didattiche che stavano alla base (ed erano chiaramente enunciate) del programma del *Laboratorio di fisica e chimica* erano "chiacchiere" inconsistenti; ciò che doveva, comunque, essere preservato era il canone tradizionale, accademico, dell'insegnamento della chimica e della fisica.

Il programma del *Laboratorio di fisica e chimica* rimane indubbiamente il documento ufficiale più importante³⁶, in relazione all'insegnamento di discipline scientifiche degli ultimi cinquant'anni, perché, in particolare in riferimento alla Chimica, contiene queste fondamentali scelte di tipo culturale, fondate su motivazioni pedagogico-psicologico-didattiche: l'insegnamento della chimica, nella scuola secondaria superiore, deve basarsi sull'osservazione-sperimentazione di trasformazioni chimiche, sulle leggi macroscopiche e sui modelli microscopici a loro strettamente connessi. Nelle finalità di questo programma troviamo queste indicazioni: "Prima di giungere ad una sistemazione complessiva è però opportuno che lo studente prenda contatto concretamente con i problemi e i temi tipici delle discipline, ad evitare il pericolo sempre presente che una trattazione teorica perda, nella mente degli studenti, il contatto con il mondo reale che quella teoria cerca di interpretare. A livello del biennio, quindi, è indispensabile che l'insegnamento di alcuni temi portanti delle due discipline sia condotto in modo strettamente sperimentale ... Nei contenuti indicati non è da ricercarsi la logica convenzionale delle due discipline, Chimica e Fisica. I principali criteri che hanno ispirato la scelta dei contenuti sono i seguenti: partire dall'osservazione macroscopica dei corpi, sostanze e fenomeni del mondo che ci circonda per giungere in modo graduale all'aspetto particellare senza entrare nel merito del modello elettronico della struttura atomica"³⁷.

³⁶ P. Violino, *Alcune considerazioni sul Laboratorio di fisica e di Chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 1994, n. 5, pp. 132-136; F. Olmi, *Ripensare i fondamenti dell'insegnamento della chimica al biennio*, in *La Chimica nella Scuola*, 1997, n. 1, pp. 9-13.

³⁷ *Piani di studio della scuola secondaria superiore e programmi dei primi due anni. Le proposte della Commissione Brocca*, Firenze, Le Monnier, p. 281, 1991.

Questo programma è esente da limiti? Non ci sono critiche da rivolgergli? Ci fu chi, subito, si scandalizzò, denunciando un approccio ingenuamente induttivistico. Anche noi pensiamo che questa critica aveva qualche fondamento, ma chi la faceva riproponeva sostanzialmente l'approccio tradizionale deduttivistico, sistematico, addestrativo. Il ribadire con enfasi l'importanza di un'impostazione operativa, laboratoriale³⁸ rappresentava (come rappresenta ancora oggi) un aspetto fondamentale dell'insegnamento scientifico anche nella scuola secondaria superiore. Tuttavia il programma dava poche indicazioni metodologiche ulteriori, e poteva essere interpretato in una prospettiva totalmente induttiva, cadendo così in un atteggiamento banalmente induttivistico, sia dal punto di vista epistemologico che pedagogico-didattico. Ma esso poteva (ed oggi, a maggior ragione) essere anche interpretato in una prospettiva completamente diversa, molto più attenta alle modalità complesse con cui si sviluppa la conoscenza scientifica. L'epistemologia contemporanea, - da Koyrè a Bachelard, da Popper a Kuhn e Feyerabend - e la storia della scienza del Novecento - da Elkana a Jammer, dalla Metzger ad Holton, da Gillespie a Rocke - ci hanno, infatti, fatto, comprendere anche l'inconsistenza di una concezione empirista della scienza: che "fare scienza è un cammino variegato e accidentato, dove l'intuizione, l'analogia, la stessa immaginazione conta e conta molto"; ci hanno proposto "una nuova immagine della scienza: più complessa e complicata, non lineare, più storicizzata, più autenticamente critica, in quanto capace di leggere senza paraocchi la complessità e la varietà del suo procedere"; e "che gli scienziati usano ogni sorta di ausili, intuizioni, storie e metafore per cercare di far sì che il loro modello speculativo si adatti alla "natura. Useranno tutte le metafore, tutte le figure, favole o fole che possono capitare sulla loro strada"³⁹.

Rispetto alle modalità prevalenti sistematico-deduttivo-addestrative dell'insegnamento scientifico, il ribadimento della centralità del laboratorio e più in generale di impostazioni operative costituisce una risposta importante, rappresenta una condizione necessaria per il rinnovamento dell'insegnamento scientifico, ma tutt'altro che sufficiente; anzi noi pensiamo che questa risposta, che è mossa da esigenze genuine in contrapposizione ad un insegnamento nozionistico, vuoto di significati, sia destinata, di per sé, alla sconfitta, perché un'impostazione radicalmente induttiva nella scuola superiore non è in grado minimamente di risolvere il problema dell'insegnamento di leggi e teorie scientifiche in un modo significativo, come è più volte avvenuto durante il Novecento,

³⁸ Nelle finalità del programma vi erano queste considerazioni: "Il termine laboratorio sta ad indicare il carattere operativo di questo insegnamento. Naturalmente ci si riferisce ad una operatività sia mentale che concreta: gli studenti vengono educati ad operare al fine di trasformare la realtà indagata in rappresentazioni mentali (conoscenze, concetti, intuizioni) e ad utilizzare le rappresentazioni mentali acquisite per ulteriori indagini nella realtà concreta", *ibidem*, p. 281.

³⁹ F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004, p.77-78. J. Bruner, *Op. cit.*, p. 138. (Bruner ricorda come N. Bhor confessò di essere arrivato all'idea di complementarità in fisica, a partire da un dilemma morale che riguardava suo figlio).

ogni qual volta tentativi di questo tipo sono stati realizzati. E' emblematico in questo senso il progetto Nuffield per la chimica, che si proponeva di insegnare i concetti e le teorie della chimica classica con un'impostazione induttiva: era costituito da un libro per l'insegnante e da un insieme di schede per attività di laboratorio, per gli studenti. Era una proposta molto innovativa, che era stata progettata in Inghilterra durante gli anni sessanta, e che era arrivata 20 anni prima del progetto Brocca alle stesse conclusioni culturali rispetto a quale chimica dovesse esser insegnata come prima chimica; venne tradotta dalla Zanichelli all'inizio degli anni settanta⁴⁰, ma sostanzialmente non fu mai utilizzato in modo stabile da nessun insegnante. Per quali motivi?

Noi pensiamo che il motivo fondamentale, per cui non fu adottato stabilmente da quasi nessuno, fu l'impostazione totalmente induttivistica, la totale mancanza di sistematicità, il ridurre l'insegnamento della chimica all'esecuzione di molti esperimenti che non si riusciva a riportare a comportamenti generali, a leggi, a teorie, a connettere, cioè, in un sistema.

Nella scuola secondaria superiore, quando si affronta una qualsiasi disciplina scientifica, vi sono due aspetti fondamentali, apparentemente contraddittori, che, se non vengono affrontati contemporaneamente, si vanifica qualsiasi tentativo di rendere l'insegnamento scientifico significativo: vi è la necessità di un insegnamento, da una parte, centrato sul "fare significato" – e quindi situato, contestuale, problematico, riflessivo, metacognitivo – e dall'altra che porti gradualmente alla costruzione di un sistema teorico, ad un'organizzazione che dia ordine, e che indichi regolarità tra le varie conoscenze specifiche.

Nell'insegnamento scientifico, le molteplici dimensioni del concetto di competenza si tengono l'una con l'altra: le competenze più strettamente disciplinari, lineari, sistematiche si possono sviluppare, nello studente della scuola di tutti, se innanzitutto viene messo al centro dell'insegnamento la motivazione dello studente, e quindi quelle scelte didattiche e culturali che possono costantemente mantenere vivo l'interesse e la partecipazione degli studenti: didattiche costruttiviste, lo spirito di ricerca, il confronto tra pari, l'accessibilità cognitiva delle problematiche su cui si lavora, lo sviluppo di competenze metacognitive, "l'imparare ad imparare" sono le condizioni irrinunciabili dello sviluppo delle competenze scientifiche, contemporaneamente ed in modo non separabile, nella realtà scolastica attuale, sia nella dimensione disciplinare sistematica che in quella critica e riflessiva.

Le proposte culturali sostanziali del progetto Nuffield e del programma del *Laboratorio di fisica e chimica* possono essere a nostro parere realizzate, superando quindi prospettive angustamente induttivistiche, integrando la dimensione didattica disciplinare in esse contenute con alcune

⁴⁰ *Nuffield Chimica, Livello I*, Bologna, Zanichelli, 1973; *Nuffield Chimica, Livello II*, Bologna, Zanichelli, 1974.

acquisizioni epistemologiche e psicopedagogiche evidenziate, nei loro risvolti educativi soprattutto negli ultimi venti anni, in particolare grazie al contributo di Bruner.

L'importanza dell'intersoggettività

La tesi centrale della *cultura dell'Educazione* è che la cultura plasmi la mente, che fornisca gli attrezzi per mezzo dei quali “costruiamo non solo il nostro mondo, ma la nostra concezione di noi stessi e delle nostre capacità (...) Invece di vedere la cultura come qualcosa che viene ‘aggiunto’ alla mente o che in qualche modo interferisce con i processi elementari della mente, è meglio pensare che sia *nella* mente...E’ un approccio radicalmente diverso da quello riduzionistico delle ‘aggiunte’, che ha caratterizzato lo sviluppo della psicologia”⁴¹.

Strettamente connessa a questa tesi vi è un altro principio, secondo il quale l’attività umana “non sia solitaria né avvenga senza aiuto, anche quando ha luogo “dentro la testa”. Bruner afferma di aver avuto trenta anni prima un approccio in parte diverso, “troppo interessato ai solitari processi intrapsichici del conoscere e al modo in cui potevano essere coadiuvati mediante interventi pedagogici adeguati”⁴². Bruner, da molto tempo, d’altra parte aveva preso le distanze da Piaget, le cui opere fondamentali facevano pensare ad un bambino che “arrivasse a conoscere il mondo attraverso un contatto pratico, diretto, invece che, come normalmente succede, da altri. Infatti impariamo molto di quello che “conosciamo” anche del mondo *fisico* ascoltando le credenze degli altri in proposito, e non curiosando direttamente”⁴³. Bruner ricorda, inoltre, a distanza di molti anni gli incontri fecondi che ebbe con Alexander Luria che gli fece capire meglio, con le sue argomentazioni illuminanti, il ruolo che svolgono, secondo la teoria di Vygotskij, il linguaggio e la cultura nel funzionamento della mente; essi contribuirono così a far vacillare la sua “fede nelle teorie più autonome e più formalistiche del grande Piaget, teorie che lasciavano pochissimo spazio al ruolo qualificante della cultura nello sviluppo mentale”⁴⁴.

“La tradizione pedagogica occidentale rende poca giustizia all’importanza dell’intersoggettività nella trasmissione della cultura. Anzi, spesso non sa rinunciare alla preferenza per la chiarezza, al punto quasi da ignorare, almeno in apparenza, l’intersoggettività. Così il modello dell’insegnamento diventa quello del singolo docente, presumibilmente onnisciente, che racconta e mostra in maniera esplicita ad allievi presumibilmente ignari di qualcosa di cui presumibilmente non sanno niente (...) Sono convinto che uno dei più grandi regali che una psicologia culturale possa fare all’educazione

⁴¹ J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano, Feltrinelli, 1997, pp. 8, 185.

⁴² Ibidem, p. 9.

⁴³ Ibidem, p. 192.

⁴⁴ Ibidem, p. 11.

sia la riformulazione di questa concezione ormai svuotata di significato⁴⁵ (...) Questo comporta la costruzione di culture scolastiche che operino come comunità interattive, impegnate a risolvere i problemi in collaborazione con quanti contribuiscono al processo educativo. Questi gruppi non rappresentano solo un luogo di istruzione, ma anche un centro di costruzione dell'identità personale e di collaborazione. Dobbiamo far sì che le scuole diventino un luogo dove viene praticata (e non semplicemente proclamata) la reciprocità culturale, il che comporta una maggiore consapevolezza da parte dei bambini di quello che fanno, come lo fanno e perché... E siccome all'interno di queste culture scolastiche improntate al reciproco apprendimento si produce spontaneamente una divisione del lavoro, l'equilibrio tra l'esigenza di coltivare i talenti innati e quella di offrire a tutti l'opportunità di progredire viene espressa dal gruppo in una forma più umanistica: "da ciascuno secondo le sue capacità"⁴⁶.

Nel Progetto *Nuffield* e nel programma del *Laboratorio di fisica e chimica* non era indubbiamente più presente il modello dell'insegnante *onnisciente*, ma erano ambedue ancora totalmente permeati dalla visione pedagogica piagetiana che si arrivasse a *conoscere il mondo attraverso un contatto pratico, diretto*; non attribuivano, invece, nessuna importanza al tema dell'intersoggettività e della narrazione, ma allora questo modello pedagogico-didattico non era ancora sufficientemente conosciuto⁴⁷. Tuttavia l'assunzione di questo ultimo modello non può avvenire in contrapposizione agli aspetti duraturi di quello precedente; rimane, infatti, a nostro parere, un'indicazione pedagogica fondamentale, anche per la ristrutturazione educativa delle discipline scientifiche, l'idea piagetiana, che "il conseguimento della conoscenza è il risultato dell'attività propria del soggetto", dove per soggetto attivo si intende "un soggetto che confronta, esclude, ordina, categorizza, riformula, verifica, elabora ipotesi, riorganizza, ecc., attraverso l'azione interiorizzata (il pensiero) o l'azione reale (a seconda del suo livello di sviluppo)"⁴⁸. Nei confronti di Piaget vi è, in ambito pedagogico e didattico, da molto tempo un atteggiamento di critica radicale: Piaget avrebbe infatti sottovalutato molteplici aspetti, quali, ad esempio il ruolo della dimensione sociale, del linguaggio e della sfera affettiva nel processo educativo. Condividiamo queste critiche, ma non condividiamo l'utilizzo di queste critiche per la liquidazione anche degli aspetti duraturi del pensiero di Piaget. Noi pensiamo, in altre parole, che il superamento di un'impostazione piagetiana dell'insegnamento scientifico non debba comportare l'abbandono di alcuni aspetti fondamentali del contributo di Piaget, in particolare

⁴⁵ Ibidem, p. 34.

⁴⁶ Ibidem, p. 95.

⁴⁷ Queste proposte pedagogiche iniziarono ad essere ampiamente conosciute in Italia soltanto alla fine degli anni ottanta; un libro che contribuì a far conoscere alcuni aspetti, quelli maggiormente di ispirazione vygotstijana, fu: C. Pontecorvo, A. M. Ajello, C. Zucchermaglio, *Discussendo si impara*, Firenze, La Nuova Italia, 1991,

⁴⁸ E. Ferreiro, A. Teberosky, *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Firenze, Giunti, 1985, p 25-26.

per l'insegnamento delle scienze e della matematica, e che questi aspetti vadano integrati in una visione pedagogica più complessa.

La centralità della narrazione anche nell'insegnamento scientifico

“Non intendo sottovalutare l'importanza del pensiero logico-scientifico... Ma non è un mistero che a molti giovani che oggi frequentano la scuola la scienza appaia “disumana”, “fredda” e “noiosa”, malgrado gli eccezionali sforzi degli insegnanti di scienze e di matematica e delle loro associazioni. L'immagine della scienza come impresa umana e culturale migliorerebbe molto se la si concepisse anche come una storia degli esseri umani che superano le idee ricevute – Lavoisier che supera il dogma del flogisto, Darwin che rivoluziona il rispettabile creazionismo, o Freud che osa gettare uno sguardo al di sotto della superficie soddisfatta del nostro autocompiacimento. Può darsi che abbiamo sbagliato staccando la scienza dalla narrazione della cultura. Una sintesi è forse necessaria. Un sistema educativo deve aiutare chi cresce in una cultura a trovare un'identità al suo interno. Se quest'identità manca, l'individuo incespica nell'inseguimento di un significato. Solo *la narrazione consente di costruirsi un'identità e di trovare un posto nella propria cultura*. Le scuole devono coltivare la capacità narrativa, svilupparla, smettere di darla per scontata”⁴⁹.

E' quindi necessario comprendere che cosa Bruner intende quando attribuisce alla narrazione questo ruolo centrale anche nel rinnovamento dell'insegnamento scientifico: “Partirò da alcune affermazioni ovvie. Una narrazione comporta una sequenza di eventi, ed è dalla sequenza che dipende il significato”⁵⁰. La narrazione è giustificata quando narra qualcosa di inatteso, di imprevisto, di apparentemente assurdo o contraddittorio. L'obiettivo della narrazione è di chiarire i dubbi, di spiegare lo “squilibrio” che ha portato all'esigenza di narrare la storia. La narrazione è, inoltre, strettamente connessa con l'interpretazione e non con la spiegazione. La comprensione, a differenza della spiegazione, comprende sempre più interpretazioni; “né l'interpretazione di una particolare narrazione esclude altre interpretazioni... la regola è la polisemia”⁵¹.

A questo punto potrebbe sorgere il dubbio su che cosa abbia a che fare con la scienza la narrazione, se, come lo stesso Bruner evidenzia, la scienza è essenzialmente caratterizzata dalla dimensione esplicativa, e rappresenta uno dei due modi principali, alternativo proprio al modo narrativo, in cui gli uomini rappresentano il mondo: “Queste due forme di pensiero sono convenzionalmente note come pensiero *logico-scientifico* e pensiero *narrativo*”⁵².

⁴⁹ J. Bruner, op. cit., p. 53.

⁵⁰ Ibidem, p. 135.

⁵¹ Ibidem, p. 103.

⁵² Ibidem, p. 53.

Indubbiamente, secondo Bruner, i due modi di conoscere la realtà sono irriducibilmente diversi, ma sono, tuttavia, complementari: “ Come ho più volte ripetuto, l’adozione di un’ottica interpretativa non implica una posizione antiempirica, anti-sperimentale o addirittura antiquantitativa. Significa semplicemente che, prima di poterci accingere alla spiegazione, dobbiamo dare un senso a quanto ci viene detto ⁵³. ... “Per arrivare direttamente al dunque , la mia idea è che noi trasferiamo sempre i nostri tentativi di comprensione scientifica in forma narrativa, o, per così dire, di ‘euristica narrativa’. Il ‘noi’ comprende sia gli scienziati sia gli allievi che occupano le aule nelle quali insegnamo. Trasporremo dunque in forma narrativa gli eventi che stiamo studiando, allo scopo di evidenziare meglio cosa c’è di canonico e di previsto nel nostro modo di considerarli, in modo da poter distinguere più facilmente che cosa è ambiguo e incoerente e quindi deve essere spiegato ... Proverò ora a esprimere queste stesse idee con un linguaggio in parte diverso. Il processo del fare scienza è narrativo. Consiste nel produrre ipotesi sulla natura, nel verificarle, correggerle e rimettere ordine nelle idee. Nel corso della produzione di ipotesi verificabili giochiamo con le idee, cerchiamo di creare anomalie, cerchiamo di trovare belle formulazioni da applicare alle contrarietà più intrattabili in modo da poterle trasformare in problemi solubili, inventiamo trucchi per aggirare le situazioni intricate. La storia della scienza, come Bryant Conant ha cercato di dimostrare, può essere raccontata in forma drammatica, come una serie di vicende quasi eroiche di soluzione di problemi. I suoi critici amavano sottolineare che le storie dei casi che lui e i suoi colleghi avevano preparato, pur essendo molto interessanti non erano però scienza, ma storia della scienza. Non sto proponendo di sostituire alla scienza la storia della scienza. Sostengo invece che la nostra istruzione scientifica dovrebbe tener conto in ogni sua parte dei processi vivi del fare scienza, e non limitarsi a essere un resoconto della ‘scienza finita’ quale viene presentata nel libro di testo, nel manuale e nel comune e spesso noioso ‘esperimento di dimostrazione’⁵⁴.

Noi pensiamo che queste indicazioni di Bruner permettano di colmare le gravi lacune presenti nei progetti, comunque molto innovativi per quegli anni, Nuffield ed il Laboratorio del Progetto Brocca. Compenetrando le insuperabili indicazioni culturali-metodologiche di quei progetti con il contributo pedagogico dell’intersoggettività e della narrazione⁵⁵, noi pensiamo che sia effettivamente possibile sviluppare competenze scientifiche negli studenti. Vogliamo prendere in considerazione, come esempio, una problematica importante della chimica, la legge di Proust, come

⁵³ Ibidem, p. 126.

⁵⁴ Ibidem, p.138, 140.

⁵⁵ G. Bagni, *Il bisogno di senso dell’insegnamento scientifico*, in R. Conserva (a cura di), *Il nuovo esame di stato*, Bologna, Zanichelli, 2000.

potremmo scegliere, come esempi, la formazione del concetto di gas⁵⁶, le leggi di Lavoisier⁵⁷, le leggi di Dalton⁵⁸, la legge di Gay Lussac⁵⁹, la creazione delle formule chimiche (del linguaggio della chimica)⁶⁰, ecc. La legge di Proust costituisce una delle leggi fondamentali della chimica che generalmente non viene compresa dagli studenti (così come le altre leggi indicate sopra), perché non ne viene evidenziata la problematicità⁶¹; da un punto di vista strettamente nozionistico è ormai una legge “stupida”: infatti, se partiamo nell’insegnamento dai modelli atomico-molecolari, che significato ha affermare l’ovvietà che le sostanze hanno composizione costante? E, se, invece adottiamo un approccio banalmente induttivo⁶², facendo eseguire uno o due esperimenti che evidenziano in questi casi la costanza delle proporzioni, che cosa di significativo si ricava per la comprensione della legge?

Per coinvolgere gli studenti e fare loro comprendere la legge di Proust (come le altre leggi o un qualsiasi concetto fondamentale della chimica) occorre trasporre “in forma narrativa gli eventi che stiamo studiando, allo scopo di evidenziare meglio cosa c’è di canonico e di previsto nel nostro modo di considerarli, in modo da poter distinguere più facilmente che cosa è ambiguo e incoerente e quindi deve essere spiegato. Il processo del fare scienza è narrativo. Consiste nel produrre ipotesi sulla natura, nel verificarle, correggerle e rimettere ordine nelle idee”. Occorre far partecipare gli studenti, nelle modalità possibili nei vari casi, al gioco della scienza: “nel corso della produzione di ipotesi verificabili giochiamo con le idee, cerchiamo di creare anomalie, cerchiamo di trovare belle formulazioni da applicare alle contrarietà più intrattabili in modo da poterle trasformare in problemi solubili, inventiamo trucchi per aggirare le situazioni intricate”. Occorre fare in modo che ciò che è apparentemente ovvio diventi un problema⁶³, una rottura epistemologica; occorre rendere, come dice Bruner del linguaggio letterario, “nuovamente estraneo ciò che è troppo familiare”... Siccome la connessione canonica fra le realtà, in una storia, rischia di generare noia, la narrativa, attraverso il linguaggio e l’invenzione letteraria, cerca di tener vivo l’interesse del suo

⁵⁶ E. Aquilini, *Il ruolo del concetto di gas nella costruzione delle basi della chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 149-152.

⁵⁷ C. Fiorentini, E. Roletto, *Ipotesi per il curriculum di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 158-168; A. Testoni, D. Colombi, *Quale teoria per gli acidi? La teoria dell’acidità di Lavoisier*, in *Atti del XII Congresso della Divisione Didattica della Società Chimica Italiana*, Trieste, 2001, pp. 139-149.

⁵⁸ T. Khun, *La funzione della misura nella scienza fisica moderna*, in *La tensione essenziale*, Torino, Einaudi, 1985, pp. 212, 214.

⁵⁹ C. Fiorentini, *La legge dei volumi di Gay Lussac: una legge evidente?*, in *CIDI di Firenze, Storicità e attualità della cultura scientifica e insegnamento delle scienze*, Firenze, Marietti-Manzuoli, 1986, pp. 231-247.

⁶⁰ C. Fiorentini, V. Parrini, *Dalla legge delle proporzioni multiple alle formule chimiche: l’origine dei simboli chimici, delle formule, dei pesi atomici*, in *Didattica delle scienze*, 1987, n. 129, pp. 35-42.

⁶¹ E. Torracca, *Una dimensione storica dell’insegnamento della chimica?*, in *Epsilon*, 1994, n. 2, pp. 17-22; P. Riani, *L’insegnamento della chimica*, in *Didattica delle Scienze e Informatica nella scuola*, 1996, n. 182, pp. 22-26; L. Orlando, *Ma nelle scuole parliamo di storia*, in *Sapere*, 1997, n. 5, pp. 30-36.

⁶² M. Mancini, E. Torracca, *Che tipo di esperimenti ci sono nei libri di testo di chimica?*, in *La Chimica nella Scuola*, 2001, n. 4, pp. 121-127.

⁶³ F. Olmi, *Una sfida da raccogliere: l’esistenza di un più efficace approccio ai saperi scientifici fin dai primi livelli scolari*, in *Naturalmente*, 2002, n. 4, pp. 31-39.

pubblico “rendendo nuovamente strano l’ordinario”⁶⁴. Occorre ridare centralità alle ipotesi scientifiche⁶⁵, bisogna quindi dare importanza al *congiuntivo*, come di nuovo Bruner dice a proposito della letteratura: “L’altro motivo per studiare la narrativa consiste nel comprenderla per meglio coltivare le sue illusioni di realtà, nel <<congiuntivizzare>> gli ovvi indicativi della vita di tutti i giorni... Dopotutto, la sua missione è ridare stranezza al familiare, trasformare l’indicativo in congiuntivo”⁶⁶. Nell’insegnamento scientifico, è di fondamentale importanza formativa lo sviluppo, nello studente, della consapevolezza della distinzione e contemporaneamente del rapporto costante che vi è tra fatti, fenomeni, esperimenti, da una parte, e interpretazioni, ipotesi, teorie⁶⁷, dall’altra, e quindi del significato profondamente diverso, ad esempio, di queste due formulazioni: *le cose stanno in questo modo* o *io penso che le cose stiano in questo modo*. Ma Bruner ci ricorda che “l’atteggiamento interpretativo non è sempre gradito ai poteri costituiti, la cui autorità è fondata sul dare per scontato il mondo così com’è”⁶⁸.

Se l’analogia tra letteratura e scienza potesse sembrare troppo ardita, basta pensare a come Popper ha costantemente descritto la scienza: “Secondo la concezione della scienza che sto cercando di sostenere, ciò è dovuto al fatto che gli scienziati hanno osato creare dei miti, o congetture, o teorie, che pur essendo in netto contrasto con il mondo quotidiano dell’esperienza comune, sono tuttavia capaci di spiegare alcuni aspetti di tale mondo ... E questi tentativi di *spiegare il noto per mezzo dell’ignoto* hanno enormemente ampliato il dominio della conoscenza”⁶⁹.

La legge di Proust

Lavoisier, sulla base dei dati analitici allora disponibili, riteneva che molte sostanze avessero una composizione costante. Dopo Lavoisier, la determinazione della composizione quantitativa delle sostanze diventò, come lo stesso Lavoisier aveva previsto, uno dei *compiti più importanti della chimica*; in questo modo si realizzò la *matematizzazione della scienza chimica*: la grandezza da misurare era il peso e le operazioni matematiche impiegate non erano altro che somme, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni. Con la teoria chimica lavoisieriana, il peso delle sostanze, mentre in precedenza era stato considerato una variabile irrilevante nella comprensione dei fenomeni chimici,

⁶⁴ J. Bruner, op. cit., p. 154

⁶⁵ C. Fiorentini, *Psicologia, epistemologia e storia nel rinnovamento del curriculum chimico*, in *Rassegna*, 2000, n. 12, pp.28-42.

⁶⁶ J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, pp. 12, 13.

⁶⁷ M. Ciardi, *Il ruolo della storia e dell’epistemologia nella costruzione del curriculum verticale: Per una storia della didattica della chimica e una rivalutazione della ruolo della cultura chimica in Italia*, in *La Chimica nella Scuola*, 2002, n. 3, pp. 79-83.

⁶⁸ J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, p. VII.

⁶⁹ K. Popper, *Congetture e confutazioni*, Bologna, Il Mulino, 1921, p.177.

diventava la *grandezza fondamentale della chimica*. Anche per la chimica la fondazione scientifica si realizzava con l'individuazione di concetti specifici di tipo quantitativo.

Tutto il materiale sperimentale sulla composizione dei composti raccolto verso la fine del '700 portava a due conclusioni in apparenza opposte, ma nessuna delle quali contraddiceva le concezioni teoriche di quel tempo (es.: legge di conservazione del peso/massa). Secondo la prima di esse, nella formazione dei composti chimici, viene rigorosamente osservata la costanza della loro composizione ponderale, indipendentemente dal modo in cui sono stati ottenuti. Secondo l'altra, gli elementi chimici possono, in condizioni diverse, dare composti di diversa composizione ponderale.

Proust concentrò il suo lavoro sperimentale su quei composti che Lavoisier aveva considerato a composizione variabile, quali gli ossidi metallici, ed in particolare si dedicò allo studio degli ossidi del ferro. Se il ferro fosse, come si pensava, capace di combinarsi con l'ossigeno in tutte le proporzioni tra 27% e 48%, che sembravano essere i due limiti estremi della sua combinazione con questo elemento, avrebbe dovuto dare con lo stesso acido (ad es. acido solforico) tante combinazioni diverse quanti ossidi differenti poteva produrre. Proust arrivò alla conclusione che - *al di là dell'apparenza* - esistono soltanto due solfati del ferro e che i solfati a composizione intermedia non sono altro che miscele di questi due⁷⁰: “ Un gran numero di fatti prova al contrario che malgrado i differenti gradi di ossigenazione, per i quali si crede che il ferro possa passare quando è esposto all'aria, non si conoscono che due solfati di questo metallo..... Tra questi due solfati non vi è nessun intermediario. Se dei solfati verdi, esposti al contatto dell'aria, prendono un colore che sembra non appartenere né all'una né all'altra delle specie già citate, ci si convincerà che essi non sono che una miscela dei due, separandoli con l'alcol”. Questa conclusione è connessa alla chiara affermazione di un altro *principio basilare della chimica, la distinzione tra composti e miscugli*⁷¹; questo concetto venne utilizzato costantemente da Proust.

Nel 1799 Proust, in un articolo dedicato alla composizione dell'ossido rameico, enunciò per la prima volta, la *legge delle proporzioni definite*, secondo la quale *tutte le sostanze hanno composizione costante*. Nella fase della scoperta, ciò che differenzia un'ipotesi corretta da una sbagliata, non è generalmente, il grado di conferma. Anche l'ipotesi delle proporzioni definite, come l'ipotesi di Lavoisier sulla costanza del peso, costituisce un esempio di generalizzazione affrettata; infatti, quando l'ipotesi fu enunciata per la prima volta, le esperienze su cui si basava erano limitate, ma *l'enunciazione affrettata dell'ipotesi, come tutte le intuizioni geniali, svolse un*

⁷⁰ Infatti la spiegazione all'*apparenza* più ragionevole è quella di ritenere che il solfato ferroso (verde), lasciato all'aria, è capace di produrre un numero indefinito di solfati, corrispondenti ai diversi gradi di ossidazione del ferro.

⁷¹ I composti erano considerate da Proust le “combinazioni vere”.

ruolo fondamentale di indirizzo della ricerca chimica. Intorno al 1810 le conferme sperimentali dell'ipotesi erano ormai tali da permettere il suo accesso al rango dei principi basilari della chimica.

Evidentemente Proust, sulla base delle sue analisi realizzate nel decennio precedente, e dell'*intuizione* dell'importante principio della distinzione tra composti e miscugli, si era già convinto che la composizione definita è una caratteristica di tutti i composti. Berthollet era in favore, invece, della seconda teoria. Secondo Berthollet, infatti, se un composto consisteva degli elementi X e Y esso avrebbe contenuto una quantità di X superiore alla media, se fosse stato preparato adoperando una dose eccessiva di X. All'opinione di Berthollet si opponeva quella di Proust, il quale ricorrendo ad analisi meticolosamente accurate, dimostrò nel 1799 che il carbonato di rame, per esempio, conteneva proporzioni definite, in peso, di rame, carbonio e ossigeno, in qualunque modo fosse stato preparato in laboratorio o isolato dalle fonti naturali. Il rapporto dei composti era sempre di 5,3 parti di rame contro 4 parti di ossigeno e 1 di carbonio.

Proust, formulando la generalizzazione in base alla quale in tutti i composti gli elementi erano contenuti in determinate proporzioni definite e non in altre combinazioni, indipendentemente dalle condizioni in cui i composti stessi venivano prodotti, effettuò una *generalizzazione di livello superiore* (la legge di Proust è una generalizzazione di generalizzazioni) che suscitò le critiche di Berthollet: questi infatti *fu in grado di produrre un certo numero di esempi in contraddizione con la legge.*

Berthollet non contestava la costanza della composizione per molte sostanze, ma non era disposto ad accettare la generalizzazione di questa affermazione, cioè la legge della costanza della composizione per tutti i composti. I controesempi più significativi forniti da Berthollet rimasero le leghe ed i vetri; queste sostanze hanno composizione variabile e sono effettivamente, come sosteneva Proust dei miscugli (delle soluzioni solide), ma in questo caso Proust non fu in grado di fornire un criterio operativo capace di chiarire il problema.

Dal momento in cui fu annunciata la legge di Proust, il mondo scientifico fu costretto a compiere profonde meditazioni su di essa. Se la natura della materia fosse stata continua (come sosteneva Berthollet), questa circostanza sarebbe stata difficile da spiegare. Perché gli elementi non potevano combinarsi secondo proporzioni leggermente variabili? La risposta a questa domanda fu data dalla teoria atomica, che ha la sua lunga storia. Ma solo adesso è giunta la sua ora. Dopo la creazione della teoria dell'ossigeno e del concetto di elemento chimico, dopo la scoperta delle leggi stechiometriche, lo sviluppo della chimica presupponeva, sotto gli aspetti logico e storico, lo sviluppo della concezione atomistica della struttura delle sostanze.

La legge di Proust costituì una legge indubbiamente affrettata, dal punto di vista di canoni scientifici astratti, una legge falsa. E, paradossalmente proprio in questa sua problematicità risiede la sua importanza, che consiste in questi aspetti:

- 1) afferma l'esistenza di una determinata regolarità: la legge di Proust definiva in modo rigoroso i composti e forniva un criterio per individuarli;
- 2) spesso la nuova regolarità solleva altri interrogativi; nel caso della legge in oggetto, molti chimici iniziarono a chiedersi perché dalla combinazione degli elementi tra loro si ottenevano generalmente pochi composti (2, 3, 4) e per di più con composizione fissa. La risposta a questi interrogativi sarebbe venuta pochi anni dopo con la teoria atomistica di Dalton, che avrebbe poi conferito alla chimica, nell'arco di alcuni decenni, capacità esplicative e predittive inimmaginabili;
- 3) una legge rende possibile la ricerca scientifica; dopo Proust, la determinazione della composizione quantitativa dei composti diventò un'attività centrale della chimica. Inoltre, tutti gli sviluppi teorici successivi furono possibili perché, nell'arco di pochi decenni, il perfezionamento o l'invenzione di nuovi strumenti per l'analisi quantitativa dei composti raggiunsero un tale sviluppo da permettere la determinazione accurata delle composizioni. Tutto ciò fu possibile grazie alla *convinzione che le sostanze hanno composizione costante* e che quindi, ad esempio, risultati più o meno diversi delle analisi dipendano non da una variabilità nella composizione delle sostanze, ma soltanto dall'incertezza dei dati sperimentali. Tale convinzione fornì anche un criterio operativo: quando i risultati di poche analisi (2-3) presentavano una dispersione contenuta entro margini di errore accettabili, la ricerca terminava e la composizione veniva semplicemente ricavata effettuando la media dei valori sperimentali.

L'insegnamento della biologia e il riduzionismo

La biologia rappresenta un caso paradossale: nonostante sia l'ambito dove maggiore è stata la riflessione sui limiti del riduzionismo⁷², la sua impostazione didattica quasi universale è riduzionista della "peggiore specie", in quanto si rivolge, in un linguaggio chimico-fisico sofisticato, a studenti che stanno eventualmente acquisendo le prime conoscenze di chimica e di fisica. Anche all'interno del progetto Brocca il *Laboratorio di fisica e chimica*, di cui abbiamo lungamente trattato, è l'unico programma innovativo in riferimento all'insegnamento scientifico. Contemporaneamente ad esso vennero, infatti, scritti i programmi, sempre per il biennio, di Scienze della Terra e di Biologia, che costituiscono, a nostro parere, esempi emblematici di programmi totalmente assurdi. Ad esempio, il

⁷² G. G. Simpson, *Evoluzione. Una visione del mondo*, Firenze, Sansoni, 1972.

programma di biologia ha il suo fondamento sulla biologia molecolare, quando gli studenti a cui viene proposto non hanno nessuna conoscenza sensata della chimica organica⁷³.

La didattica delle scienze sembra quasi la negazione della scienza; mentre nella scienza le nuove conoscenze si sviluppano sulla base di quelle precedenti, nella didattica scientifica si riparte sempre da capo; non è rimasta, ad esempio nessuna traccia delle illuminanti riflessioni che Ausubell ha dedicato all'insegnamento della biologia qualche decennio fa.

Ausubell non condivise le proposte didattiche di tipo strutturalista, che vennero predisposte a partire dal libro di Bruner *Dopo Dewey, il processo di apprendimento nelle due culture*⁷⁴, basate sull'assunto che fosse possibile insegnare qualsiasi concetto a qualsiasi età⁷⁵. "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 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 enfattizzazione 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 della materia"⁷⁶.

La sua analisi si concentrò sul più significativo progetto attivato negli Usa, il BSCS (Biological Sciences Curriculum Study), di cui vennero approntate più versioni. Le critiche maggiori sono rivolte alla versione blu, che è stata l'unica tradotta, non casualmente, in italiano: "la versione blu presenta un materiale di biologia di difficoltà e 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

⁷³ C. Fiorentini, *Il ruolo delle scienze sperimentali nel progetto Brocca*, in *Insegnare*, 1992, n. 7, pp. 14-16.

⁷⁴ Bruner con cui polemizzò Ausubell 30 anni fa ha ben poco in comune con il Bruner a cui abbiamo fatto riferimento in questo saggio. Già negli anni 60, Bruner, interessandosi sempre più di educazione, iniziò un cammino che lo avrebbe portato a posizioni pedagogiche molto diverse e molto più complesse di quelle presenti in libro *Dopo Dewey. Il processo di apprendimento nelle due culture* che lo rese famoso a livello mondiale.

⁷⁵ Questa concezione bruneriana era stata criticata aspramente fin dall'inizio da alcuni pedagogisti, tra i quali Lydia Tornatore (*Educazione e conoscenza*, Torino, Loescher, 1974.)

⁷⁶ D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Milano, Angeli, 1983, p. 470.

negative verso la materia⁷⁷". La versione verde ha un'impostazione epistemologica molto più adeguata della gialla e della blu: essa permette, infatti, di 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"⁷⁸. 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.

Per Ausubell un corso introduttivo di biologia nella scuola secondaria superiore dovrebbe mantenere un approccio prevalentemente naturalistico e descrittivo. "Per dirla in breve, la biologia per le scuole superiori dovrebbe concentrarsi su quei concetti biologici generali che costituiscono una parte dell'istruzione generale, piuttosto che sull'analisi particolareggiata e tecnica delle basi fisiche e chimiche dei fenomeni biologici o della morfologia e della funzione delle microstrutture intracellulari⁷⁹ ... Per lo studente principiante in scienze, è molto più importante imparare ad osservare sistematicamente⁸⁰ e con precisione gli eventi naturali, e a formulare e a verificare ipotesi sulla base di antecedenti e conseguenti che si verificano naturalmente piuttosto che imparare a manipolare una variabile sperimentale e a controllare altre variabili rilevanti, su un progetto, in una situazione di laboratorio. Il primo approccio non solo ha la precedenza nello sviluppo intellettuale dello studente, ed è più consono al suo bagaglio di esperienze, ma ha anche un maggiore valore di trasferimento per la soluzione di problemi nella vita reale. L'eguagliare dogmaticamente il metodo scientifico con l'approccio sperimentale-analitico esclude anche, piuttosto sommariamente, dall'ambito scientifico, settori della biologia, come l'ecologia, la paleontologia, e l'evoluzione, ed altre discipline, quali la geologia, l'astronomia, la meteorologia, l'antropologia e la sociologia"⁸¹.

⁷⁷ Ibidem, p. 452.

⁷⁸ Ibidem, p. 454.

⁷⁹ Ibidem, pp. 470-471.

⁸⁰ D. Basosi, *Perché le piante*, in *Naturalmente*, 2003, n. 2, pp. 29-31.

⁸¹ D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Milano, Angeli, 1983, p. 471.

Ed infine: alcune considerazioni sull'insegnamento della fisica

Per l'insegnamento della fisica nella scuola secondaria superiore le considerazioni che abbiamo sviluppato in questo contributo sono, a nostro parere, tutte pertinenti; tuttavia, pensiamo necessario evidenziare una differenza con la chimica e la biologia: non è necessario un capovolgimento dell'asse culturale, perché anche noi riteniamo che l'insegnamento fondamentale debba essere costituito dalla fisica classica; pensiamo, inoltre, che, nell'insegnamento della fisica, a nessuno verrebbe in mente di insegnare la fisica relativistica o la fisica quantistica come insegnamento di base, come avviene nel caso della chimica e della biologia.

Fatta questa non marginale precisazione, tuttavia, i nodi di fondo dell'insegnamento della fisica rimangono tutti generalmente irrisolti, perché anche nel caso della fisica il canone enciclopedico (meccanica classica, ottica, elettromagnetismo, calorimetria, termodinamica, fisica del Novecento), la visione deduttivistica ed il mito della quantificazione⁸² comportano necessariamente un'impostazione nozionistica, addestrativa, tecnicistica. Anche nel caso della fisica, il nodo preliminare è la scelta dei contenuti in relazione alle ore a disposizione, per potere avere i tempi per un insegnamento *significativo* per lo studente⁸³ – problematico, situato, contestuale, riflessivo, metacognitivo-; abbiamo indirizzi in cui è insegnata 2-3 ore settimanali per un paio di anni, ed alcuni indirizzi sperimentali in cui è insegnata 3 ore per tutti e cinque gli anni.

Le leggi di Newton, ad esempio, non vengono comprese dalla maggior parte degli studenti nell'insegnamento usuale⁸⁴, assiomatico, nozionistico e addestrativo, ma possono essere, invece, comprese avendo a disposizione tempi lunghi, attenzione al linguaggio, al rigore scientifico, e innanzitutto agli ostacoli epistemologici; possono essere comprese soltanto all'interno di un'impostazione problematica, quale può essere garantita dalla loro contestualizzazione. Per un non esperto, il significato di un concetto non può essere ricavato da relazioni logiche all'interno di un'organizzazione deduttiva, a partire da concetti e teorie ancora più generali, di cui sfugge, a maggior ragione, il significato. Il principio di inerzia, principio fondamentale su cui si basa la scienza moderna, non può diventare significativo per lo studente se viene presentato sbrigativamente in modo assiomatico. Vi è forse principio meno intuitivo, più in contraddizione con il senso comune, di questo? Di un principio che asserisce che un corpo in movimento continua a

⁸² T. Khun, *La funzione della misura nella scienza fisica moderna*, in *La tensione essenziale*, Torino, Einaudi, pp.193-243.

⁸³ P. Falsini, *Tempi distesi e scelta dei contenuti per rinnovare l'insegnamento scientifico*, in *Naturalmente*, 2003, n. 3, pp. 40-42.

⁸⁴ P. Falsini, *La fisica ingenua resiste*, in *La Fisica nella Scuola*, 2004, n. 1, pp. 13-18.

muoversi all'infinito di movimento rettilineo uniforme, senza l'intervento di una forza! Con questo principio, il movimento assumeva finalmente, nel Seicento, lo stesso statuto ontologico della quiete.

Il contributo di Paola Falsini, sperimentato in una classe terza di un liceo scientifico, costituisce un esempio innovativo di insegnamento della fisica, e completamente in sintonia con le considerazioni sviluppate in questo nostro saggio, un esempio proprio basato sulla costruzione problematica e complessa del principio di inerzia.

Bibliografia

Epistemologia, storia della scienza, pedagogia

- F. Abbri, *Le terre, l'acqua, le arie*, Bologna, Il Mulino, 1984
- D. Antiseri, *Jenner e la ricerca sulle cause e gli effetti del vaiolo vaccino*, Brescia, La Scuola, 1981, p.27.
- A.B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli, 1992.
- D. P. Ausubel, *Educazione e processi cognitivi*, Milano, Angeli, 1983, pp. 452, 453, 544, 470.
- G. Bachelard, *L'intuizione dell'istante. La psicanalisi del fuoco*, Bari, Dedalo, 1973.
- G- Bachelard, *Il materialismo razionale*, Bari, Dedalo, 1975.
- G. Bachelard, *Il razionalismo applicato*, Bari, Dedalo, 1975.
- J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano, Feltrinelli, 1997, pp. 8, 185.
- J. Bruner, *La fabbrica delle storie*, Bari, Laterza, 2002, p. VII.
- M. Callari Galli, F. Cambi, M Ceruti, *Formare alla complessità*, Roma, Carocci, 2003, p.144.
- F. Cambi (a cura di), *La progettazione curricolare nella scuola dell'autonomia*, Roma, Carocci, 2002.
- F. Cambi, *Saperi e competenze*, Bari, Laterza, 2004, p.80.
- C. Canguilhem, *Il normale e il patologico*, Torino, Einaudi, 1998.
- N. Caramelli (a cura di), *Storiografia delle scienze e storia della psicologia*, Bologna, Il Mulino, 1979.
- Y. Elkana, *La scoperta della conservazione dell'energia*, Milano, Feltrinelli, 1977.
- P. K. Feyerabend, *Scienza come arte*, Bari, Laterza, 1984.
- E. Ferreiro, A Teberosky, *La costruzione della lingua scritta nel bambino*, Firenze, Giunti, 1985, p 25-26.
- C. C. Gillespie, *Il criterio dell'oggettività. Interpretazione storica del pensiero scientifico*, Bologna, Il Mulino, 1981.
- N. Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche.: le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991.
- J. C. Greene, *La morte di Adamo. L'evoluzionismo e la sua influenza sul pensiero occidentale*, Milano, Feltrinelli, 1971.
- J. Heilbron, *Alle origini della fisica moderna. Il caso dell'elettricità*, Bologna, Il Mulino, 1984.
- G. Holton, *La Lezione di Einstein. In difesa della scienza*, Milano, Feltrinelli, 1997.
- G. Holton, *Scienza, educazione e interesse pubblico*, Bologna, Il Mulino, 1990.
- T. Kuhn, *La tensione essenziale*, Torino, Einaudi, 1985.
- M. Jammer, *Storia del concetto di spazio*, Milano, Feltrinelli, 1963.
- M. Jammer, *Storia del concetto di forza*, Milano, Feltrinelli, 1971.
- M. Jammer, *Storia del concetto di massa*, Milano, Feltrinelli, 1974.
- A. Koyrè, *Dal mondo del pressappoco al mondo della precisione*, Torino, Einaudi, 1967.
- T. S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1969.
- T. S. Kuhn, *La rivoluzione copernicana*, Torino, Einaudi, 1972.
- T. Khun, *La tensione essenziale: tradizione e innovazione nella ricerca scientifica* in *La tensione essenziale*, Einaudi, 1985, p. 249.
- I. Lakatos, A Musgrave, *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1976.
- E. Mayr, *Storia del pensiero biologico*, Torino, Bollati Boringhieri, 1990.
- D. Park, *Natura e significato della luce*, Milano, McGraw – Hill, 1998.
- C. Pontecorvo, A. M. Ajello, C. Zucchermaglio, *Discutendo si impara*, Firenze, La Nuova Italia, 1991.
- K. R. Popper, *Congetture e confutazioni*, Bologna, Il Mulino, 1972.
- L. Preta, (a cura di), *Immagini e metafore della scienza*, Bari, Laterza, 1992.

- H. Read, *Geologia: introduzione alla storia della Terra*, Bari, Laterza, 1954.
- A. G. Rocke, *Chemical atomism in the nineteenth century*, Ohio State University Press, Columbus, 1986.
- R. Rorty, *Scritti sull'educazione*, Firenze, La Nuova Italia, 1996.
- P. Rossi, *La nascita della scienza moderna in Europa*, Bari, Laterza, 1997.
- J.J. Schwab, P. F. Brandwein, *L'insegnamento della scienza*, Roma, Armando, 1965, p. 75.
- G. G. Simpson, *Evoluzione. Una visione del mondo*, Firenze, Sansoni, 1972.
- L. Tornatore, *Educazione e conoscenza*, Torino, Loescher, 1974.
- M. M. Waldrop, *Complessità. Uomini e idee al confine tra ordine e caos*, Torino, Instar, 1996
- J. Watkins, *Contro la scienza normale*, in I. Lakatos, A Musgrave, *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1976, p. 102.

Didattica delle scienze

- A.A.V.V., *L'educazione scientifica di base*, Firenze, La Nuova Italia, 1979.
- A.A.V.V., *Scienza e scuola di base*, Roma, Istituto Enciclopedia Italiana, 1979.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *Il senso di fare scienze. Un esempio di mediazione tra cultura e scuola*, Torino, Bollati Boringhieri, 1995.
- F. Alfieri, M. Arcà, P. Guidoni, *I modi di fare scienze*, Torino, Bollati Boringhieri, 2000.
- E. Aquilini, *Il ruolo del linguaggio nel passaggio dai concetti di senso comune ai concetti scientifici*, *Insegnare*, n. 11/12, 1999, pp. 34-37.
- E. Aquilini, *Il ruolo del concetto di gas nella costruzione delle basi della chimica*, *La Chimica nella Scuola*, n. 5, 2000, pp.149-152.
- E. Aquilini, *Quale concetto di acido e base nella parte terminale dell'obbligo scolastico?*, *La Chimica nella Scuola*, n. 3, 2001, pp. 96-99.
- E. Aquilini, *Gli insegnanti e le scienze*, in *Scuola e Didattica*, 2003, n. 6, pp. 19-22.
- M. Arcà, P. Guidoni, P. Mazzoli, *Insegnare scienza*, Milano, Angeli, 1982.
- M. Arcà, P. Guidoni, *Guardare per sistemi, guardare per variabili*, Torino, Emme-Petrini, 1987.
- A. Bagni, *Il bisogno di senso dell'insegnamento scientifico*, in R. Conserva (a cura di), *Il nuovo esame di stato*, Bologna, Zanichelli, 1999. pp. 62-64.
- L. Barsantini, *Sull'insegnamento della fisica*, *Insegnare*, n. 5, 2000, pp. 42-45.
- L. Barsantini, *I fenomeni termici*, *Insegnare*, n. 7/8, 2000, pp. 43-48.
- L. Barsantini, C. Fiorentini, *L'insegnamento scientifico verso un curricolo verticale. Volume primo. I fenomeni chimico-fisici*, L'Aquila, IRRSAE Abruzzo, 2001.
- D. Basosi, L. Lachina, *L'insegnamento della biologia nella scuola dell'obbligo*, *Insegnare*, n. 9, 2000, pp. 43-46.
- D. Basosi, *Perché le piante*, in *Naturalmente*, 2003, n. 2, pp. 29-31.
- L. Bastino, B. Sandretto, E. Roletto, *Imparare le scienze, imparare a scrivere: una interdisciplinarietà funzionale*, *Insegnare*, n. 1, 1997, pp. 42-49.
- C. Bernardini, *Che cos'è una legge fisica?*, Roma, Editori Riuniti, 1983.
- A. Borseese, C. Fiorentini, E. Roletto, *Formule sulla leggibilità e comprensione del testo. Considerazioni su una ricerca relativa ai manuali di scienze della scuola media*, *Scuola e Città*, n. 12, 1996, pp. 524-527.
- F. Cambi, C. Fiorentini, F. Gori (a cura di), *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare percorsi didattici nella scuola dell'autonomia. II Itinerari di sperimentazione in classe. Area Scientifica*, Firenze, Le Monnier, 2001.
- P. Cancellieri, P. Saracino, E. Torracca, *Definizioni operative di sistema omogeneo e di sostanza pura*, *Didattica delle Scienze*, n. 113, 1984. p. 9
- G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, Firenze, La Nuova Italia, 1995.
- G. Cortellini, A. Mazzoni, *L'insegnamento delle scienze verso un curricolo verticale. Volume secondo. I fenomeni biologici*, L'Aquila, IRRSAE Abruzzo, 2002,
- G. Cortini (a cura di), *Le trame concettuali delle discipline scientifiche. Problemi dell'insegnamento scientifico*, Firenze, La Nuova Italia, 1985.
- R. Driver, *L'allievo come scienziato? La formazione dei concetti scientifici nei preadolescenti*, Bologna, Zanichelli, 1988.
- P. Falsini, *Tempi distesi e scelta dei contenuti per rinnovare l'insegnamento scientifico*, in *Naturalmente*, 2003, n. 3, pp. 40-42.
- P. Falsini, *La fisica ingenua resiste*, in *La Fisica nella Scuola*, 2004, n. 1, pp. 13-18
- C. Fiorentini, *La prima chimica*, Milano, Angeli, 1990.
- C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curricolo di scienze?*, in F. Cambi (a cura di), *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola*

- dell'autonomia, Firenze, Le Monnier, 2000, pp. 275-290.
- C. Fiorentini, Psicologia, epistemologia e storia nel rinnovamento del curriculum chimico, in *Rassegna*, 2000, n. 12, pp.28-42.
 - C. Fiorentini, E. Roletto, *Ipotesi per il curriculum di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 158-168.
 - Grimellini Tomasini e G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, Firenze, La Nuova Italia, 1991.
 - R. Karplus, H. D. Thier, *Rinnovamento dell'educazione scientifica elementare*, Bologna, Zanichelli, 1971.
 - M. Mayer, *Conoscenza scientifica e conoscenza di senso comune*, Frascati, CEDE, 1987.
 - P. Mirone, *Per un più efficace insegnamento delle scienze*, Nuova Secondaria, n. 5, 1995, pp. 21-24.
 - P. Mirone, *Per una definizione operativa del concetto di reazione*, Nuova Secondaria, n. 2, 1996, pp. 84-86.
 - P. Mirone, *Considerazioni sul concetto di reazione chimica*, *La Chimica nella Scuola*, n. 2, 1998, pp. 49-51.
 - P. Mirone, *Perché la chimica è difficile?*, *La Chimica nella Scuola*, n. 3, 1999, pp. 67-70.
 - P. Mirone, E. Roletto, *Sostanze, miscele, reazioni: un'indagine sulle concezioni delle matricole di chimica*, *La Chimica nella Scuola*, n. 4, 1999, pp. 116-121.
 - F. Olmi, *Ripensare i fondamenti dell'insegnamento della chimica al biennio*, *La Chimica nella Scuola*, n. 1, 1997, pp. 9-13.
 - F. Olmi, Una sfida da raccogliere: l'esistenza di un più efficace approccio ai saperi scientifici fin dai primi livelli scolari, in *Naturalmente*, 2002, n. 4, pp. 31-39.
 - C. Pontecorvo (a cura di), *Conoscenza scientifica e insegnamento*, Torino, Loescher, 1983.
 - S. Tamburini, *Cambiare la scuola, in America*, *Sapere*, n. 5, 1997, pp. 45-51.
 - A. Testoni, D. Colombi, *Quale teoria per gli acidi? La teoria dell'acidità di Lavoisier*, in *Atti del XII Congresso della Divisione Didattica della Società Chimica Italiana*, Trieste, 2001, pp. 139-149.
 - E. Torracca, *Una dimensione storica nell'insegnamento della chimica?*, *Epsilon*, n. 2, 1994, pp. 17-22.

LA NATURA DEL MOVIMENTO TRA ASTRONOMIA, COSMOLOGIA, FISICA, RELIGIONE E SOCIETÀ

Percorso didattico per la classe terza del Liceo Scientifico PNI

Progetto: prof.ssa Paola Falsini (Fisica)

Collaborazione: prof. Giulia Fornaini (Lettere) e Mirta Stampella (Matematica)

Liceo Scientifico "A.M.E. Agnoletti" Sesto Fiorentino

a.s. 2003/2004

PRESENTAZIONE

La proposta didattica qui presentata, elaborata all'interno del progetto *TRASVERSALIA*, si sviluppa a partire da un preciso ambito disciplinare, quello della Fisica, col proposito di introdurre elementi decisamente innovativi dal punto di vista della didattica della disciplina stessa, scaturiti dalla riflessione condotta sulle categorie della *complessità* e della *narrazione*; essa cerca di configurarsi come concreto esempio di quella trasformazione delle pratiche d'insegnamento di cui ha urgente bisogno la nostra scuola media superiore.

Il tema scelto vuole offrire agli studenti un *incipit* allo studio della Fisica che sia, per qualità e contenuti, un taglio netto con quelle presentazioni banalmente semplificate che troviamo nei nostri manuali scolastici. Riflettendo sul modo tradizionale di insegnare Fisica, non è difficile rendersi conto del fatto che la trattazione proposta dai manuali, alla quale gli insegnanti si adeguano nelle linee generali, non rappresenta che la tappa finale di un processo che si è dato storicamente e che è sempre del tutto ignorato, se si escludono alcune nozioni frettolose che hanno quasi più il carattere della diversione o dell'intrattenimento. Ciò significa dare per scontati concetti anziché procedere alla loro costruzione; il concetto resta per lo studente del tutto oscuro, e spesso di ciò l'insegnante non è neppure consapevole; che cosa sarà allora la Fisica nella percezione dello studente? Un formulario che bisogna addestrarsi ad utilizzare, con risultati accettabili solo per pochi e con scarsa o nessuna consapevolezza dei significati per i più.

Tradizionalmente lo studio della Fisica si fa iniziare con lo studio del movimento dei corpi e con i principi della dinamica, Principio d'Inerzia in testa; quest'ultimo viene giustificato suggerendo semplici esperienze, tratte dal quotidiano o da svolgersi in laboratorio. Allo stesso modo, è evidente, si prosegue poi nella trattazione di altri principi fondamentali. Questo modo di procedere, che ignora nel modo più assoluto le profonde trasformazioni del pensiero, non solo scientifico, che

hanno condotto alla formulazione del Principio d'Inerzia, produce diversi esiti negativi; la mancata concettualizzazione, cui abbiamo accennato sopra, dà luogo a un apprendimento poco significativo dal punto di vista della formazione dello studente e la trasmissione di un'immagine del tutto inadeguata di ciò che la scienza e il fare scienza siano davvero. Si pensi ad alcuni esperimenti proposti (anche della scuola media inferiore) per la *verifica* della legge d'inerzia: a una trattazione solo libresco si sostituisce un approccio "sperimentale"; ma la didattica delle scienze non procede così verso un rinnovamento significativo. Consideriamo infatti: se anche un ragazzino della scuola media può scoprire la legge d'inerzia, come è stato possibile che essa non sia stata formulata fino al XVII secolo? E che sia stato necessario il contributo di diverse grandi menti? Dunque, l'approccio banalmente induttivo non può davvero permettere allo studente di cogliere il vero e più ampio significato della legge; sarà l'approccio narrativo, che non esclude ben inteso l'esecuzione dei semplici esperimenti, a consentirci di interpretare qualcosa di inatteso nel comportamento della natura (cfr Bruner) e anche di comprendere quello che potrebbe altrimenti essere inteso come un ritardo inspiegabile nella storia del "progresso scientifico".

La proposta che presentiamo vuole dunque condurre gli studenti alla consapevolezza della complessità del percorso che, a partire dalle idee aristoteliche, attraverso la critica ai concetti di moto naturale e moto violento, giunge all'idea che i corpi siano indifferenti al movimento, all'indipendenza dei moti simultanei, al Principio di Relatività e al Principio d'Inerzia. Il percorso, si capisce, ha una forte valenza propedeutica rispetto al cuore della Fisica classica, l'opera di Newton (le leggi della dinamica e la gravitazione universale).

Nell'elaborazione della proposta abbiamo dunque ben presente il punto di vista di J. Bruner sulla *dimensione narrativa del processo del fare scienza*. Nel suo libro "La cultura dell'educazione" egli suggerisce di spostare *"il fulcro dell'attenzione da un interesse per la 'natura-là-fuori' a un interesse per la ricerca sulla natura., su come si fa a costruire un proprio modello di natura. E' questo passaggio che trasforma la discussione da scienza morta a un vivace fare scienza. ...Il processo del fare scienza è narrativo. Consiste nel produrre ipotesi sulla natura, nel verificarle, correggerle e rimettere ordine nelle idee. Nel corso della produzione di ipotesi verificabili giochiamo con le idee, cerchiamo di creare anomalie, cerchiamo di trovare belle formulazioni da applicare alle contrarietà più intrattabili in modo da poterle trasformare in problemi solubili, inventiamo trucchi per aggirare le situazioni intricate. La storia della scienza (...) può essere raccontata in forma drammatica, come una serie di vicende quasi eroiche di soluzione dei problemi."*

Questa attenzione ai processi narrativi del fare scienza suggerisce anche di interessarsi al ruolo dell'*immaginazione* nella scienza; come afferma G. Holton nel suo libro "La lezione di Einstein", di

solito si ritiene che la scienza e l'arte appartengano a due mondi distinti, mentre *"tra loro esistono affinità profonde, perché, pur essendo diversi gli scopi, gli strumenti e i prodotti, l'ingegno e la passione che animano le due imprese sono simili"*; e suggerisce di cogliere di sorpresa gli scienziati, andando a frugare nelle loro notazioni personali e nei quaderni di laboratorio, per scoprire ciò che essi non si sono curati di rivelare; ciò che, ad esempio, Galileo non ci ha raccontato nei *Discorsi* e che invece lo storico Stillman Drake ha saputo ricostruire studiando i manoscritti su cui lo scienziato pisano aveva riportato calcoli e registrazioni sperimentali. Tuttavia, dovendo dare un limite, anche di svolgimento temporale, al nostro lavoro non è stato possibile sviluppare appieno tutte le suggestioni, le occasioni di approfondimento che esso ci ha offerto; così, si è lavorato sui testi di Galileo, che certamente ci svelano poco o quasi niente del "contesto della scoperta" (soprattutto se si pensa ai *Discorsi*), lasciando a un'altra occasione di sperimentazione didattica una riflessione, ad esempio sui manoscritti, che possa condurre a un'immagine nuova, certamente del tutto estranea ai manuali scolastici, del *fare scienza*. E, allo stesso modo, per limiti di tempo, non è stato possibile approfondire il ruolo della misura nell'affermarsi delle teorie scientifiche, tema a cui il nostro percorso si è accostato in diverse occasioni.

Abbiamo già, poco sopra, parlato di complessità; cerchiamo qui di precisare meglio il legame tra questa categoria e il percorso scelto. Il nostro tema è *il movimento*: si tratta di un *oggetto antichissimo*, dice Galileo all'inizio della giornata terza dei suoi *Discorsi*. Aristotele aveva coniato il termine *fisica - physis*, per designare lo studio della *natura*; l'evento rilevante che caratterizza la natura è il mutamento, e il movimento non è che un particolare tipo di mutamento, di luogo rispetto al tempo. Era talmente stretto il rapporto tra la fisica nel suo complesso e lo studio del moto che Aristotele aveva dichiarato che *ignorare il moto è ignorare la natura*. Il cuore del nostro percorso è proprio il tentativo di mostrare come le spiegazioni del movimento che si sono date storicamente siano intrecciate con le rappresentazioni dell'universo che gli uomini si sono costruite; intreccio quindi tra astronomia, cosmologia e fisica. Dunque, i cambiamenti delle concezioni sul movimento sono strettamente legati con altri cambiamenti fondamentali nella storia del pensiero scientifico e filosofico, a loro volta indissolubilmente legati alle trasformazioni del mondo civile, religioso, economico, che pure cercheremo di non trascurare. Il Principio di Relatività e il Principio d'Inerzia, quindi, devono essere colti come sintesi, come risultato di quel processo di trasformazione dell'immagine dell'universo che A. Koyré chiama *disgregazione del cosmo aristotelico*, sostituzione di uno spazio geometrico a uno spazio fisico concreto. La rappresentazione del mondo fisico che ne scaturisce è di natura completamente nuova: il reale è descritto con il linguaggio della matematica, ed è la costruzione di strumenti, che consentono misure sempre più accurate, a rendere possibile questa descrizione.

Il percorso didattico di seguito descritto si è sviluppato a partire dalle idee qui presentate, volendo contribuire a educare i nostri studenti ad una lettura attenta, articolata, mai banale o eccessivamente semplificata della realtà, anche in contesti totalmente diversi da quelli dello studio della Fisica.

IL PERCORSO DIDATTICO

1. La spiegazione del movimento nella cosmologia aristotelica.

Il nostro percorso ha preso l'avvio dal legame tra osservazioni astronomiche e rappresentazione del cosmo, per dare giustificazione alla concezione aristotelica del movimento; e dunque, come primo passo, si è voluto presentare il più semplice e più antico modello cosmologico che abbia il suo fondamento sull'osservazione del cielo, il cosiddetto *universo a due sfere*. Esso si giustifica sulla base di elementi percettivi che, come tali, non sono affatto presenti nell'esperienza degli studenti. Riferiamoci prima di tutto alla sfericità della Terra; certamente tutti i nostri studenti *sanno* che la Terra ha, approssimativamente, forma sferica; ciò su cui non hanno invece mai avuto l'occasione di riflettere sono proprio i dati d'esperienza su cui gli uomini dell'antichità si sono basati per giungere a questa convinzione; per molti è addirittura sorprendente apprendere che essa risale a diversi secoli prima di Cristo (qualcuno la farebbe risalire all'epoca del viaggio di Colombo...). Ben inteso, i dati d'esperienza, le percezioni di cui parliamo non possono essere recuperati all'interno di questo percorso; tuttavia partendo da domande del tipo '*Come hanno potuto gli studiosi della Grecia antica convincersi che la Terra ha forma sferica?*', e anche '*Come ci appare il cielo in una notte serena, quando siamo in aperta campagna o in mare aperto?*' si è potuto guidare gli studenti a un nuovo atteggiamento: prescindere da conoscenze e informazioni già in loro possesso sulla struttura dell'Universo oggi accreditata e cercare di *ricostruirsi* una rappresentazione a partire dai soli dati percettivi disponibili dall'antichità e rimasti sostanzialmente immutati. Tali dati, come si diceva, non potevano che essere descritti (M1), trattandosi di esperienze non riproducibili a scuola: la posizione delle stelle in cielo cambia a seconda del luogo della Terra da cui le osserviamo; quando si vede una nave avvicinarsi al porto prima è visibile la punta dell'albero e poi via via le parti più vicine alla scafo; durante le eclissi di Luna l'ombra proiettata dalla Terra sulla Luna è circolare. Queste, e altre osservazioni, sono compatibili soltanto con la forma sferica della Terra; c'è stata una buona comprensione da parte degli studenti (alcuni hanno riconosciuto nella propria inconsapevole esperienza i fatti descritti). Comunque, per dare maggior forza a questi argomenti si è anche presentato il metodo con cui Eratostene poté ottenere, nel III sec a.C. una

stima della lunghezza del raggio terrestre (M2). Esso si basa sul fatto che il 21 giugno, a mezzogiorno, il Sole è allo zenit al Tropico del Cancro (a Siene i raggi del Sole illuminano l'acqua di un pozzo), mentre ha un'altezza minore in una località sullo stesso meridiano (Alessandria, la cui distanza da Siene era nota). E' proprio dalla misura di tale altezza che Eratostene giunse a stimare il raggio terrestre.

FIGURA

E' importante osservare che la descrizione del metodo è avvenuta contestualmente all'introduzione di termini ed espressioni di cui gli studenti non conoscevano con sicurezza il significato: si è dovuto precisare che cosa sia un *meridiano*, che cosa significhi *altezza del Sole* e *il Sole è allo zenit*, riflettendo su esperienze che mostrano come i raggi del Sole arrivino sulla Terra paralleli; si è anche discusso di quale poteva essere il metodo per misurare grandi distanze (in questo caso circa 800 km) e osservato che era in uso un'unità di misura diversa da quelle da noi utilizzate oggi.

A questo punto, dopo aver pienamente giustificato la convinzione degli antichi della sfericità della Terra, si è cercato di introdurre il concetto di *sfera celeste* per completare lo schema concettuale dell'*universo a due sfere*; anche qui, tuttavia, non è stato possibile riferirsi a un dato d'esperienza: i nostri studenti (come la maggior parte degli adulti, del resto) non hanno alcuna consuetudine con l'osservazione del cielo, sono troppo "ben" informati sulle dimensioni dell'Universo per accettare con facilità di ricollocarsi al centro di una sfera punteggiata di stelle. Come per la percezione della sfericità della Terra, anche questo tipo di percezione non è recuperabile rapidamente all'interno di questo percorso didattico; l'epoca in cui esso si è svolto (ottobre-novembre) è un periodo dell'anno in cui non c'è quasi nessuna occasione di stare all'aperto di notte; si è cercato comunque di suggerire qualche osservazione; scelta una stella nel cielo notturno, che sia facilmente riconoscibile, la rilevazione della sua posizione a distanza di qualche ora può servire a far percepire la rotazione della sfera celeste (solo qualche studente che abita in campagna ha riferito di una certa familiarità con i fatti che si andavano descrivendo). Certamente, sarebbe stato di aiuto aver chiesto in precedenza agli studenti di fare una serie di semplici osservazioni del cielo durante l'estate, anche in relazione ad altri aspetti osservativi che si presentano più avanti in questo percorso. Ciò che si può recuperare con questo tipo di attività è la convinzione lo schema dell'Universo a due sfere emerge dai dati percettivi come il più sensato; è un risultato importante che aiuta a rimuovere l'idea che nell'antichità si facessero degli *errori* nella descrizione della natura perché non si ricorreva al metodo scientifico basato sull'osservazione e l'esperienza. Al contrario, lo schema concettuale dell'universo a due sfere emerge nel modo più semplice e diretto dalla percezione e dall'osservazione, per gli uomini

dell'antichità come per noi; e si è anche precisato che tale rappresentazione è ancor oggi ampiamente utilizzata in alcuni ambiti: "la maggior parte dei manuali di navigazione o di agrimensura cominciano con frasi come questa: *Per gli scopi che ci proponiamo, potremo assumere che la Terra sia una piccola sfera stazionaria il cui centro coincide con quello di una sfera stellare molto più grande e in rotazione*" (T. Kuhn, 1972, pag 50). E' stata anche l'occasione per far riflettere gli studenti sul fatto che un teoria scientifica può continuare a essere utilizzata, anche laddove un'altra teoria ha avuto la meglio su di essa perché capace di dare conto di una gamma più ampia di dati (nessuno utilizza la Relatività generale di Einstein, che rappresenta un superamento della Meccanica di Newton, per descrivere la caduta libera dei corpi).

Possiamo, con queste premesse, ben comprendere come "La cosmologia a due sfere diede a molti uomini, per secoli, una certa visione del mondo, definendo la loro posizione nel creato e dando un significato fisico al loro rapporto con la divinità" (T. Kuhn, 1972, pag 51). A questo punto, per evitare il più possibile semplificazioni eccessive, si è anche fatto cenno alla presenza di cosmologie alternative formulate nell'antichità: Eraclide di Ponto, pitagorico, aveva proposto che la Terra ruotasse su stessa verso est al centro dell'universo (così si spiegherebbe il moto delle stelle verso ovest); così altri (Leucippo e Democrito, Aristarco di Samo) avevano proposto teorie alternative, ma l'idea di una Terra che si muove come uno tra i corpi celesti è antiintuitiva, è contro il senso comune. Questo argomento è stato ampiamente sviluppato più avanti nel percorso.

Il passo successivo nella costruzione della cosmologia aristotelica è il superamento del modello dell'universo a due sfere; siamo costretti a ciò dalla considerazione che gli oggetti celesti non si comportano tutti nello stesso modo. La mancanza di dati percettivi nei nostri studenti rispetto a questo comportamento è ancora più grave rispetto a quanto esposto sopra e impossibile da recuperare; si è dunque proceduto nell'unico modo possibile: la descrizione di questi dati osservativi. Ci stiamo riferendo al fatto che, mentre la posizione relativa delle stelle è fissa, la Luna, il Sole e i pianeti non hanno una posizione fissa rispetto alle stelle. Se dunque le stelle possono essere immaginate incastonate nella sfera celeste e trasportate da essa nella rotazione giornaliera da est a ovest, il Sole, la Luna e i pianeti non possono trovarsi su tale sfera, poiché, ciascuno con un periodo diverso, compiono una rivoluzione completa sulla sfera celeste, muovendosi da ovest verso est. Rispetto a queste nozioni anche l'aver fatto precedere il lavoro da opportune osservazioni da svolgere nel periodo estivo, non avrebbe probabilmente migliorato di molto la situazione; tranne forse per la Luna, è necessaria una serie abbastanza raffinata di osservazioni per giungere a percepire e descrivere questi movimenti verso est. La precisazione

di questi comportamenti, d'altra parte, è essenziale per lo sviluppo successivo del percorso, come si capirà in seguito; e si è comunque cercato di limitarne la trattazione agli elementi irrinunciabili. Il punto di arrivo è stato un universo *a più* sfere, limitandosi al modello più semplice:

FIGURA

In esso, troviamo (almeno) tante sfere quanti sono gli oggetti *erranti*; la sfera delle stelle fisse le racchiude tutte.

La trattazione di questi aspetti astronomici ci ha messo nella condizione di poter presentare e giustificare la teoria aristotelica del movimento; a tal fine si è proceduto alla lettura di alcuni brani dal capitolo terzo del testo di T. Kuhn "La Rivoluzione Copernicana", capitolo che ha per titolo "L'universo a due sfere nel pensiero aristotelico"; ci si è particolarmente soffermati sul brano del *De Caelo* di Aristotele che presenta l'argomento della sfericità, centralità e immobilità della Terra (M3). Si sono fornite alcune notizie sul filosofo, avvalendosi delle pagine del sito internet dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze (M4) presentate con videoproiettore. Le letture proposte ci hanno fornito gli elementi caratterizzanti questa rappresentazione dell'universo: la distinzione tra mondo celeste, perfetto e immutabile, e mondo terrestre, sede del mutamento e della corruzione; la finitezza del cosmo e l'impossibilità del vuoto; ma soprattutto il fatto che, nell'universo aristotelico, ogni luogo rappresenta qualcosa e ha un'influenza; ogni oggetto è trasportato verso il suo proprio luogo. La spiegazione del moto *locale* (con questa espressione fino a Galileo si indicava il moto degli oggetti sulla Terra) ha il suo fondamento in questa concezione dello spazio: un spazio fisico, materiale in cui ciascuno dei cinque elementi di cui è costituito ha una sua collocazione naturale verso cui tenderà a tornare se da essa viene rimosso. E' la *teoria dei luoghi naturali*; una volta introdotta si sono invitati gli studenti a proporre diversi esempi di movimenti: il tentativo di interpretarli alla luce di questa teoria ha condotto alla distinzione tra *moti naturali* e *moti violenti*.

Come consolidamento di quanto introdotto, e anche come approfondimento della distinzione tra *mondo terrestre*, sede del mutamento e del cambiamento, della nascita e della morte, della formazione e della distruzione, e *mondo celeste*, inalterabile e perenne, in cui i moti sono regolari, in cui niente nasce e niente si corrompe, si è proposta la lettura di un brano tratto dall'antologia curata da P. Rossi "La rivoluzione scientifica" (M5) e di una buona sintesi presentata nel libro di testo per i licei "Project Physics Course - P.P.C" (M6).

Questa prima fase del percorso si è conclusa con un intervento, in compresenza, dell'insegnante di lettere sulla sintesi tra cosmologia aristotelica e dottrina cristiana, nel cosmo dantesco. La

Divina Commedia è il racconto di un viaggio straordinario, il viaggio del poeta attraverso l'universo della concezione cristiana del secolo XIV. Si sono invitati gli studenti a riflettere su come ogni variazione nel disegno dell'universo influisca inevitabilmente sul dramma della vita e della morte del cristiano.

FIGURA

La descrizione del cosmo dantesco ha offerto anche l'occasione per qualche riflessione linguistica; ad esempio, si è potuto chiedere agli studenti di chiarire l'origine dell'espressione *essere al settimo cielo*: il primo cielo è quello della Luna, il secondo quello di Mercurio, e così via fino a quello del pianeta più lontano, Saturno, che occupa, appunto, il settimo cielo; considerato che i cieli sono il luogo della perfezione, *essere al settimo cielo* significa essere al colmo della felicità. E ancora: il termine *firmamento*, che ancora utilizziamo, deriva dal verbo latino *firmare*, tener saldo; il *firmamento* è lo *strumento* che tiene saldo il cielo.

2. Il problema dei pianeti, la soluzione degli antichi.

In questa seconda fase l'attenzione si è spostata nuovamente, dalla rappresentazione del cosmo, a aspetti strettamente astronomici; ciò è stato necessario per preparare il contesto in cui emerse l'ipotesi copernicana. Affrontare aspetti più tecnici ha anche contribuito ad affinare, a rendere più chiara la differenza di significato tra i termini *astronomia* e *cosmologia*, anche se non si può affermare di aver colto pienamente quest'ultimo obiettivo (forse veramente troppo 'alto' per studenti che si affacciano a un triennio di scuola media superiore).

L'argomento da introdurre era il cosiddetto *problema dei pianeti*; a tale scopo si sono tornati a trattare aspetti già introdotti nella prima sezione che era però necessario approfondire, proprio per preparare il terreno in cui cogliere l'anomalia del moto dei pianeti. L'unico movimento ben conosciuto agli studenti è quello giornaliero del Sole da est verso ovest, con il variare dell'altezza sull'orizzonte in diversi momenti della giornata. La culminazione giornaliera a sud è un dato importante che serve a rafforzare il modello della sfera celeste rotante intorno alla Terra; ciò di cui gli studenti non erano affatto consapevoli è che, come il Sole, così anche le stelle sorgono, culminano e tramontano. Questo ci ha portato anche a precisare che ci sono stelle e costellazioni sempre presenti in cielo, le *circumpolari*: sono quelle che tanti studenti conoscono, il Gran Carro, Cassiopea, la Stella Polare; comunque alcuni studenti hanno dichiarato di non conoscere neppure queste stelle! Ciò fa emergere la necessità di introdurre nella scuola dell'obbligo semplici percorsi di astronomia, che forniscano non un approccio

libresco e nozionistico, ma quei dati osservativi di cui, a questo punto, abbiamo lamentato diverse volte la mancanza. La culminazione giornaliera degli oggetti celesti, il fatto che la Stella Polare rimane fissa nel cielo notturno, l'altezza di tale stella sull'orizzonte: questi elementi sono stati tutti interpretati mediante la nostra posizione sulla sfera terrestre e la rotazione della sfera celeste intorno a un asse passante per i Poli Nord e Sud e per la Stella Polare (M7). E' chiaro che nel trattare questi aspetti di geografia astronomica, così tecnici, è necessario fissare un limite; si è cercato di selezionare in funzione del significato generale del percorso e non è stato semplice per l'insegnante operare la scelta. Ricordiamo che l'obiettivo di questa fase è introdurre l'anomalia del comportamento dei Pianeti e, soprattutto, farla percepire come tale. Abbiamo ritenuto indispensabile descrivere lo spostamento del Sole attraverso le costellazioni dello Zodiaco, mentre si è rinunciato a precisare nei dettagli come l'inclinazione dell'eclittica, la sua traiettoria sullo sfondo della sfera celeste, rispetto all'equatore celeste renda conto della diversa altezza del Sole a mezzogiorno nell'arco dell'anno, così come della diversa posizione all'alba o al tramonto.

Un approccio induttivo al movimento del Sole lungo l'eclittica è stato impossibile, per ovvi motivi, all'interno di questo percorso didattico; solo diverse settimane, meglio ancora mesi, di osservazione sistematica consentono di rendersi conto che, notte dopo notte, l'aspetto del cielo si modifica, le costellazioni cambiano posizione, quelle che erano visibili in giugno a una certa ora della notte non sono più visibili a settembre alla stessa ora. E da qui alla conclusione che il Sole si sposta sulla sfera celeste è necessaria una rielaborazione tutt'altro che banale! Dunque non si poteva far altro che procedere attraverso un approccio puramente trasmissivo, suggerendo, su tempi lunghi, osservazioni di conferma di quanto appreso.

I nomi delle costellazioni dello Zodiaco sono ben noti a i nostri studenti, capita loro di frequente, in modo più o meno convinto, di ascoltare o leggere un oroscopo; tuttavia il significato di espressioni come *'Sono del segno della Bilancia'* e simili è del tutto sconosciuto. Si è pensato che fosse abbastanza motivante proprio partire da interrogativi del tipo *Cosa vuol dire essere nati sotto il segno della Bilancia? O del Toro? O dei Pesci?* Gli aspetti tecnici che dovevamo introdurre (il Sole, in un tempo che gli uomini hanno chiamato anno, compie un giro completo della sfera celeste percorrendola da ovest verso est) sono dunque stati presentati come risposte a domande che hanno destato la curiosità dei ragazzi. Nel moto annuale il Sole si trova ad attraversare una fascia del cielo che, dall'antichità, gli uomini hanno diviso in 12 costellazioni, quelle appunto dello Zodiaco; essere del segno della Bilancia significa essere nati in quel periodo dell'anno in cui il Sole si trova in corrispondenza di quella costellazione. Qui è stato necessario riflettere sul fatto che le stelle in cielo ci sono sempre, anche di giorno; se si

potesse oscurare il Sole come durante un'eclisse (qualcuno ha ricordato quella del '99) riusciremmo a vederle.

A questo punto il terreno era pronto per introdurre il *problema dei pianeti*; gli studenti conoscevano i nomi dei pianeti (e i più "istruiti" avevano anche ben presenti le figure che li rappresentano in orbita intorno al Sole). Ma *cosa significa la parola pianeta?* Il dizionario ci ha dato la risposta: un pianeta è un *oggetto errante*; indagando sul comportamento di questi oggetti celesti è stato possibile giustificare il nome. Si sono proposte, mediante la lavagna luminosa, immagini che riportassero la posizione di alcuni pianeti (Marte, Mercurio, Saturno), a intervalli regolari di qualche giorno, sullo sfondo della sfera celeste, per un tempo totale di qualche mese (M8). Gli studenti sono stati guidati dall'insegnante a *vedere* ciò che senza l'aiuto di un esperto non avrebbero mai potuto riconoscere (così come nella quasi totalità degli esperimenti didattici): i pianeti, come il Sole, si muovono da ovest verso est sullo sfondo della sfera celeste, *ma*, ecco l'anomalia, a un certo punto interrompono questo moto, si muovono verso ovest per poi riprendere il movimento regolare verso est; questo movimento anomalo è indicato come *moto retrogrado* (M9).

Una volta presentato il comportamento dei pianeti, la domanda che si è cercato di sollecitare è stata *come giustificare il moto retrogrado?* Era già evidente, a motivo del movimento verso est, che non è possibile collocare Sole e pianeti sulla sfera delle stelle fisse (ecco giustificate le sfere del cosmo aristotelico); ma ciò non basta a spiegare il moto 'strano' dei pianeti. A questo punto si è presentata la tecnica, introdotta da Apollonio e Ipparco e ampiamente utilizzata da Tolomeo, dell'epiciclo su deferente, evidenziando la convinzione che tutto dovesse essere spiegato in termini di opportune combinazioni di moti circolari: solo il moto circolare infatti si addice alla perfezione dei cieli (M10). Perché questa soluzione fosse ben compresa si è fatta eseguire la costruzione a ciascuno studente come compito a casa (M11); bisogna osservare che, mentre tutti hanno eseguito il compito in modo sostanzialmente corretto, recependo dunque l'aspetto tecnico, solo alcuni studenti, da quanto si è potuto rilevare dalle verifiche svolte, hanno mostrato una padronanza completa della problematica del moto retrogrado; pochi cioè hanno saputo cogliere la connessione tra come vediamo muoversi in cielo i pianeti e la costruzione geometrica che si è chiesto loro di realizzare. La costruzione della traiettoria di un pianeta mediante la tecnica dell'epiciclo su deferente è stata anche ripetuta utilizzando il software CABRI, il che ha consentito di ottenere un disegno animato e di superare, almeno parzialmente, quella che forse era stata la difficoltà fondamentale: la mancata comprensione di cosa fosse realmente un *moto retrogrado*.

La trattazione delle soluzioni proposte nell'astronomia tolemaica per *giustificare le apparenze*, si è limitata a qualche cenno alle enormi complicazioni geometriche connesse con queste soluzioni, dovute anche all'ostinazione, diremmo noi moderni, a utilizzare soltanto combinazioni di moti circolari. Pur tralasciando i dettagli delle soluzioni escogitate nei secoli nell'ambito del sistema tolemaico, si è tuttavia cercato di far cogliere la frattura tra astronomia e cosmologia, tra chi, come gli astronomi, aveva come obiettivo la previsione, con sempre migliore precisione, della posizione dei pianeti e chi invece cercava di fornire una descrizione fisica dell'universo. E' evidente infatti che, ad esempio, il moto di un pianeta su un epiciclo non ha ragioni fisiche dato che avviene intorno a un centro in cui non c'è nulla; così come è evidente che tale movimento male si colloca all'interno del sistema di sfere omocentriche della cosmologia aristotelica.

3. **L'ipotesi copernicana conduce alla necessità di una nuova Fisica**

Gli aspetti tecnici trattati sono stati fondamentali per introdurre, a questo punto, in modo significativo l'ipotesi di Copernico; in generale, nessuna rivoluzione può essere ben compresa se non si ha una sufficiente padronanza del sistema di credenze che essa è andata a scardinare. Per fare un esempio che si riferisce a un periodo completamente diverso della storia della scienza, non ci sarà modo di presentare in modo sensato la rivoluzione operata dalle idee della fisica quantistica a studenti che non abbiano una solida consuetudine con le idee della fisica classica. Così, perché non si riducesse a una banalizzazione il modello copernicano, si è voluto fornire un quadro il più possibile completo della rappresentazione del mondo che esso è andato a sconvolgere.

Prima di entrare nel merito dell'ipotesi copernicana, si è voluto soffermarsi sul fatto che modelli alternativi erano stati presi in esame e discussi anche nell'antichità; come abbiamo già accennato, ad esempio, Eraclide di Ponto aveva proposto un modello in cui fosse la Terra, al centro dell'universo, a ruotare su se stessa determinando il moto apparente della sfera celeste. Dalla lettura di un brano di Tolomeo (M12) si sono conosciuti e discussi i motivi *fisici* (e ricordiamo che la *fisica* aveva come sua tema fondamentale la caduta dei corpi!) che si adducevano contro il moto della Terra, argomenti che ritroveremo trattati più avanti in Galileo.

Tolomeo ammette che *" non possono forse esservi obiezioni a questa teoria, per quel che concerne le apparenze del mondo stellare"* ma *"a giudicare dalle condizioni terrestri che riguardano noi stessi ed a quelle nell'aria attorno a noi, una tale ipotesi dev'esser vista come assolutamente ridicola ... Se la Terra facesse in un tempo tanto breve un giro così enorme, tornando di nuovo alla stessa posizione ...ogni cosa che non stesse effettivamente sulla Terra*

sembrerebbe necessariamente fare il medesimo movimento in senso contrario". Si sono discussi insieme agli studenti gli argomenti sviluppati da Tolomeo nell' *Almagesto*, riconoscendone la sensatezza, così come altri già presenti nel *De Caelo* di Aristotele; ad esempio se la Terra fosse posta fuori dal centro dell'universo, dove è la Luna, non dovremmo vedere gli oggetti cadere verso la Terra dato che il moto naturale di un oggetto è verso il centro del mondo. Si è compreso come, secondo le parole di Kuhn, *"i sostenitori dell'idea di una Terra planetaria avranno quindi bisogno di una nuova teoria del moto, e finché una tale teoria non verrà scoperta ... la conoscenza della fisica terrestre costituirà un freno dell'immaginazione astronomica"*.

Eppure l'astronomia tolemaica non forniva un accordo soddisfacente con i dati dell'osservazione; la tecnica dell'epiciclo su deferente, oltre che porre, come abbiamo visto, questioni mai risolte sulla struttura del cosmo, non era soddisfacente neppure da un punto di vista tecnico, perché non giustificava completamente le apparenze: alcune irregolarità nella velocità dei pianeti restavano non spiegate. Si è fatto presente come per molti secoli l'astronomia tolemaica abbia comunque continuato a credere che con opportuni miglioramenti si sarebbe in qualche modo giunti a una soluzione soddisfacente del problema dei pianeti, nell'ambito dell'universo a Terra centrale; questa è anche stata l'occasione per far notare, seguendo Kuhn, che "l'osservazione non è mai *assolutamente* incompatibile con uno schema concettuale", che la discrepanza tra teoria e dati sperimentali non è da sola un elemento perché la teoria sia abbandonata *tout court*. Si tratta di un tema complesso e non ci si attendeva una comprensione piena da parte degli studenti; ma non si è voluto perdere l'occasione per introdurre una riflessione che andrà sviluppata, in più occasioni, nel corso di tutto il triennio.

A questo punto, prima di entrare nel merito degli aspetti tecnici dell'ipotesi copernicana, si sono presentati, con l'intervento in presenza dell'insegnante di Lettere, l'epoca di Copernico e quegli elementi culturali, religiosi e sociali in cui si è concretizzata la rivoluzione copernicana; in un'epoca di grandi cambiamenti, legati a eventi quali la scoperta dell'America e la Riforma protestante, la Chiesa Cattolica reagisce con un severo controllo sulla cultura che non dà spazio ad aperture o dubbi di nessun genere, creando nuovi organismi per esercitarlo e potenziando quelli già esistenti (Ceserani De Federicis, 1992, pagg 30-31 e 244-45).

Per entrare nella sostanza dell'ipotesi copernicana, si sono letti in classe i sette assiomi della nuova astronomia che qui ci sembra utile riportare (M13):

- *Non esiste un solo centro di tutti gli orbi celesti o sfere.*
- *Il centro della Terra non è il centro dell'universo, ma solo della gravità e della sfera della Luna.*

- *Tutte le sfere ruotano intorno al Sole come al loro punto centrale e pertanto il centro dell'universo è intorno al Sole.*
- *Il rapporto tra la distanza della Terra dal Sole e l'altezza del firmamento è minore del rapporto fra il raggio terrestre e la distanza Terra-Sole, di modo che la distanza della Terra dal Sole è impercettibile in confronto all'altezza del firmamento.*
- *Qualunque moto appaia nel firmamento, non deriva da un qualche moto del firmamento, ma dal moto della Terra. Pertanto la Terra, con gli elementi a lei più vicini compie una completa rotazione sui suoi poli fissi in un moto diurno, mentre il firmamento e il più alto cielo rimangono immobili.*
- *Ciò che appare come movimenti del Sole non deriva dal suo moto, ma dal moto della Terra e della nostra sfera con la quale ruotiamo attorno al Sole come ogni altro pianeta. La Terra ha, pertanto, più di un movimento.*
- *L'apparente moto retrogrado e diretto dei pianeti non deriva dal loro moto, ma da quello della Terra. Il moto della sola Terra è pertanto sufficiente a spiegare tutte le disuguaglianze che appaiono nel cielo.*



La discussione collettiva su questi assiomi ci ha portato a riconoscere nei primi quattro la descrizione di come è fatto l'universo, mentre gli ultimi tre si occupano di giustificare in base alla struttura definita, i moti che appaiono in cielo. Il quinto si riferisce alla rotazione giornaliera del cielo da est a ovest; il sesto si occupa dei movimenti, giornaliero e annuale, del Sole e attribuisce non al Sole ma alla Terra più di un movimento; infine, il settimo afferma che il moto retrogrado dei pianeti è esso pure interpretabile mediante il movimento della Terra. Dunque

abbiamo ritrovato in estrema sintesi *le apparenze* di cui ci siamo occupati fin dall'inizio del nostro percorso, e in particolare si è approfondita l'interpretazione del moto retrogrado: ciascuno studente ha eseguito la costruzione grafica delle posizioni successive di un pianeta in movimento intorno al Sole visto da una Terra pure in movimento; la costruzione è stata eseguita sia per pianeti posti tra il Sole e la Terra sia per quelli esterni (M14).

Evidentemente i limiti, anche temporali, entro cui doveva svilupparsi questa proposta didattica, hanno impedito di sviluppare in modo approfondito limiti e successi del modello copernicano; tuttavia non si sono volute trascurare del tutto alcune osservazioni. Nell'universo copernicano i movimenti sono ancora rigorosamente circolari e ciò implica in effetti un successo solo parziale nell'interpretazione del moto dei pianeti; ciò non permette, in effetti, di prevederne la posizione con precisione migliore di quella del sistema tolemaico. L'ipotesi copernicana, dunque, ha avviato in modo irreversibile un processo rivoluzionario, malgrado contenesse molti elementi di continuità con la tradizione; per esempio, l'universo di Copernico è un universo finito, ancora contenuto entro la sfera delle stelle fisse, ma se le stelle non sono in rotazione intorno al centro dell'universo tale sfera ha perduto la sua funzione. E allora le stelle potrebbero anche non stare sulla sfera, essere disposte a diversa distanza dal centro ... ecco che l'universo si espande, si trasforma, per dirla con Koyré, da *spazio fisico finito* a *spazio geometrico infinito*. Queste implicazioni cosmologiche sono state oggetto di riflessione anche più avanti nel percorso (e successivamente nel corso dell'anno scolastico quando si sono descritti il lavoro di Keplero e la sintesi di Newton).

Una volta affrontati gli aspetti astronomici del sistema copernicano, si sono esplicitate le difficoltà che tale modello implica per la spiegazione del movimento. Per questo si sono poste agli studenti proprio le stesse domande che si ponevano gli studiosi dell'epoca (già in parte introdotte dal testo citato dell' *Almagest*): *'Se la Terra è in movimento perché vediamo gli oggetti cadere verticalmente verso il basso? Come vediamo muoversi le stelle da est a ovest, così tutto ciò che non è solidale con la Terra dovrebbe esser visto muoversi allo stesso modo'*. E ancora: *'Aristotele affermava che gli oggetti cadono verso il centro della Terra perché esso coincide con il centro del tutto; ma se la Terra è ridotta a pianeta cos'è che fa cadere gli oggetti verso il suo centro?'* Emergerà da questi interrogativi la necessità di costruire, insieme a una nuova cosmologia, una nuova Fisica, nuove leggi del movimento.

4. Galileo sviluppa una nuova concezione del movimento

L'analisi dell'opera di Galileo è stata preceduta da una presentazione dell'epoca in cui egli è vissuto, dell'ambiente culturale in cui è avvenuta la sua formazione, dell'assetto politico dell'Italia di quel periodo con particolare riferimento alla Firenze del Granducato Mediceo, alla Repubblica di Venezia, allo Stato Pontificio; anche qui ci si è avvalsi, in compresenza, dell'intervento della docente di lettere. La vicenda umana di Galileo si è andata poi delineando man mano che se ne sono analizzati e approfonditi i contributi scientifici (G. Ferroni, 1991, pagg 320-331)

Galileo, già prima dell'adesione aperta al copernicanesimo, aveva sviluppato la critica alla distinzione aristotelica tra moti naturali e violenti. Su questo tema si sono letti brani scelti dall'opera giovanile *De Motu* (~1592) (alcuni sono stati tradotti dal latino insieme alla docente di lettere) (M15); dopo la lettura si sono discusse collettivamente le situazioni immaginate da Galileo. Riportiamo qualche passaggio: *"E qualora si domandi se gli elementi siano in sé, puramente e assolutamente, pesanti, rispondiamo che non solo l'acqua o la terra o l'aria, ma anche il fuoco e perfino, se c'è, qualcosa di più leggero del fuoco, hanno un peso e che lo hanno, insomma, tutti gli elementi che possiedano congiuntamente alla sostanza, una quantità e una materia"* e *" I corpi si muovono verso l'alto per estrusione ... Un moto del genere si può dire violento."* Troviamo qui la critica ai concetti di leggerezza e pesantezza; non esistono, per Galileo, oggetti 'leggeri' e non esiste, quindi, un moto naturale verso l'alto, tutti gli oggetti hanno un peso (e si tratterà di introdurre una scala quantitativa di pesantezza); tuttavia troviamo ancora la classificazione di un moto, quello di un corpo spinto fuori dal suo elemento, come violento. In un altro passaggio si discute se un moto circolare sia naturale o violento: *" Il moto naturale è quello in cui i mobili, spostandosi, si avvicinano ai luoghi loro propri; il moto violento è invece quello in cui i mobili, spostandosi, si allontanano dal luogo loro proprio. Stando così le cose , è evidente che la sfera che ruota intorno al centro dell'universo non si muove né di moto naturale né di moto violento."* In questo, come in altri brani, Galileo presenta alcune situazioni fisiche in cui non è possibile procedere con sicurezza alla classificazione aristotelica dei movimenti in naturali o violenti (probabilmente la sfera cui si riferisce è la Terra secondo un'ipotesi cosmologica che riprende il sistema di Eraclide di Ponto). E ancora, mentre gli aristotelici classificavano alcuni moti come misti, al capitolo XVI del *De Motu*, Galileo afferma che non esiste moto "misto", cioè che partecipi sia del naturale che del violento, ma piuttosto alcuni moti sono da classificare "neutri": non si avvicinano né si allontanano dal centro.

Il brano seguente, in cui Galileo si occupa del moto su un piano orizzontale, è stato letto nel laboratorio di Fisica: *"Si deve supporre che il piano sia in qualche modo incorporato o per lo meno levigato con grande precisione e perfettamente duro e che, mentre il mobile grava sul*

piano, questo non si inclini né stia immobile in esso come in una fossa. E' necessario anche che il mobile sia perfettamente levigato e di figura tale da non resistere al moto, quale è quella perfettamente sferica e della materia più dura, o fluida come acqua. Se tutto sarà disposto in questo modo, un corpo su un piano equidistante dall'orizzonte verrà mosso dovunque da una piccolissima forza, anzi, da una forza minore di ogni altra forza." In questa descrizione abbiamo potuto già cogliere l'importanza dell'esperimento mentale, l'esperimento solo immaginato, che poi abbiamo ritrovato con tanta frequenza come espediente pedagogico nel *Dialogo*. Le condizioni ideali della situazione descritta sono emerse dall'analisi dei termini: gli studenti hanno notato l'uso ripetuto dell'avverbio *perfettamente*, per le caratteristiche del piano e la forma dell'oggetto, del superlativo *piccolissima* per la forza, dell'espressione *equidistante* dall'orizzonte e dell'aggettivo *incorporeo* per il piano. Si è voluto sottolineare come Galileo non si riferisca a un esperimento effettivamente svolto, e tuttavia concluda indicando con sicurezza il risultato. Noi, comunque, abbiamo voluto seguire le indicazioni del testo e fare la prova suggerita da Galileo: abbiamo effettivamente messo in moto con un soffio un carrello su una rotaia priva d'attrito e abbiamo visto la sequenza di un film didattico in cui un disco a ghiaccio secco viene messo in movimento nello stesso modo (M16). Gli studenti sono stati così condotti a condividere, a fare propria con convinzione l'opinione galileiana secondo cui non si può classificare violento un movimento ottenibile con una forza piccola a piacere; la convinzione è nata da un'esperienza didattica articolata, di cui gli studenti sono stati protagonisti sia nella fase dell'analisi del testo sia in quella delle prove di laboratorio.

Un ulteriore approfondimento è venuto proseguendo nella lettura del *De Motu*; in esso Galileo ci avverte: *"E le cose che abbiamo dimostrato, come sopra abbiamo detto, sono da intendersi immuni da ogni resistenza esterna. Ma poiché è forse impossibile trovare (tali corpi) nella materia, non ci si meravigli se, facendo l'esperimento su queste cose, l'esperienza delude, e una grande sfera, anche se su un piano orizzontale, non può essere mossa da una forza minima."* Dunque troviamo nel modo di procedere di Galileo un approccio nuovo alle cose della natura; citando Koyré "la necessità di sostituire la realtà empirica con il mondo matematico, platonico, archimedeo e l'impossibilità di questa sostituzione totale per il bisogno di spiegare i fatti." Infatti, leggendo ancora Galileo: *"Il piano non può essere veramente equidistante dall'orizzonte. La superficie della Terra infatti è sferica e un piano non può essere equidistante da essa. Perciò, poiché il piano è congiunto alla sfera soltanto in un punto, se si recede da tale punto, necessariamente si sale."*

Questa fase dedicata ai brani del *De Motu* ci ha portato, in sintesi, al superamento della classificazione aristotelica dei moti in naturali e violenti: Galileo, abbiamo visto, ha introdotto

l'aggettivo "neutro"; più avanti si parlerà di *indifferenza dei corpi al moto*, un'idea fondamentale, è evidente, verso l'enunciazione del Principio d'Inerzia. Il delinearsi di questa nuova concezione del movimento s'intreccia con l'affermarsi dell'ipotesi copernicana; in effetti, l'interesse di Galileo per le questioni astronomiche nasce quando egli comprende che il moto terrestre è possibile da un punto di vista fisico. Alle scoperte astronomiche di Galileo, che sono una tappa di grande rilevanza nella sua vicenda umana e scientifica, ci siamo accostati sia attraverso la lettura di testi (M17), sia attraverso immagini e documenti reperibili su siti internet (M18). L'approfondimento di questa tematica, tra l'altro, ha avuto come obiettivo il superamento di un punto di vista *banalizzante* piuttosto diffuso, quello secondo cui Galileo con il cannocchiale ha *scoperto* che la Terra si muove, ha *dimostrato* la validità dell'ipotesi copernicana; si è cercato di far comprendere quanto più complessa sia stata la vicenda rispetto a queste semplificazioni, precisando come non vi sia mai, in questa come in altre occasioni, un'incompatibilità assoluta tra dati sperimentali e una determinata teoria, tale da indurre tutti i suoi sostenitori ad abbandonarla. E ancora, si è voluto, esaminando le pagine in cui Galileo ha riportato le sue osservazioni al cannocchiale, far cogliere anche la passione con cui lo scienziato pisano si è dedicato a queste ricerche, l'emozione con cui ha aspettato, sera dopo sera, le condizioni più favorevoli per le sue osservazioni.

Il passo successivo del nostro percorso è stato la lettura di alcuni brani dal *Dialogo*; in essi Galileo ripercorre tutti i principali argomenti fisici contro il moto della Terra, adottati dai tolemaici, e ne sviluppa la critica. Queste letture sono state introdotte da un nuovo intervento della docente di lettere dedicato agli aspetti più specificamente linguistici, alle sue scelte letterarie innovatrici. L'adozione della lingua volgare, anche per gli argomenti teorici che erano solitamente trattati in latino, era dovuta non ad ignoranza (le altre sue opere erano state scritte in latino), ma alla precisa volontà di rivolgersi ad un pubblico nuovo, più vasto, in un'epoca in cui nelle università si continuava a parlare latino. Altro elemento di innovazione, la definizione di quella terminologia tecnico-scientifica che, nel volgare, ancora mancava. "A questo scopo non si seguì il procedimento di coniare vocaboli dotti, derivati dal latino o dal greco, ma si fece ricorso a termini della lingua non specialistica [...]; parole di uso comune, introdotte in nuovi contesti, finirono così per acquistare un valore tecnico" (Ceserani De Federicis, 1992, pag 293). Le parole hanno dunque una funzione diversa da quella che veniva loro attribuita nella scienza aristotelica; i nomi di cui ci serviamo per designare i fenomeni possono essere scelti a piacer nostro, in modo convenzionale perché, per dirla con le parole stesse di Galileo, *prima furon le cose e poi i nomi* (M19).

Nei brani del *Dialogo* letti insieme agli studenti, o assegnati come lettura personale e poi discussi collettivamente, Galileo presenta molti argomenti che venivano utilizzati contro l'ipotesi copernicana e li fa dibattere con vivacità dai tre interlocutori.

Prima di tutto si sono presentati questi argomenti attraverso l'esposizione che ne fa Tycho Brahe, che fu certamente un grande innovatore in astronomia ma che in fisica resta un aristotelico: *"Se certuni credono che una palla che si lancia in alto dal ponte di una nave in navigazione, ricada nello stesso punto in cui sarebbe caduta se la nave fosse stata ferma, si sbagliano di grosso. Infatti, quanto più veloce sarà l'avanzamento della nave, tanto più indietro rimarrà la palla."* E lo stesso argomento viene presentato in una versione modernizzata facendo uso del cannone, invenzione recente ai tempi di Tycho: *"Ora, che cosa avverrebbe, io ti chiedo, se da un grande cannone si sparasse una palla verso l'Oriente ... e poi dallo stesso cannone, e dallo stesso luogo, se ne sparasse un'altra ... verso l'Occidente? E' possibile credere che ambedue ... percorrerebbero sulla terra degli spazi eguali?"* La risposta di Brahe è un no deciso, il proiettile lanciato verso Oriente arriva meno lontano perché la terra con il suo movimento gli viene incontro. E' stata molto importante l'analisi del punto di vista di Brahe; egli infatti afferma anche che il movimento estremamente violento impresso dal cannone alla palla *"costituisce un ostacolo per l'altro"*, cioè quello naturale della palla, corpo pesante, verso il basso (M20), un movimento, cioè, sopprime l'altro. Galileo si occuperà molto a lungo nel *Dialogo* di queste situazioni; si sono letti e discussi con gli studenti molti brani dalla giornata seconda. In essi Galileo espone con precisione e ricchezza di particolari gli argomenti aristotelici (M21), poi passa alla critica; la lettura del *Dialogo*, inizialmente un po' faticosa, è alla lunga risultata gratificante per gli studenti. Nella sezione scelta (M22) Simplicio si dice sicuro che una pietra lasciata cadere dalla cima dell'albero di una nave in movimento cada restando indietro rispetto alla nave, ma Galileo gli fa ammettere di non aver mai fatto l'esperienza ed è convinto che *"quegli autori che la producono .. la portano senza averla fatta"* perché chiunque l'avesse eseguita avrebbe trovato *"il contrario di quello che vien scritto"*. Ci si è soffermati molto su questo passaggio perché qui Galileo conclude anche che dal modo di cadere della pietra, ai piedi dell'albero, non si può dedurre che la nave sia in moto o ferma; e allo stesso modo dal fatto che i gravi cadano perpendicolarmente al suolo non si può evincere che la Terra sia o meno in movimento, che è poi un'affermazione del Principio di Relatività; principio che abbiamo ritrovato espresso nel celebre brano in cui Galileo, ampliando con molti esempi un'opinione che abbiamo già ascoltato, suggerisce ai suoi interlocutori: *"Rinserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che vi sia sotto coverta di alcun gran navilio..."*; di nuovo Galileo ci indica condizioni ideali, di nuovo troviamo l'espedito dell'esperimento

pensato. Il testo è stato letto con molta attenzione; gli studenti, nella fase di verifica, hanno mostrato di averne ben compreso il contenuto e di aver colto le connessioni tra questi argomenti e la disputa cosmologica.

Questa fase di lettura di testi è stata resa più vivace con l'ausilio di immagini e sequenze opportunamente scelte da alcuni film, didattici e non (M23); così pure la lettura del famoso brano del *Dialogo* in cui Galileo suggerisce di fare esperimenti mettendosi sotto coperta di un *gran naviglio*, è stato accompagnato, ad esempio, da immagini girate all'interno di un aereo. Si è chiesto agli studenti *'Da quello che avete potuto osservare si può capire se l'aereo fosse in volo oppure fermo all'aeroporto?'*, portandoli ad esprimere conclusioni coerenti con il Principio di Relatività. Le immagini, di fatto, sono servite solo a evocare con più facilità esperienze effettivamente svolte, in modo inconsapevole, dagli studenti.

Questa fase impegnativa del nostro percorso ci ha portato, in sintesi, a una nuova concezione del movimento; esso non è una qualità dei corpi, che sono indifferenti al moto o alla quiete; e ancora attraverso il testo del *Dialogo* abbiamo ascoltato l'opinione secondo cui non si debba distinguere tra i movimenti celesti e quelli terrestri, così come tra la natura dei corpi celesti e quella dei corpi terrestri (M24); è la distruzione della cosmologia aristotelica, ben espressa dalle parole di Simplicio: *"Questo modo di filosofare tende alla sovversione di tutta la filosofia naturale, ed al disordinare e mettere in conquasso il cielo e la terra e tutto l'universo"*. E' in questo nuovo universo, che si è dilatato e non ha più un centro assoluto, e grazie a questo modo nuovo di pensare il movimento, che diventa possibile concepire un moto rettilineo uniforme, arrivando dunque all'enunciazione del Principio d'Inerzia.

In questa sezione sono state anche fornite notizie sulle questioni relative alla pubblicazione del *Dialogo*; abbiamo così seguito la vicenda umana di Galileo con il processo davanti al Tribunale dell'Inquisizione, l'abiura, la condanna al domicilio coatto (M25).

5. Galileo descrive matematicamente il moto dei proiettili

Le considerazioni svolte fino a questo punto ci hanno fatto comprendere come Galileo abbia concepito il movimento in modo del tutto nuovo; si è insistito molto ancora sulle conclusioni cui si era giunti nella sezione precedente, chiedendo agli studenti, in diverse occasioni di verifica, di esplicitarle: non esiste più un centro dell'universo (e non ha senso chiedersi che cosa sia la gravità, *"non mi par opportuno entrar nell'investigazione delle cause dell'accelerazione"*); i corpi sono indifferenti al movimento, non gli si fa mai violenza; l'essere in moto o l'essere fermo non sono più caratteristiche primarie di un oggetto; il movimento in avanti e quello verso il basso, ad esempio in un oggetto lanciato, non si ostacolano. E' bene precisare che il percorso

svolto per arrivare a queste conclusioni è ben diverso da ciò che è proposto dai manuali scientifici; questi procedono come se le menti dei nostri studenti fossero dei vasi vuoti in cui riversare la conoscenza scientifica, non tenendo in nessun conto del fatto che essi possiedono invece, in modo quasi del tutto inconsapevole, delle rappresentazioni strutturate della realtà. Come abbiamo visto il percorso svolto ha invece consentito di esplicitare, ad esempio attraverso le opinioni di Tycho Brahe, questo modo ingenuo di interpretare i fenomeni, di coglierne le ragioni all'interno di un certo sistema di pensiero, di operarne la critica approdando a un modo nuovo di guardare agli stessi fatti.

In quest'ultima sezione ci si è occupati di come Galileo non si sia limitato alla descrizione, potremmo dire, qualitativa del movimento; e per questo, abbandonato il *Dialogo*, si sono letti alcuni brani dai *Discorsi* per comprendere le caratteristiche, i metodi, il linguaggio della nuova Fisica.

Ci siamo dunque chiesti: *'Se i corpi sono indifferenti al moto, come si muove un oggetto animato da più movimenti?'* Il movimento non solo è concepito in modo nuovo, ma, vedremo, è anche nuovo il linguaggio utilizzato per descriverlo; la risposta al *come* della domanda precedente è scritta nel linguaggio della matematica.

Si è scelto, come primo approccio alla questione, di seguire il suggerimento di Galileo per visualizzare la traiettoria di un oggetto animato da più movimenti: *"Io ho una palla di bronzo esquisitamente rotonda, non più grande d'una noce; questa tirata sopra uno specchio di metallo, non eretto all'orizzonte ma alquanto inclinato, sì che la palla nel moto vi possa camminar sopra calcandolo leggermente nel muoversi, lascia una linea parabolica sottilissimamente e pulitissimamente descritta, e più larga e più stretta secondo che la proiezione si sarà più o meno elevata. Dove anco abbiamo chiara e sensata esperienza il moto dei proietti farsi per linee paraboliche."* (M26). Con qualche piccola variante rispetto a queste indicazioni (M27), abbiamo ripetuto la prova molte volte coinvolgendo il maggior numero possibile di studenti. Alla domanda *"Di che curva si tratta?"* gli studenti hanno risposto senza incertezze trattarsi di una parabola, curva che avevano imparato a conoscere dal biennio come particolare luogo geometrico e di cui conoscono l'equazione generale; tuttavia l'insegnante ha cercato di sollecitare risposte più precise e osservazioni più accurate. Qualcuno ha notato che tutte le curve ottenute risultavano di fatto asimmetriche, alcune in modo più marcato, altre meno; l'attrito con il piano, che fa rallentare la sferetta, è stato riconosciuto come la causa dell'asimmetria. Si è voluto allora eseguire la prova con un tavolo privo d'attrito, disponibile in laboratorio, rivestito di una carta speciale su cui è possibile far muovere un corpo cilindrico che lascia una traccia mediante piccole scariche elettriche (M28); anche stavolta abbiamo eseguito diversi lanci. Nel

commentare i nuovi risultati ottenuti si è posta la domanda *"Come possiamo essere sicuri che si tratta davvero di traiettorie paraboliche?"* e qui le risposte sono state meno sicure. Si è scelto dunque di cercare la risposta nella *Giornata quarta* dei *Discorsi* (M29); Galileo ha già trattato nella *Giornata terza* del moto naturalmente accelerato e l'obiettivo è adesso quello di studiare un *"moto composto di un duplice movimento, cioè di un movimento equabile e di uno naturalmente accelerato"*, appunto il moto dei proiettili. La lettura di queste pagine è stata condotta insieme all'insegnante di matematica; per prima cosa Galileo spiega come ottenere un simile movimento: *"Immagino di avere un mobile lanciato su un piano orizzontale, rimosso ogni impedimento: già sappiamo, per quello che abbiamo detto più diffusamente altrove, che il suo moto si svolgerà equabile e perpetuo sul medesimo piano, qualora questo si estenda all'infinito; se invece intendiamo questo piano limitato e posto in alto, il mobile che immagino dotato di gravità, giunto all'estremo del piano e continuando la sua corsa, aggiungerà al precedente movimento equabile e indelebile quella propensione all'ingiù dovuta alla sua propria gravità: ne nasce un moto composto di un moto orizzontale equabile e di un moto deorsum naturalmente accelerato (...)"* Nel commentare questo brano gli studenti vi hanno ravvisato un'enunciazione del Principio d'Inerzia; in particolare si è sottolineato l'aggettivo *indelebile* che esprime in modo particolarmente efficace la nuova concezione del movimento sviluppata nella sezione precedente. Segue subito la Proposizione I in cui si afferma che il *"proietto (...) descrive nel suo movimento una traiettoria semiparabolica"*. Qui Galileo non procede immediatamente alla dimostrazione di tale proposizione; in risposta alle richieste dei due personaggi Simplicio e Sagredo, che si dichiarano poco preparati su questa e altre sezioni coniche di Apollonio (*"non mi son tanto inoltrato nella geometria"*), egli presenta *"due passioni principalissime di essa parabola"*.

Per prima cosa, dato un cono retto, egli mostra come nasca la sezione detta *parabola*; qui non ci siamo voluti limitare al disegno di Galileo e per visualizzare meglio come si ottiene la curva in questione abbiamo mostrato alcuni modelli in legno. Si trattava, appunto, di coni di legno sezionati con piani di diversa inclinazione; così si è compreso che si possono ottenere diverse curve a seconda dell'inclinazione del piano rispetto all'asse del cono e tra tutte la parabola è stata riconosciuta dagli studenti come un caso molto particolare (e nell'*uguaglianza* tra le due inclinazioni, del piano e della generatrice, si è anche rintracciata l'origine del termine *parabola*). Si è anche voluto far riconoscere la presenza di tali sezioni nella realtà che ci circonda, in situazioni tratte dal quotidiano; così, seguendo le indicazioni di didattica della matematica di Emma Castelnuovo, si è utilizzato un fascio di luce, un cono appunto, proiettandolo su una parete in una stanza buia. Dapprima si è ottenuto un cerchio, poi un'ellisse e, inclinando

ulteriormente l'asse del cono, la sezione sul muro è diventata una parabola. Sono emerse diverse osservazioni da parte degli studenti, che sono stati incoraggiati a ripetere a casa queste prove.

Tornando al testo dei *Discorsi* ci siamo cimentati con la dimostrazione di una delle *passioni* della parabola: si è trovato che la relazione quadratica, che gli studenti avevano ottenuto dalla definizione di parabola come luogo geometrico, è valida anche per la parabola definita come sezione conica. La dimostrazione è stata impegnativa, soprattutto è stato necessario soffermarsi sulla differenza di linguaggio, il diverso utilizzo dei simboli; l'insegnante di matematica ha condotto insieme agli studenti una vera e propria traduzione dal testo di Galileo al linguaggio della geometria analitica a loro ben familiare.

Come già anticipato, gli studenti conoscevano già la legge secondo cui nella caduta libera "*gli spazi percorsi da un grave (...) sono in duplicata proporzione dei tempi*", esiste cioè una relazione quadratica; l'ultima fatica sul testo è stata dunque la lettura in cui si dimostra che la composizione di un moto *equabile* orizzontale e di uno *naturalmente accelerato* dà luogo a una traiettoria parabolica (si è fatto osservare come questa operazione di composizione di movimenti fosse riconducibile alla tecnica astronomica di costruzione della traiettoria dei pianeti mediante la combinazione epiciclo su deferente). Ottenuta la dimostrazione si è deciso di accogliere la proposta che già in precedenza alcuni studenti avevano avanzato: controllare se le curve che avevamo ottenuto in laboratorio fossero *realmente* parabole; tale attività è stata assegnata come lavoro a casa e la discussione delle verifiche svolte dai ragazzi è stata l'occasione per sviluppare considerazioni sull'aderenza del modello matematico alla realtà. Riprendendo ancora la lettura del testo dei *Discorsi* abbiamo ascoltato Salviati rispondere alle critiche dei suoi interlocutori e parlare della necessità di astrarre da tutti gli impedimenti della realtà fisica stessa (M30). Sagredo e Simplicio obiettano che la traiettoria che realmente il proiettile andrà a percorrere non sarà una parabola per diversi motivi: la verticale, che dovrebbe individuare l'asse della conica, cambia continuamente orientamento durante il moto; il piano su cui il proiettile si muove prima di cadere non è veramente orizzontale (argomento già discusso anche con gli studenti); *l'impedimento del mezzo* fa sì che il moto trasversale non sia *equabile* e quello di caduta non segua veramente la regola nota. Salviati, che ormai abbiamo imparato a conoscere come colui che esprime l'opinione di Galileo, ammette la validità di tutte queste osservazioni e concede che "*le conclusioni così in astratto dimostrate si alterino in concreto*"; ma aggiunge anche, per le prime due obiezioni, che si tratta di minuzie. Nel discutere, più avanti, dell'attrito dell'aria, ammette di non saperne dare una descrizione matematica ma afferma anche la necessità di "*astrar da essi, e ritrovate e dimostrate le conclusioni astratte dagli impedimenti, servircene nel praticarle, con quelle limitazioni che l'esperienza ci verrà insegnando*". Troviamo qui ribadita

la convinzione che la realtà sia scritta nel linguaggio della matematica, la fiducia nella possibilità di utilizzare comunque leggi semplici per la descrizione dei fatti della natura. E proprio nel ruolo fondamentale del linguaggio matematico i nostri studenti hanno potuto riconoscere l'elemento di grande innovazione dell'opera di Galileo, rispetto alla tradizione aristotelica da cui il nostro percorso aveva preso l'avvio.

CONSIDERAZIONI METODOLOGICHE-DIDATTICHE

La proposta didattica che abbiamo presentato è stata svolta in una terza liceo scientifico, all'inizio dell'anno scolastico; questa collocazione è coerente con la propedeuticità che essa offre allo studio della Fisica classica. Trattandosi di un corso P.N.I. gli studenti avevano già frequentato per due anni un corso di Fisica, erano già stati introdotti i concetti di velocità e accelerazione, era nota la legge della caduta libera. Ciò non è stato tuttavia di particolare rilevanza ai fini dello svolgimento del percorso stesso; anzi esso acquisterebbe pienezza di senso proprio includendovi, certamente con tempi completamente diversi rispetto a quelli di seguito indicati, lo studio del moto di caduta libera e la costruzione del concetto di accelerazione.

Nel ricostruire l'evolversi della concezione del movimento abbiamo trascurato completamente, per limiti di tempo, la trasformazione della tradizione aristotelica ad opera degli studiosi medievali; ci stiamo riferendo alla *teoria dell'impetus*, riconducibile a studiosi quali N. D'Oresme e G. Buridano; questi autori erano ben noti a Galileo, i loro scritti hanno contribuito a formare quella convinzione antiaristotelica espressa, come abbiamo visto, già nel *De Motu*.

La scelta di testi e immagini ha cercato di essere la più adatta al fine di costruire insieme agli studenti i concetti più rilevanti del nostro percorso; come si è visto si è fatto uso del laboratorio di Fisica, così come di sequenze di film, ma soprattutto si è inteso costruire un clima laboratoriale, anche quando i nostri strumenti d'indagine sono stati i testi scritti. L'approccio narrativo, l'ottica della trasversalità e della complessità, che si sono volute tenere presenti nel cercare di offrire un punto di vista del tutto nuovo sul tema del movimento, completamente alternativo a quello del manuale, non si realizzano nel modo tradizionale del fare scuola: lezione frontale, appunti, studiare da pagina x a pagina y. E tuttavia si è dovuto constatare che è molto difficile andare ad intaccare questo modello; in parte perché l'aula scolastica ha una sua rigidità che predispone a un certo modo di fare scuola, in parte perché gli stessi studenti hanno un atteggiamento passivo molto radicato, costruito attraverso tanti anni di una certa pratica scolastica.

Crediamo che, anche con queste difficoltà, il nostro percorso sia stato, in una certa misura, un'esperienza coinvolgente per i nostri studenti, un'occasione per sentirsi "dentro" una storia.

VERIFICHE

La verifica si è svolta prevalentemente attraverso questionari scritti, ma anche sulla base delle risposte e degli interventi contestuali alla costruzione del percorso; si deve inoltre precisare che la verifica sui concetti introdotti è proseguita, implicitamente ed esplicitamente, nella trattazione dei temi successivi (in particolar modo le leggi della dinamica e la gravitazione universale).

Testo della prima verifica scritta:

- Spiega brevemente di che cosa si occupa l'*astronomia* e di che cosa la *cosmologia*.
- Spiega in che cosa consiste il modello di *universo a due sfere* e come si muove in esso il Sole.
- Da quali argomentazioni Aristotele deriva la sfericità, l'immobilità e la centralità della Terra? Descrivi brevemente la struttura del cosmo aristotelico. Per quale motivo si parla di cosmologia *aristotelico-medievale*?
- Da dove deriva la distinzione aristotelica tra *moti naturali* e *moti violenti*?
- Fin dal IV sec a. C., "il problema dei pianeti" è stato il problema fondamentale dell'astronomia. Che cosa significa la parola *pianeta*? Come fu spiegato il moto dei pianeti nell'astronomia tolemaica?
- Esponi gli "assiomi" dell'astronomia copernicana. Per quale motivo il sistema copernicano risultò non meno complicato, da un punto di vista geometrico, di quello tolemaico? Come si spiega il movimento dei pianeti superiori nell'astronomia copernicana?
- Spiega perché l'aver posto la Terra su un'orbita intorno al Sole mette in crisi la fisica (leggi del movimento) e la cosmologia aristoteliche.
- Esponi gli esempi portati da Galileo nel *De motu* per criticare la distinzione aristotelica tra moti naturali e moti violenti. Quale aggettivo introduce Galileo per alcuni movimenti?
- Per ciascuno degli studiosi delle domande precedenti precisa il luogo e il tempo in cui è vissuto.

Testo della seconda verifica scritta:

- Traccia un breve e schematico profilo biografico di Galileo.
- Quali sono i titoli e gli anni di pubblicazione delle due opere più celebri di Galileo? Quale forma letteraria viene in esse utilizzata? Perché la scelta del volgare? Chi rappresentano i personaggi che intervengono nelle due opere? L'ultima di queste due opere, in ordine di pubblicazione, fu stampata non in Italia bensì a Leida, una città dell'Olanda; perché?
- Che cosa significa (in senso allargato) e da dove deriva l'espressione *mettere all'indice*?
- Come era interpretata nell'astronomia tolemaica la comparsa di comete o di *stelle novae*?
- Quali furono le scoperte astronomiche ottenute da Galileo con il cannocchiale? Qual è il titolo dell'opera in cui Galileo descrive le sue scoperte astronomiche? Che cosa significa? Per due di queste scoperte spiega perché danno credito all'ipotesi copernicana.
- "*Rinserratevi con qualche amico...*" è l'inizio di uno dei brani più celebri di Galileo; descrivi alcuni degli esempi che Galileo usa per enunciare il principio di Relatività. Perché queste argomentazioni sono di grande importanza per la disputa cosmologica?
- Definisci la *parabola* come particolare sezione conica; in che modo, utilizzando un cono di luce, si possono "disegnare" le diverse sezioni coniche?
- Quale proprietà della *parabola* viene dimostrata da Galileo nei *Discorsi*? Sapresti ripetere qui tale dimostrazione?
- La tecnica di *composizione di movimenti* era ampiamente utilizzata in astronomia; quale esempio importante conosci?
- Quali obiezioni vengono mosse a Salviati contro l'affermazione che la traiettoria di un oggetto lanciato da un piano orizzontale sia effettivamente parabolica? Come si difende Salviati?

TEMPI DI SVOLGIMENTO

Il percorso si svolse in un arco di tempo di 6-7 settimane (ottobre-novembre 2003); le ore impiegate in totale sono state 25 (di cui 19 di Fisica, 4 di Lettere e 2 di Matematica) più le ore necessarie per le verifiche scritte. In dettaglio:

- La spiegazione del movimento nella cosmologia aristotelica: 5 ore, di cui 1 in compresenza con il docente di Lettere;
- Il problema dei pianeti, la soluzione degli antichi: 3 ore;
- L'ipotesi copernicana conduce alla necessità di una nuova Fisica: 3 ore, di cui 1 in compresenza con l'insegnante di Lettere;
- Galileo sviluppa una nuova concezione del movimento: 9 ore, di cui 2 in compresenza con l'insegnante di Lettere;

- Galileo descrive matematicamente il moto dei proiettili: 5 ore, di cui 2 in presenza con l'insegnante di Matematica.

ELENCO MATERIALI e SUSSIDI DIDATTICI

- M1 Sito internet http://www.cd-astro.org/CD/CD_TESTI/SFERA.HTM per le prove della sfericità della Terra
- M2 Sito internet <http://www.vialattea.net/eratostene/> per la misura del raggio terrestre; da qui è anche tratta la figura riportata nel testo;
- M3 Nell'edizione citata nella bibliografia il brano in questione è a pag 109-110
- M4 Sito internet www.imss.fi.it; all'epoca in cui il percorso è stato svolto era possibile effettuare la visita virtuale alla sala di Galileo ottenendo immagini e notizie biografiche, oltre che su Galileo e la sua opera, anche su Aristotele, Tolomeo, Copernico. Attualmente il sito del museo è stato modificato.
- M5 Nell'edizione citata nella bibliografia il brano in questione è a pag 119-121
- M6 Nel testo P.P.C. citato nella bibliografia si tratta del primo paragrafo del capitolo 3, dedicato al problema della caduta libera.
- M7 Nell'impossibilità di osservare davvero stelle circumpolari, culminazioni e altri eventi simili, si sono utilizzati i disegni presenti nel testo di Kuhn, alle pagg 22, 25, 26 e 41 e il materiale presentato nel primo capitolo del testo P.P.C. (dedicato all'astronomia come alba della scienza); si è analizzata con particolare attenzione la fotografia della zona di cielo intorno alla Polare, alla pag 1-6, ottenuta con un tempo di esposizione opportunamente lungo. In essa il moto delle stelle circumpolari ha tracciato archi di circonferenza aventi tutti lo stesso angolo al centro, centro che è ovviamente la stella Polare. Dalla misura di tali angoli gli studenti hanno potuto ricavare la durata dell'esposizione, tenendo conto che la rotazione completa della sfera celeste (360°) avviene in 24 ore.
- M8 Le immagini utilizzate sono ancora tratte dal primo capitolo del testo P.P.C. alla pag 1-11
- M9 Tutta questa parte sul moto annuale del Sole e sui moti dei pianeti avrebbe certamente tratto grande vantaggio dall'utilizzo di un planetario che in questo percorso è mancato; certamente l'insegnante, per mancanza di esperienza didattica, non aveva saputo prevedere le difficoltà che poi si sono presentate nella descrizione degli aspetti astronomici.
- M10 La tecnica dell'epiciclo su deferente è stata presentata utilizzando un disegno tratto dall'antologia di P. Rossi citata nella bibliografia, alla pag 135.
- M11 La costruzione è stata svolta seguendo le indicazioni fornite nel testo P.P.C. alle pagg 1-38 e 1-39 (esercizio n.14); è attualmente disponibile sul sito dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza una descrizione della tecnica degli epicicli accompagnata da animazione (vedere sul sito nell'elenco delle animazioni)
- M12 Il brano è stato tratto dal testo di Kuhn già ampiamente utilizzato, dove si trova alla pag 111.
- M13 I sette assiomi sono tratti dal libro di P. Rossi, già citato, alla pag 143.
- M14 Nel testo di Kuhn, alla pag 213, troviamo entrambe queste costruzioni, che sono state mostrate agli studenti prima che essi stessi le riproducessero
- M15 I brani sono stati tratti da "Studi galileiani" di Koyré, alle pagg 67, 68, 70, e da "Galileo. Una biografia scientifica" di Drake, alle pag 52-57, entrambi citati nella bibliografia.
- M16 Si tratta del film "Inerzia e moto" della ESSO ITALIANA, di corredo al corso di Fisica del PSSC
- M17 Si è utilizzato di nuovo il testo P.P.C., capitolo terzo, paragrafi 11, 12, 13
- M18 L'elenco di indirizzi internet qui riportato è puramente indicativo; si possono certamente trovare numerosi altri riferimenti mediante ricerche sulla rete:
 sui satelliti di Giove: <http://albinoni.brera.unimi.it/CAELUM/SISTSOL/img/jupiter1.jpg>
http://www.cd-astro.org/CD/CD_TESTI/SAT_GAL.HTM
 sulle fasi di Venere sito IMSS e <http://www.corriere.it/speciali/stelle/venere.shtml>
 foto della Luna <http://mercury.nineplanets.org:8011/astro/luna.jpg>
 anelli di Saturno www.nautilaus.com/osservatorio/foto/saturno.jpg
 su tutti gli argomenti <http://www.pd.astro.it/MOSTRA/NEW/A1002OSS.HTM>
- M19 Per questa parte si è fatto riferimento al testo di Ceserani e De Federicis, alle pag 293-295, inserito nella bibliografia
- M20 I brani citati e l'argomento sviluppato si trovano in "Studi galileiani" di Koyré alle pagg 184-187
- M21 Nell'edizione delle OPERE galileiane citata nella bibliografia questo brano si trova alle pagg 164 e 165
- M22 Nell'edizione delle OPERE galileiane citata nella bibliografia la selezione di brani scelta si trova tra la pag 185 e la pag 200
- M23 Alcune sequenze sono state tratte dal film "Sistemi di riferimento" della ESSO ITALIANA, di corredo al corso di Fisica del PSSC; altre dai film di Wim Wenders "Così vicino così lontano" (una bambina cade da un grattacielo ed è raccolta da un angelo) e "Il cielo sopra Berlino" (gli angeli si aggirano tra i viaggiatori su un aereo)
- M24 Nell'edizione delle OPERE galileiane citata nella bibliografia i brani letti sono alle pagg 56 -58 e alle pagg 82 - 83

- M25 Anche qui si è fatto uso di immagini e testi reperibili sul sito dell'IMSS
- M26 Il brano è tratto dalla *Giornata seconda dei Discorsi*; nell'edizione delle OPERE galileiane citata nella bibliografia si trova alla pag 717.
- M27 Il piano era cosparso di polvere di carbone e la sferetta era d'acciaio; sul piano veniva fissato un foglio di carta bianco.
- M28 Si trattava di un piano a cuscino d'aria della ditta Leybold.
- M29 I brani letti si trovano alle pagg 769 - 776 nell'edizione delle OPERE galileiane citata nella bibliografia.
- M30 I brani letti si trovano alle pagg 776 - 782 nell'edizione delle OPERE galileiane citata nella bibliografia

BIBLIOGRAFIA

- J. Bruner "La cultura dell'educazione", Feltrinelli, 1997
- G. Holton "La lezione di Einstein", Feltrinelli, 1997
- G. Galilei OPERE , vol II a cura di Franz Brunetti, UTET , Seconda edizione 1980
- T. Kuhn "La rivoluzione copernicana", Einaudi 1972
- P. Rossi "La rivoluzione scientifica da Copernico a Newton", Loescher, 1984
- E. Bellone "I grandi della scienza - Galileo, le opere e i giorni di una mente inquieta" LE SCIENZE, 1998.
- A. Koyré "Studi galileiani" , Einaudi, 1976
- S. Drake "Galileo. Una biografia scientifica", Il Mulino, 1988
- A cura di L. Geymonat "Storia del pensiero scientifico e filosofico" vol II, Garzanti, 1970
- A. Koyré "Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione", Einaudi, 1967
- E. Castelnuovo "Didattica della matematica" La Nuova Italia, 1963
- C. Seife "Zero - La storia di un'idea pericolosa", Bollati Boringhieri, 2002
- "PPC Progetto Fisica" vol A Zanichelli, 1986
- Harold Acton "Gli ultimi Medici", Einaudi, 1962
- M. L. Altieri Biagi "Galileo e la terminologia tecnico scientifica", Olschki, 1965
- S. Drake "Galileo" , Il Mulino, 1998
- R. Ceserani L. De Federicis "Il materiale e l'immaginario", vol III, Loescher , 1992
- Giulio Ferroni "Storia della Letteratura italiana", vol II, Einaudi, 1991